

## Hidrogeološki uvjeti varaždinskog vodonosnika

Kosta URUMOVIĆ, Branko HLEVNJAK, Eduard PRELOGOVIĆ i Darko MAYER

*Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Pierottijeva 6, YU-41000 Zagreb*

**Ključne riječi:** Podzemna voda, Kvartarne naslage, Neotektonska aktivnost, Kvaliteta.

Prikazana je struktura vodonosnika i oblik vodne plohe nastao pod utjecajem vodnih stepenica i rada eksploatacijskih zdenaca. Promjena distribucije potencijala nastala pod utjecajem izmijenjenih rubnih uvjeta dovela je do uključivanja novih izvora zagađenja podzemnih voda, koje se koriste za vodoopskrbu.

**Key words:** Groundwater, Quaternary deposits, Neotectonic activity, Quality.

The structure of the aquifer and the form of the watertable developed under the influence of hydro-electric plants and the work of exploitation wells are described. The difference in the distribution potentials by the influence of the changed boundary conditions has activated the new sources of pollution of the groundwater used for the watersupply.

### Uvod

Varaždinski vodonosnik zauzima krajnji zapadni dio heterogenih kvartarnih naslaga dravske doline. Predstavlja rubni dio vodonosnog kompleksa u kojem je prirodni režim podzemnih voda snažno poremećen izgradnjom protočnih hidroenergetskih objekata i eksploatacijom podzemnih voda za potrebe vodoopskrbe. Zbog toga je poznavanje prirodnih uvjeta i nastalih hidrogeoloških odnosa zanimljivo kako kod proučavanja zaliha podzemnih voda tako i kod predviđanja učinaka nizvodnih vodnih stepenica na prirodni režim podzemnih voda. Kvartarne naslage Varaždinske depresije intenzivno su istraživane od početka 60-tih godina. Istraživanja su intenzivirana za potrebe projektiranja i izgradnje sustava vodnih stepenica Varaždin, Čakovec i Dubrava. Naslage ovog šljunčanog vodonosnika istraživane su i za potrebe vodoopskrbe Varaždina, Čakovca, Ludbrega, te za potrebe navodnjavanja. Pojedina istraživanja pretežno su bila koncentrirana na uske lokalitete ili relativno plitki dio naslaga, pa su tek kasnije sinteze omogućile procjenu njihove debljine (Urumović, 1971) i predodžbu regionalnih hidrogeoloških odnosa (Miletić i dr. 1971, Šarin i Urumović, 1986). Vrijedni podaci o litološkom sastavu nizvodnih predjela prikupljeni su kroz regionalna hidrogeološka istraživanja (Babić, i dr. 1978).

Geološki sastav površinskih naslaga u Varaždinskoj depresiji kao i južna rubna područja depresije istraživali su Šimunić i dr. (1982. i 1982a). Područje Medimurja je, s hidrogeološkog gledišta, proučavao Magdalenić (1987), a šljunke i pijeske Medimurja prikazuju Molnar-Šušić i dr. (1987).

Detaljna istraživanja gradskog područja Varaždina za potrebe seizmičke mikrorajonizacije (Slimak i dr., 1972) sadrže brojna geolektrična i seizmička snimanja. Za upoznavanje geološke građe i hidrogeoloških odnosa posebno su vrijedni podaci o istraži-

vačkim bušotinama od kojih jedna dopire do nepropusne podloge vodonosnika na dubini od 60 m. U ranijim istrživanjima je i kod Totovca, u Medimurju, nabušena podloga kvartarnih šljunaka na dubini od 82 m, a njihov petrografski i granulometrijski sastav analizirao je Šestanović (1969).

Interpretacije strukture naslaga i hidrogeoloških odnosa ovog područja, koje su u zadnje vrijeme potaknute problemima vodoopskrbe u regiji, a u koje su uključeni neki noviji podaci iz istraživačkih bušotina, omogućile su detaljniji prikaz građe vodonosnika i utjecaja sustava vodnih stepenica na podzemne vode u prvom šljunčanom sloju.

### Litostratigrafski pregled

Najstarije naslage na površini nalaze se u južnom prigorju, oko Vinice i Voće. To su mezozojski – trijaski – pješčenjaci, šejlovi, lapori, vapnenci, dolomiti i dolomitne breče (Šimunić i dr., 1982, 1982a). Izravno na njima transgresivne su miocenske naslage. Zastupljeni su pretežno konglomerati, pješčenjaci, vapnenci, lapori, laporoviti vapnenci, mjestimice tufovi i vulkanske breče iz donjeg, srednjeg i gornjeg miocena. Konkordantno slijede naslage ponta koje se, po najnovijoj stratigrafskoj razradi, pridodaju miocenu (prije donjem pliocenu). Naslage su relativno većih debljina, osobito u Varaždinskoj depresiji. U podini dolaze lapori s proslojcima pješčenjaka i pijeska, a u krovini izmjena pjeskovitoglinovitih lapora i pješčenjaka u donjem, te pijesaka glina i šljunaka u gornjem dijelu.

U Varaždinskoj depresiji teško je odvojiti pliocenske naslage od kvartarnih, donjopleistocenskih naslaga. Sličnog su sastava. Većinom je to višestruka izmjena glina, pjesaka i šljunaka. Naslage su taložene u močvarnoj sredini uz stalno donošenje fluvijalnog materijala.

Generalni litološki stup kvartarnih naslaga, unutar kojih se nalazi Varaždinski vodonosnik, je slijedeći:

u podini dolaze šljunci, kojih u većoj količini ima južno i jugoistočno od Ludbrega i sjeverno od Čakovca, ili pijesci u izmjeni s glinama. Općenito gline ima više u donjem pleistocenu. U srednjem pleistocenu javljaju se izmjene glina pijesaka i šljunaka, a uz gline i proslojci treseta. Udijeli šljunaka u mladim nivoima rastu, pa se u gornjem pleistocenu pretežno talože šljunci. Holocenu pripadaju najmlađe riječne taložine koje su u sastavu dravskih terasa vezanih za ravničarski dio obuhvaćenog područja.

Varaždinski vodonosnik izgrađen je od šljunka i pijeska vjerojatno srednje i gornjopliocenske, te holocenske starosti. U njima se rijetko pojavljuju sitnije frakcije (glina i prah) i to uglavnom kao tanke leće i proslojci u središnjim dijelovima. U nekim rubnim predjelima susreće se i dispergirana pojava prašinih i glinovitih frakcija unutar dominantnih gruboklastičnih taložina. Vodonosnik je izdužen paralelno toku Drave, a debljina mu se povećava od zapada prema istoku (sl. 1 i 2). Bočne granice vodonosnika su uz rub okolnog prigorja i u pravilu su rasjedne. Debljina vodonosnika je najmanja u području između Križovljana i Ormoža, gdje šljunčane naslage prikrivaju utonulu antiklinalu. Struktura vodonosnika je ovdje asimetrična (sl. 3) s nagnutom površinom terena od juga prema sjeveru i obrnutim nagibom podloge vodonosnika. Debljina uz sjeverni rub iznosi oko 5 m, a prema jugu raste i uz rubni rasjed doseže do preko 15 m. U ovim predjelima u podlozi se nalaze lapori i pješčenjaci. Idući zapadno prema Petrijancu nagib podloge vodonosnika je neznatno strmiji od nagiba površine terena. Debljina vodonosnika kod Petrijanca neznatno premašuje 15 m. Južno od Petrijanca formirana je uleknina u kojoj debljina doseže preko 30 m. Prema zapadu se debljina također naglo povećava i u središnjem dijelu depresije, između Vularije i Zamlake, premašuje 110 m. U središnjim dijelovima depresije u podlozi su najčešće nabušeni glina i prah, zatim prašnasti pijesak, lapor i nešto lignita. U bušotini kod Totovca ušlo se 70 m u te naslage. Na temelju litološkog razvoja podloga odgovara rhomboidea naslagama.

U granulometrijskom sastavu vodonosnika dominiraju valutice šljunka s različitim postotkom pijeska. Općenito se može reći da se idući od zapada prema istoku u prosjeku postupno smanjuje veličina pojedinih zrna, a raste njihova sortiranost. Koeficijent sortiranosti zrna  $S = d_{60}/d_{10}$  u najzapadnijim predjelima u pravilu iznosi preko 100 (dijagram za B-6 na sl. 4). U području Varaždina (SV-12, sl. 4) i Vularije (P-1, sl. 4) dominiraju vrijednosti između 10 i 100 s tim da kod Varaždina prevladavaju nešto više vrijednosti od onih kod Vularije. Najveći oblutci mogu doseći i preko 100 mm. Ove najveće valutice ne mogu se dobiti u jezgri bušotina za granulometrijske analize, pa je zanimljiva usporedba ostatka nakon 80% prolaska kroz sito ( $d_{80}$ ). U zapadnim je predjelima (B-6) promjer zrna  $d_{80}$  najveći, iznosi oko 80 mm. U području Varaždina (SV-12) prevladavaju vrijednost oko 30 mm, dok kod Vularije (P-1) prevladavaju vrijednost oko 20 mm. Detaljnije praćenje promjene granulometrijskog sastava u prostoru ne bi bilo realno bez velikog broja uzoraka.

Grafički prikaz na slici 1 evidentno ukazuje da pojedini granulometrijski parametri u području Vularije (P-1) uglavnom kolebaju ispod ekvivalentnih u području Varaždina (SV-12).

Odstupanje od relativno postupnih promjena granulometrijskih parametara u funkciji dubine uzorka pojavljuje se samo unutar leća i proslojaka sitnijeg granulometrijskog sastava. Naročito je markantan proslojak praha, gline, prašinih pijesaka i mjestimice treseta, koji se na dubini oko 40 m pojavljuje kod Varaždina, a oko 55 m kod Vularije. Zapažen je u brojnim bušotinama u širem području Varaždina i u Međimurju. U blizini Petrijanca se uklinjuje (sl. 2), pa izostaje u bušotinama u zapadnim i jugozapadnim predjelima. Očito se radi o značajnom diskontinuitetu uvjeta taloženja. Formalan je polupropusni međusloj, koji dijeli vodonosnik u dva šljunčana sloja. Granulometrijski sastav prvog i drugog šljunčanog sloja ne razlikuje se bitno. Granulometrijski parametri su im istog reda veličine kod Varaždina (SV-12), dok je kod Vularije (P-1) frakcije dubljeg sloja nešto sitnije nego kod plićeg.

U krovini vodonosnika pojavljuje se tanki pokrivač izgrađen od praha, gline i prašinih pijesaka. U većem dijelu obuhvaćenog područja debljina pokrivača je manja od 0,5 m. Često i izostaje, pa se u tankom humusu pojavljuje obilje valutica šljunka. Takvi se tereni lokalno zovu prudi. Povećane debljine pokrivača su u pravilu lokalnog karaktera, a ne premašuju 5 m. Izuzetak su jugoistočni rubni predjeli u kojima se u širokom pojasu pojavljuje povećana debljina pokrivača, koja mjestimice doseže i do 10 m.

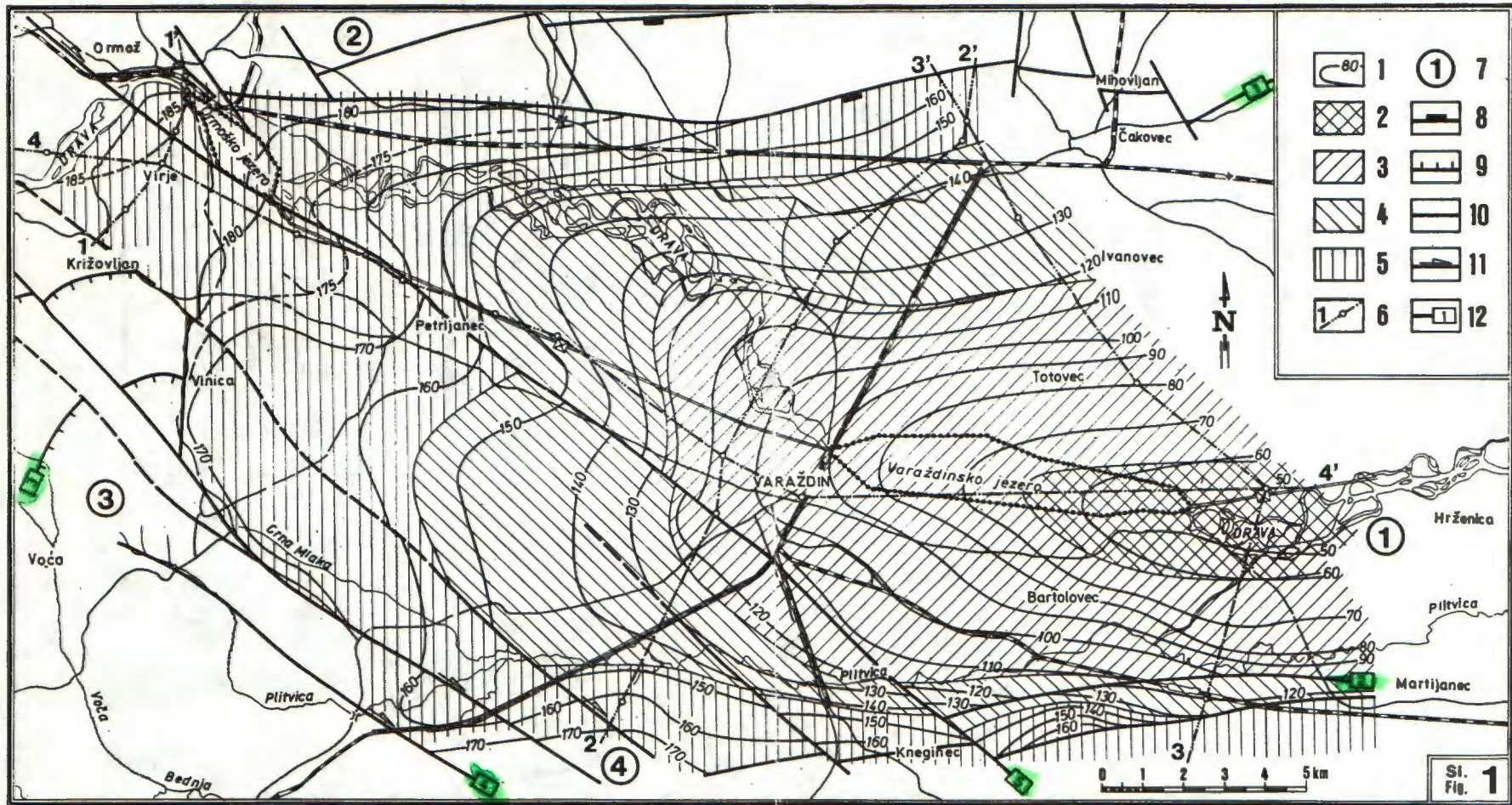
Prema petrografskim analizama valutica šljunka (zrna promjera preko 2 mm) iz bušotine kod Totovca (Šestanović, 1969) valutice kvarca dominiraju. U pravilu ih je preko 50% težinskog sadržaja. Kao jedna od triju zastupljenih stijena među pojedinim frakcijama također se pojavljuju vapnenac, kvarcit, pješčenjak, gnajs-granit, te tuf i efuzivi. Također su zapaženi čert, filit i tinjčasti škrljavac, a njihov ukupni sadržaj je znatno ispod 10%. Ukupni sadržaj valutica kvarca, vapnenca, kvarcita, pješčenjaka, gnajs-granita, te tufa i efuziva za pojedine uzorke

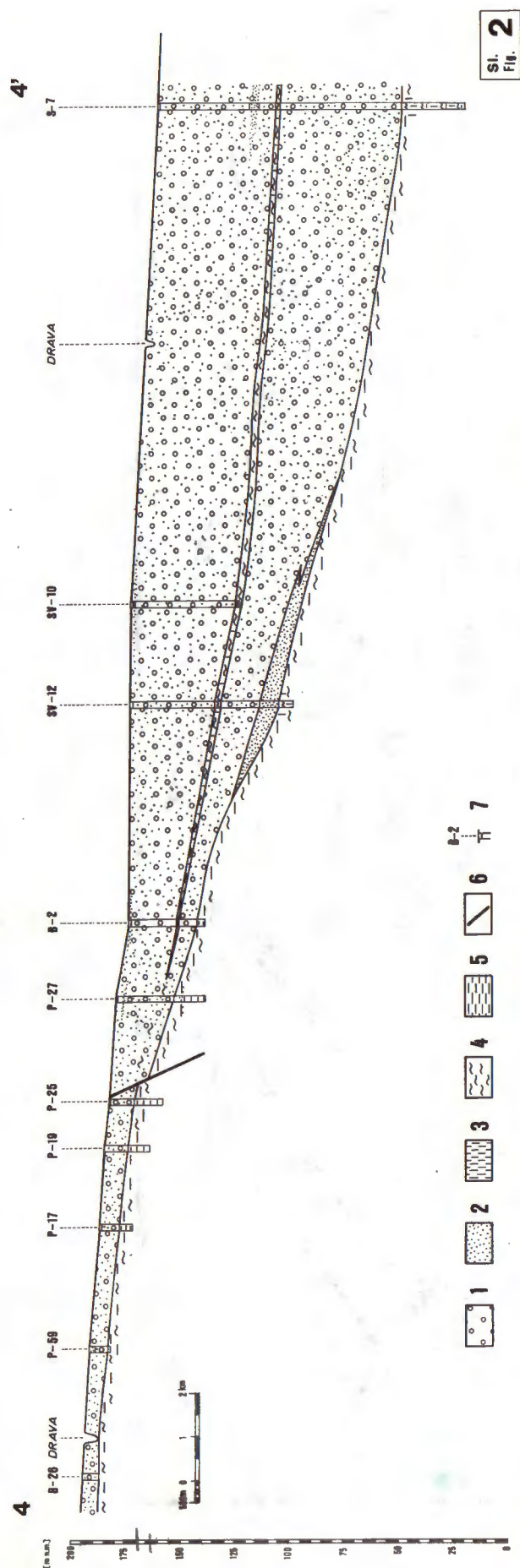
Sl. 1. Strukturna karta po podinskoj plohi vodonosnika

Legenda: 1. Izohipse podine vodonosnika, 2. Debljine vodonosnika preko 100 m, 3. Debljine vodonosnika 50-100 m, 4. Debljine vodonosnika 25-50 m, 5. Debljine vodonosnika 0-25 m, 6. Trasa litološkog profila, 7. Strukture (1-Varaždinska depresija, 2-Ormož-Selnica, 3-Ravna Gora, 4-Ivanščica), 8. Normalni rasjed, 9. Reversni rasjed, 10. Rasjed bez oznake karaktera, 11. Rasjed s horizontalnim pomakom, 12. Važniji rasjedi strukturnog sklopa (1-Ormoški rasjed, 2-Južni rubni rasjed Murske potoline, 3-Rasjed duž sjevernog krila Ravne Gore, 4-Rasjed Sokolovac-Tužno-Ptuj, 5-Varaždinski rasjed).

Fig. 1. Structural map at the base surface of the aquifer

Legend: 1. Elevation of the aquifer basement, 2. Thickness of the aquifer more than 100 m, 3. Thickness 50-100 m, 4. Thickness 25-50 m, 5. Thickness 0-25 m, 6. Lithological cross section, 7. Tectonic structures (1-Varaždin depression, 2-Ormož-Selnica, 3-Ravna Gora, 4-Ivanščica), 8. Normal fault, 9. Reverse fault, 10. Fault without defined character, 11. Fault with horizontal slip, 12. Important faults of the structural pattern (1-Ormož fault, 2-the southern bordering fault of the Mura depression, 3-fault along northern part of Ravna Gora, 4-Sokolovac-Tužno-Ptuj, 5-Varaždin fault).





prikazan je u odnosu na dubinu na slici 5. Zapaža se da prevladava kvarc s 46–71% udjela. Izrazito je naglašena povećana pojava vapnenca u uzorcima do dubine 6 m (oko 20%). Naglašen je i udjel (37%) granit-gnajsna na dubini oko 66 m, a izražen je i porast njegovog udjela s dubinom uzoraka, te vrlo blagi porast udjela tufa i efuziva u istom smislu. Još je premalo petrografskih analiza za pouzdano utvrđivanje signifikantnosti ovih promjena, no uočene razlike potvrđuju da bi bilo korisno daljnje detaljnije istraživanje petrografskog sastava na uzorcima iz bušotina koje bi probušile cjelu ili znatan dio debljine vodonosnika.

### Tektonski odnosi

Područje Varaždina nalazi se u južnom dijelu Murske potoline, u Varaždinskoj depresiji. Stijene mezozoika, na kojima je taložen kompleks neogen-skih i kvartarnih naslaga, nalaze se na površini duž uzdignutih okolnih planina: Ravne gore i Ivanščice. U potolini one su spuštene do dubine oko –4500 m sjeveroistočno od Varaždina (Prelogović, 1975). Strukture su u osnovi tipa horstova i graba nastalih u tzv. neotektonskom razdoblju. U najmlađem dijelu neotektonskog razvitka (gornji pliocen – kvartar), uslijed regionalnih tektonskih kretanja, aktivni su dijagonalni rasjedi s pravcem pružanja SZ – JI (ZSZ – JJI). Osim smicanja, duž njihovih trasa dolazi i do rotacije pojedinih struktura, njihovih dijelova ili viših jedinica (Prelogović i Velić, 1988). Uslijed toga pojedini uzdužni rasjedi postaju reverzni, osobito duž sjevernih krila struktura u zoni dodira okolnih planina, spuštanje Murske potoline, smicanje duž dijagonalnih rasjeda, te rotacije struktura) traju sve do danas.

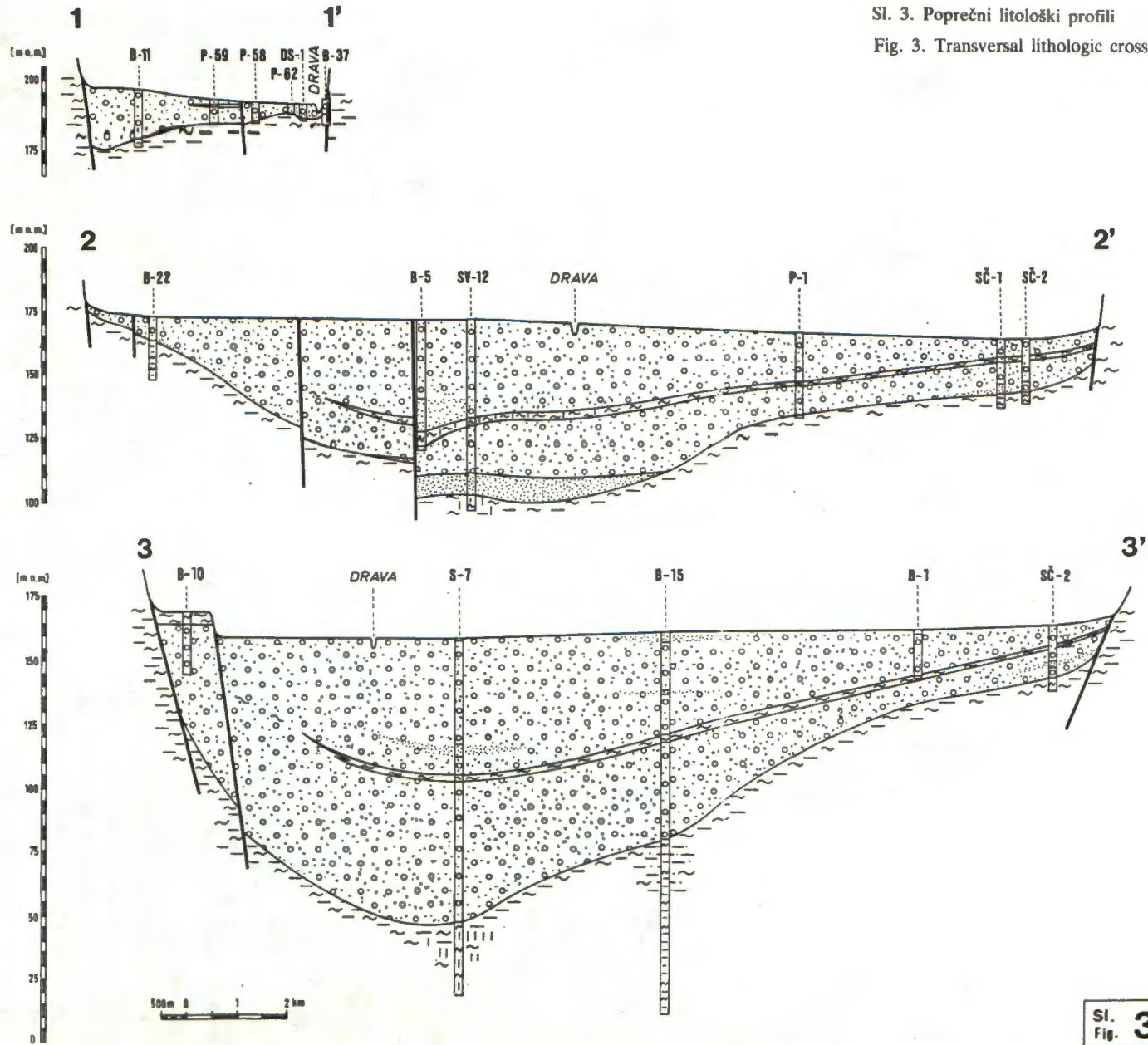
Uzdignute strukture: Ormož-Selnica (sjeverno od obuhvaćenog područja), Ivanščica (južno) Ravna gora (zapadno) predstavljaju horst-antiklinorije. Sjeverna krila struktura u reverznom su odnosu naročito u Ivanščici i Ravnoj gori, pa se prate dva do tri niza reverznih rasjeda s vergencijom prema sjeveru. Ravna gora je u predjelu Vinice presječena rasjedima i u nastavku prema istoku tone. To ima utjecaja i na oblik Varaždinske depresije i zatanjenje neogen-skih i kvartarnih naslaga duž zone tonjenja. Depresija se iskazuje kao asimetrična graba-sinklinorij. Os dubljeg dijela proteže se potezom Tužno-Biškupec-Hrzenica. To ukazuje na veću tektonsku aktivnost južnog u odnosu na sjeverni rub depresije. Izostate podinske plohe vodonosnika, kao i izdvojenog međusloja (sl. 1), te promjene debljina vodonosnika navode na najmlađe kvartarno spuštanje Varaždinske depresije i aktivnost rubnih zona depresije.

Sl. 2. Uzdužni litološki profil

Legenda: 1. Šljunak, 2. Pijesak, 3. Prah, 4. Glina, 5. Lapor, 6. Rasjed, 7. Bušotina.

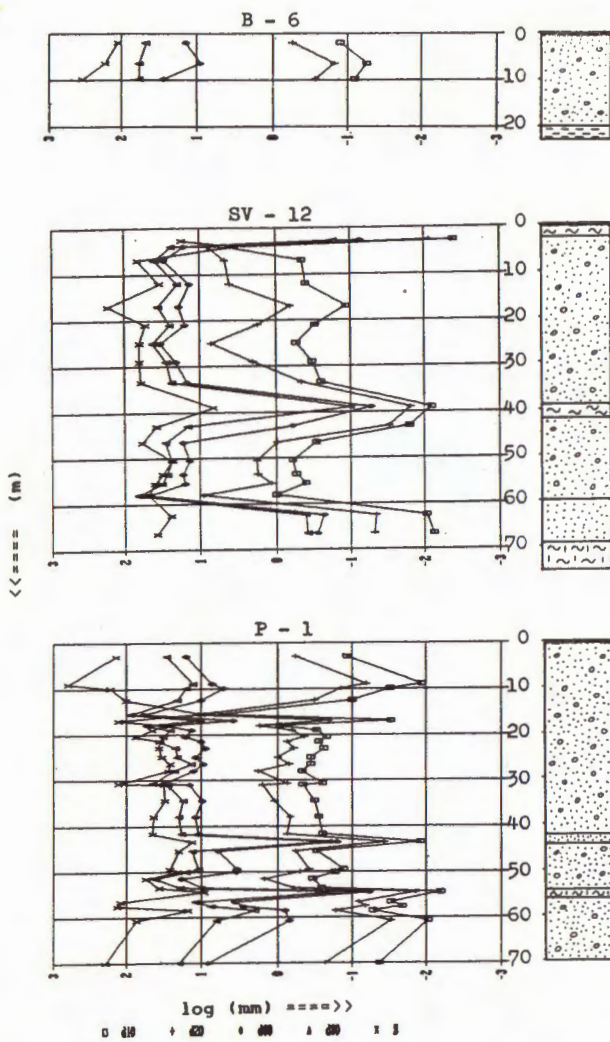
Fig. 2. Longitudinal lithologic cross section

Legend: 1. gravel, 2. sand, 3. silt, 4. clay, 5. siltstone, 6. fault, 7. borehole.



Sl. 3. Poprečni litološki profili

Fig. 3. Transversal lithologic cross sections



Sl. 4. Granulometrijski parametri prema dubini uzorka iz bušotina B-6 (Križovljan), SV-12 (Varaždin) i P-1 (Vularija).

Legenda: d10, d20, d60 i d80, veličina zrna s odnosnim postotkom prolaza kroz sito; S=d60/d10, koeficijent sortiranosti zrna.

Fig. 4. Grain-size distribution versus depth of the samples from boreholes B-6 (Križovljan), SV-12 (Varaždin) i P-1 (Vularija).

Legend: d10, d20, d60 and d80, the size of the particles at which the percentage of the aggregate is respectively finer; S=d60/d10.

Rasjedi obuhvaćaju četiri sustava i to:

- uzdužni rasjedi pravca pružanja I-Z do ZSZ-IJI, te
- dva manje izražena sustava dijagonalnih rasjeda pravca pružanja gotovo S-J (okolica Vinice) i SZ-JI (struktura Ormož-Selnica).

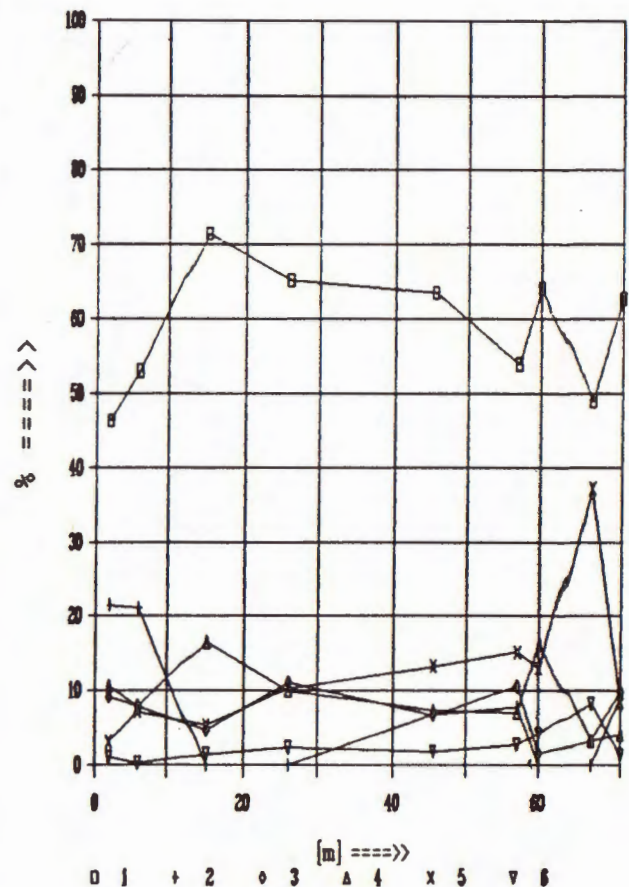
U strukturnom sklopu najvažniji su uzdužni rasjedi duž kojih su pojedine strukture uzdignute ili spuštene. Ujedno su to najstariji rasjedi, aktivni gotovo kroz čitavo neotektonsko razdoblje. Protežu se i izvan obuhvaćenog područja. To su Ormoški rasjed (oznaka 1 na sl. 1) i Južni rubni rasjed Murske potoline (2). On se sastoji iz zone od dva paralelna rasjeda, čije trase na površini obilježavaju terasni odsjeci. U predjelu zapadno od Vinice razabiru se reverzni rasjedi (3), koji se pružaju duž sjevernog krila Ravne gore.

U strukturnom sklopu vrlo su važni dijagonalni rasjedi pružanja SZ-JI (ZSZ-IJI). Na površini su

markirani terasnim odsjecima, usječnim pravocrtnim dolinama, čak i prvom terasom Drave kod Petrijanca i Sračinca. Radi se o nekoliko paralelnih rasjeda. Čini se da je glavni rasjed Sokolovec-Tužnopolj (4). Ostali, od kojih se ističe Varaždinski rasjed (5), su mu ogranci ili prateći rasjedi. Zajedno čine jedinstvenu zonu koja presijeca strukture obuhvaćenog područja. Duž strmih ploha tih rasjeda tektonski pomaci su dijagonalni s obzirom na horizontalnu ravninu. Izražena je horizontalna komponenta, pa su rasjedi transkurentni, desni.

Zbog osnovnih tektonskih pritisaka dijagonalnih na pružanje struktura vjerojatnog azimuta 345–350° drugi sustav rasjeda smicanja slabo je razvijen. Takvi rasjedi vidljivi su na površini oko Vinice i Šenkovca, a pružaju se gotovo S-J. Dijagonalni rasjedi (SZ-JI) u Ormoško-Selničkoj strukturi ne mogu se točnije klasificirati s obzirom na važnost i položaj u strukturnom sklopu.

Sumarne amplitude vertikalnih neotektonskih pokreta u Ivanšćici dosežu 1000 m, a u Murskoj potolini –4500 m. Najveći skokovi u zoni Južnog rubnog rasjeda Murske potoline premašuju 1000 m, jugoistočno od Vražđina. Prisutna je najmlađa kvarterni i recentna aktivnost. Promatrani vodonosnik



Sl. 5. Petrografski sastav valutica šljunka prema dubini uzorka.

Legenda: 1. kvarc, 2. vapnenac, 3. kvarcit, 4. pješčercjak, 5. granitgnajs, 6. tuf i efuzivi.

Fig. 5. Petrographic composition of the gravel grains versus depth of the samples.

Legend: 1. quartz, 2. limestone, 3. quartzite, 4. sandstone, 5. gneissgranites, 6. tuffs and effusives.

presječen je rubnim rasjedima Varaždinske depresije i zonom dijagonalnih rasjeda pravca pružanja SZ-JI (ZSZ-IJI). Amplitude vertikalnih tektonskih pokreta nakon taloženja vodonosnika iznose:

- Južni rubni rasjed Murske potoline - oko 60 m;
- Ormoški rasjed - oko 20 m i
- Varaždinski rasjed - oko 10 m.

Rasjedi su i recentno aktivni, jer se njihove trase odražavaju u pojedinim geomorfološkim oblicima površine. Debljina pješčano-šljunkovitih kvartarnih naslaga, kao i debljine promatranog vodonosnika ukazuju na vertikalne pokrete za vrijeme i nakon taloženja tog kompleksa naslaga. Rasprostranjenost, prostorni položaj i deformacije naslaga predočene su pomoću četiri profila (prilozi 2 i 3). Razabire se da gore spomenuti rasjedi imaju bitnog utjecaja u rasprostranjenosti i facijelnoj raznolikosti naslaga. U tom je smislu posebno interesantna zona dijagonalnih rasjeda pružanja SZ-JI (ZSZ-IJI), koji predstavljaju značajnu prepreku u arealu taloženja. U njihovoj zoni dolazi do naglog zatanjenja naslaga, pa i prvog šljunčanog sloja, a vjerojatno i izvjesnih facijalnih razlika u odnosu na naslage istaložene oko Varaždina i istočno od njega.

Iz raspoloživih podataka o vodonosniku mogla se ustanoviti vertikalna komponenta tektonskog pomaka duž dijagonalnih rasjeda, ali ne i horizontalna komponenta. Dijagonalni tip tektonskih pomaka duž tih rasjeda zasigurno ima utjecaja u sedimentacijskim uvjetima: mogućem stvaranju leća, eventualnoj unakrsnoj slojevitosti i različitoj sortiranosti materijala na uzdignutom i spuštenom krilu rasjeda. Te okolnosti mogu imati važan utjecaj prilikom modeliranja vodonosnika, naročito u nepropusnom području Varaždinskog crpilišta.

### Hidrogeološki odnosi

Osnovna značajka Varaždinskog vodonosnika je visoka propusnost šljunaka u kojima je usječena površinska hidrografska mreža i povećanje debljine naslaga idući od zapada prema istoku.

Hidraulička vodljivost, K, vodonosnika je istraživana na 9 pokusnih polja u širem području istraživanja. Utvrđene su vrijednosti K u širokom rasponu od 36 do 440 m/dan. Provedene reinterpretacije podataka crpljenja pokazale su da je rasipanje vrijednosti prve nstveno posljedica pogrešaka u njihovoj interpretaciji. Vrijedno je napomenuti da za gotovo sva pokusna polja postoje podaci opažanja, pa je na temelju njih moguće načiniti detaljnu identifikaciju svih parametara vodonosnika adekvatnim metodama. Prema reinterpretiranim vrijednostima i na temelju podataka s područja istočno od obuhvaćenog zaključuje se da se vrijednost prosječne hidrauličke vodljivosti lagano mijenja u planu i da je u pravilu viša u zapadnim, a niža u istočnim predjelima. Najveće vrijednosti vjerojatno nisu više od  $K=300$  m/dan, a najniže ne opadaju ispod  $K=100$  m/dan. Izuzetak su rubni dijelovi, kao i neki unutrašnji predjeli u kojima su tektonski pokreti uvjetovali taloženje sitnijih frakcija, pa je hidraulička vodljivost lokalno smanjena.

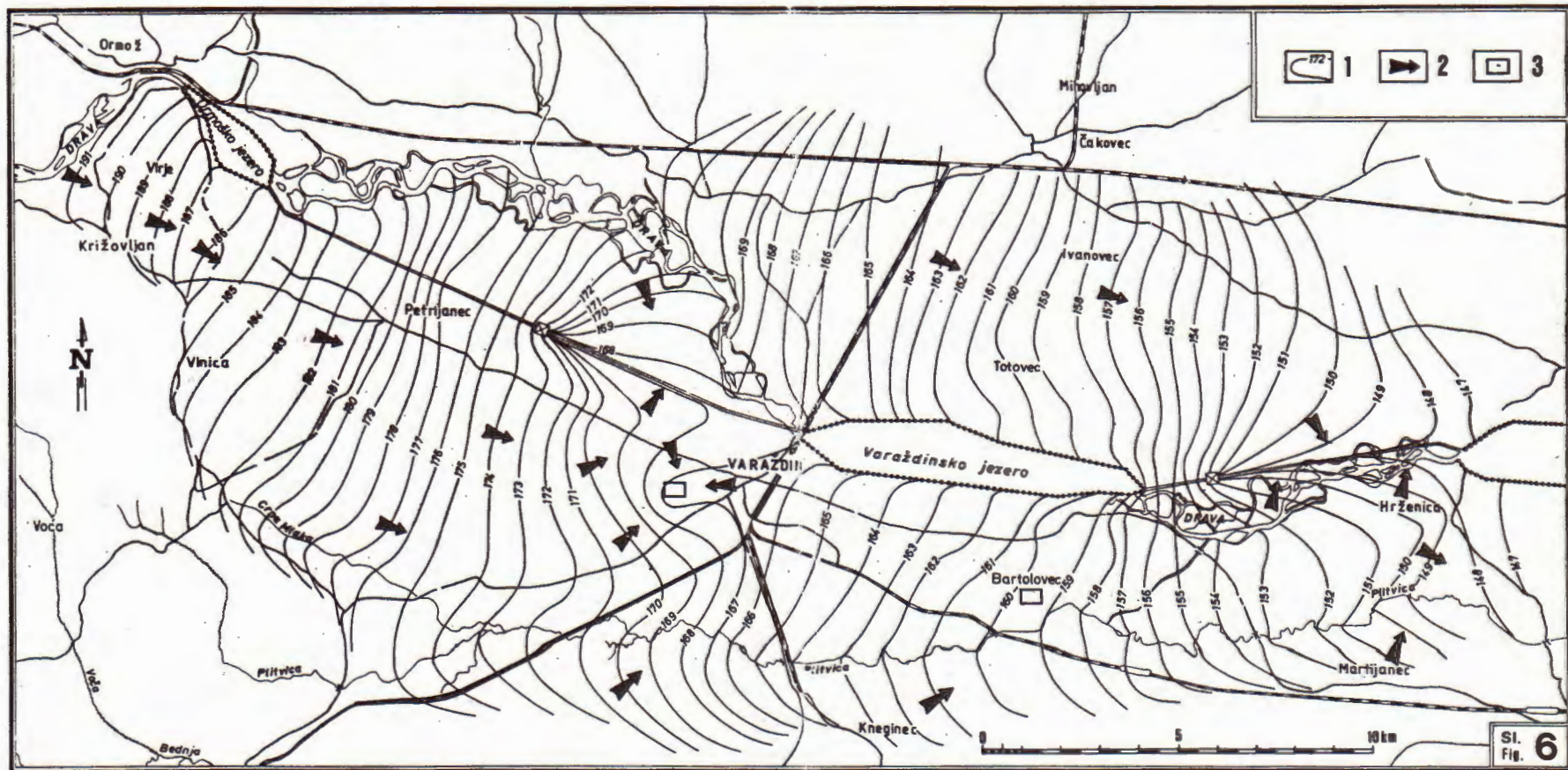
Anizotropija vodonosnika je istraživana na lokaciji strojarnice HE Čakovec i utvrđen je odnos vertikalne i horizontalne hidrauličke vodljivosti 1:5.

Za hidrauličke rubne uvjete je karakteristično da Drava na zapadnom rubu područja presijeca veći dio debljine vodonosnika, dok je u ostalom dijelu usječena u površinskom dijelu vodonosnika. U regionalnom smislu je unatoč toga dominantno napajanje vodonosnika padalinama. Zanimljivo je da je prije izgradnje vodnih stepenica u većem dijelu godine prevladavalo otjecanje podzemnih voda u Dravu, pa čak i u krajnjem zapadnom području.

Sustav vodnih stepenica je u velikoj mjeri poremetio ranije prirodne uvjete. Akumulacije (Ormoško i Varaždinsko jezero) su uzrokovala podizanje razine podzemne vode u zaobilju iako je njihov utjecaj ublažen uslijed kolmatacije bazena i djelovanjem rubnih drenaža s vanjske strane nasipa. Odvodni kanali između strojarnica i nizvodnih akumulacija duboko su usječeni u vodonosnik, pa je ostvarena drenaža podzemnih voda, koja je regionalno izražena (sl. 6). Zakrivljenost ekvipotencijala u pojasu toka Plitvice dijelom je uvjetovana njenim drenažnim utjecanjem, a dijelom nehomogenošću vodonosnika. Svarne relacije ovdje je teško rekonstruirati zbog ograničenog broja kontrolnih točaka, ali je evidentan drenažni utjecaj korita Plitvice, iako je očito reducirano odvodnjavanjem u sjevernim predjelima.

U obuhvaćenom području nalaze se tri veća crpilišta za vodoopskrbu. U Međimurju su Savska Ves (staro) i Nedelišće (novo crpilište) za vodoopskrbu Čakovca, a crpilišta kraj Varaždina i Bartolovca koriste se za vodoopskrbu Varaždinskog vodoopskrbnog sustava. Na konturnoj karti potencijala (sl. 6) zapaža se utjecaj samo crpilišta Varaždin, koje je s crpnom količinom oko 300 l/s izrazio najveće na cijelom području. Prema ocrtu izopotencijala vidljiva je interferencija crpilišta i sjevernog drenažnog kanala. Između njih je formirana razvodnica i time suženo priljevno područje crpilišta. Time je uzrokovano pomicanje nizvodne razvodnice crpilišta prema istoku, pa je veći dio gradskog područja uključen u slivno područje crpilišta. Ovaj je proces potenciran i porastom crpnih količina na zahvatu. Zbog toga je realno očekivati da iscurivanje iz gradske kanalizacije u nastalim uvjetima može intenzivirati degradaciju kvalitete vode koja je zahvaćena na crpilištu.

Za kvalitetu podzemnih voda karakterističan je kalcijskohidrokarbonatni facijes. Sadržaj željeza je u pravilu ispod 0.3 mg/l. Izuzetak je pojava reduktivnih uvjeta i povišen sadržaj željeza u nekim rubnim predjelima u kojima se pojavljuje i povišen sadržaj glinovitih materijala. Sa stajališta vodoopskrbe problematičan je povišen sadržaj nitrata. Njihov inicijalni sadržaj iznosio je oko 2 mg N/l, a zadnjih godina na nekim lokalitetima dosegao je 15 mg N/l (crpilište Nedelišće), dok je na crpilištu Varaždin dosegao preko 20 mg N/l. Na crpilištu Varaždin tri su moguća izvora zagađenja: gradska kanalizacija, peradarska farma i primjena gnojiva na poljoprivrednim površinama. Najvjerojatnije se radi o sumarnom djelovanju svih navedenih izvora zagađenja, no lako je moguće da dominantan utjecaj ima samo jedan od navedenih izvora.



Sl. 6. Karta rasporeda potencijala podzemnih voda  
 Legenda: 1. Razina vodne plohe 30. 10. 1985. 2. Smjer toka  
 podzemne vode, 3. Crpilište.

Fig. 6. Elevation of piezometric surface map  
 Legend: 1. Elevation of water-table in October 1985. 2. Direction  
 of ground-water movement, 3. Well field.



## Zaključak

Varaždinski vodonosnik izgrađen je od relativno homogenih kvartarnih šljunaka. Zauzima zapadni rub kvartarnih vodonosnih naslaga u dravskoj dolini na teritoriji Hrvatske. Tektonski je smješten u zapadnom dijelu Varaždinske depresije. Oblik šljunčanog sloja uvjetovan je neotektonskim pokretima, pa glavni rasjedi imaju zapažen odraz na strukturu podine i debljinu vodonosnika. Rubni rasjedi uvjetovali su uklinjavanje relativno čistih gruboklastičnih taložina.

U podini vodonosnika dolazi glina, prah i lapori, u krajnjim zapadnim predjelima i pješčenjaci, a u istočnim se pojavljuju pijesci u izmjeni s glinom. Šljunčane naslage vodonosnika su vjerojatno srednje i gornjo pliocenske i holocenske starosti. Izgleda da u zapadnim predjelima izostaju donjo pleistocenske naslage, pa vodonosnik naliježe na pliocenskim naslagama, mjestimice i na miocenskim laporima i pješčenjacima. Idući prema istoku, u središnjim dijelovima Varaždinske depresije, u podini vodonosnika su gline s proslojcima pijeska koji vjerojatno pripadaju donjem pleistocenu kao ekvivalentu šljunaka na rubovima Kalničkog gorja.

U zapadnom dijelu Varaždinske depresije uklinjuju se slojevi sitnoklastičnih polupropusnih taložina, koji su naročito nazočni u Dravskoj potolini. U relativno homogenim šljuncima Varaždinskog vodonosnika ipak se ističe prostorno rašireni proslojak praha, gline i prašinstog pijeska na oko 40 m dubine. Debljina mu je pretežno manja od 5 m, ali zbog regionalnog raširenja može imati ulogu važnu pri modeliranju vodonosnika. U granulometrijskom sastavu šljunaka iznad i ispod ovog proslojka ne zapaža se bitna razlika. U planu se pojavljuje postupno smanjenje prosječnog zrna idući od zapada prema istoku. Posljedica toga je sličan slijed promjene srednje hidrauličke vodljivosti, koja opada s maksimalnog iznosa oko 300 m/dan u krajnjim zapadnim predjelima na minimalno oko 100 m/dan u istočnim predjelima. Od ovog osnovnog regionalnog slijeda pojavljuju se odstupanja, a naročito u rubnim predjelima gdje propusnost može biti znatno reducirana zbog dispergirane pojave sitnih frakcija.

Hidraulički rubni uvjeti su u ranijim prirodnim uvjetima bili pod dominantnim utjecajem infiltracije padalina i evapotranspiracije. Izgradnjom sustava vodnih stepenica snažno su poremećeni. Naglašen utjecaj imaju drenažni kanali koji su regionalno

snizili vodnu plohu, a nešto je manji utjecaj uspora voda u akumulacionim jezerima i uzvodnom koritu rijeke. Ovo zadnje ima značajniji utjecaj uzvodno od Ormoža, gdje Drava većim dijelom presijeca cijelu, ovdje reduciranu, debljinu vodonosnika. Od postojećih crpilišta samo varaždinsko ima regionalno izražen utjecaj na oblik vodne plohe. Istovremeni utjecaj varaždinskog crpilišta i obližnjih vodnih stepenica doveo je do uključivanja većeg dijela gradske površine u priljevno područje crpilišta. U nastalim okolnostima gubici iz gradske kanalizacije postaju važan izvor degradacije kvalitete vode na postojećem izvorištu.

Primljeno: 3. 1. 1990.

Prihvaćeno: 7. V. 1990.

## LITERATURA

- Babić, Ž., Čakarun, I., Sokač, A. & Mraz, V. (1978): O geologiji kvartarnih naslaga porječja rijeke Drave na Teritoriji SR Hrvatske. Geol. vjesnik 30/1, 43-61, Zagreb.
- Magdalenic, A. (1978): Podzemne vode. Međimurje, Časopis za društvena pitanja i kulturu, 12, 43-51, Čakovec.
- Miletić, P., Urumović, K. & Capar, A. (1971): Hidrogeologija prvog vodonosnog horizonta porječja Drave na području Hrvatske. Geol. vjesnik 24, 183-191, Zagreb.
- Molnar-Sušić, J., Pavleković, M. & Hepp, D. (1987): Šljunci, pijesci i zlato. Međimurje, Časopis za društvena pitanja i kulturu, 12, 15-21, Čakovec.
- Prelogović, E. (1975): Neotektonska karta SR Hrvatske. Geol. vjesnik, 28, 97-108, Zagreb.
- Prelogović, E. & Velić, J. (1988): Kvartarna tektonska aktivnost u zapadnom dijelu Dravske potoline. Geol. vjesnik, 41, 237-253, Zagreb.
- Slimak, Š., Jagatić, I., Babić, Ž., Čakarun, Šikić, V., Urumović, K. & Kožinec, S. (1972): Seizmička mikrorajonizacija Varaždina. Geoexpert inst. pod. Geotehnika i Geol. inst. Hrvatske, Zagreb.
- Šarin, A., Urumović, K. (1986): Hidrogeološka karta, M 1:200.000. Vodopriv. radna org. vodnog područja Drave i Dunava, Osijek i Geološki zavod, Zagreb.
- Šimunić, An., Pikija, M. & Hećimović, I. (1982): Osnovna geološka karta SFRJ. List Varaždin. Geol. Zavod, Zagreb, Sav. geol. zavod, Beograd.
- Šimunić, An., Pikija, M., Hećimović, I. & Šimunić, Al. (1982a): Osnovna geološka karta SFRJ. Tumač za list Varaždin. Geol. Zavod, Zagreb, Sav. geol. zavod, 75 str., Beograd.
- Šestanović, S. (1969): Geologija krvarata šireg područja Drave u okolici Varaždina s kratikim osvrtom na hidrokemijske karakteristike voda. Diplomski rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, 44 str., Zagreb.
- Urumović, K. (1971): O kvartarnom vodonosnom kompleksu na području Varaždina. Geol. vjesnik 24, 183-191, Zagreb.

## Hydrogeologic Conditions of the Varaždin Aquifer

*K. Urumović, B. Hlevnjak, E. Prelogović and D. Mayer*

Varaždin aquifer is consist of the relatively homogenous quaternary gravel. It occupies the western part of the quaternary aquifer deposits in the Drava valley in the Croatia. Tectonically, it is placed in the western part of the Varaždin depression. The form of the gravel bed is influenced by the neotectonic activities. The main faults have noticeable effect on the structure of the basement and the thickness of the aquifer too. The basement of the aquifer is composed of clay, silt, siltstone and sandstones in the westernmost parts, while to the in the eastern parts sands interchange with the clay. Gravel deposits of the aquifer are possibly middle and upper Pliocene and Holocene.

In the western part of the Varaždin depression there are wedged beds of fine clastic deposits which are particularly present in the Drava depression. Relatively homogenous gravel bed of the Varaždin aquifer is divided by silt, clay and silted sand at the depth of 40 m. Thickness of the interlayer is mostly less than 5 m, but due to the regional significance it could have an important role in the hydraulic behaviour of the aquifer. In the grain-size distribution of the gravel above and below this deposit no important differences could be noticed. A gradual diminution of the average grain size going from the West towards the East appears

is recognized. This results in the similar change of the middle hydraulic conductivity of about 300 m/day in the westernmost parts to 100 m/day in the eastern parts. Deviation from this basic regional characteristics is apparent particularly in the border regions where the hydraulic conductivity could be considerably reduced due to the dispersive appearance of small fractions.

The hydraulic boundary conditions in the top of the aquifer, which in the natural conditions had been under the dominant influence of the infiltration of rainfalls and evapotranspiration from the water-table, are heavily changed by the influence of the hydro-electric plants. Changes a mostly due to the drainage canals which have regionally lowered water-table, and in the slightly lesser degree the increase of water level in the accumulation lakes and in the upstream riverbed. The later has an important influence upstream of Ormož where Drava cuts the whole thickness of the aquifer. The distribution of the potential is changed under the influence of Varaždin well field. Simultaneous influence of the Varaždin well field and the nearby hydro-electric plants lead to the introduction of the additional onflow of sewage effluent in the aquifer. The later become important source of groundwater contamination.