

## POZNAVANJE I ISTRAŽENOST HIDROGEOLOGIJE SAVSKOG SLIVA ISTOČNE SLAVONIJE

Andrija CAPAR

*Geofizika – Zagreb, Savska c. 64, 41000 Zagreb, Hrvatska*

**Cljučne riječi:** Vodoopskrba, Kvarterni vodonosni slojevi, Hidrogeološki parametri, Rezerve podzemnih voda, Regionalno crpilište.

Prikazani su rezultati geoloških istraživanja istočne Slavonije s naglaskom na hidrogeologiju kvartarnih vodonosnih slojeva. Daje se pregled hidrogeoloških i hidrokemijskih parametara i procjena rezervi podzemnih voda. Na temelju rezultata analiziranih radova, aktualizirani su pogledi na hidrogeološko stanje. Naznačene su i smjernice za poboljšanje daljnjih istraživačkih radova.

**Key-words:** Watersupply, Quaternary waterbearing layers, Hydrogeological parameters, Groundwater reserves, Regional waterwell field.

Geological explorations, especially hydrogeology of quaternary waterbearing deposits of Eastern Slavonia are presented. Hydrogeological and hydrochemical parameters are discussed and evaluation of groundwater reserves is done. Critical approach to the results of exploration is provided by some suggestions for future quaternary deposits exploration in the area.

### Uvod

Stalno prisutni problemi vodoopskrbe na području istraživanja podsticali su razne republičke organizacije, komunalna poduzeća i druge privredne subjekte na razvoj vodoopskrbe. Višegodišnjim istraživanjima zaliha podzemnih voda na području istočne Slavonije prikupljeno je mnoštvo korisnih podataka, koji se pretežno odnose na najmlađe taložine područja (kvartar-pleistocen). Usporedna istraživanja ugljikovodika od strane INA-Naftaplina omogućila su potpunije sagledavanje i geološko-tektonskih uvjeta na istraživanom području. Podaci i rezultati ovih istraživanja od velike su koristi za proučavanje uvjeta taloženja u vrijeme od početka tercijara do najmlađih taložina, na kojima se zasniva vodoopskrba istraživanog područja.

Hidrogeološki istraživački radovi kao i istraživanja ugljikovodika, posebno nakon šezdesetih godina, rezultirali su mnoštvom studija i znanstvenih radova.

U ovom radu opisuju se rezultati hidrogeoloških istraživanja najmlađih taložina s konačnim ciljem određivanja rezervi podzemnih voda i određivanja alternativne lokacije regionalnog crpilišta istočne Slavonije.

Korisnim savjetima tijekom razrade zadatka pomogli su Dr. Pavao Miletić, Dr. Darko Mayer i Mr. Andrea Bačani s Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, a neophodnu podršku dali su mi g. Rudolf König, direktor VVK Vinkovci, g. Antun Rajher, direktor Vodovoda, Đakovo i Mr. Zdenka Blažević iz Vodoprivrede Hrvatske. Posebno se zahvaljujem Dr. Pavlu Miletiću i Dr. Branku Crnkoviću za svesrdnu pomoć kod izrade i dovršenja ovog rada.

### Povijesni prikaz istraživanja

Prema podacima iz literature proučavanje geologije ovog područja može se podijeliti u dvije faze:

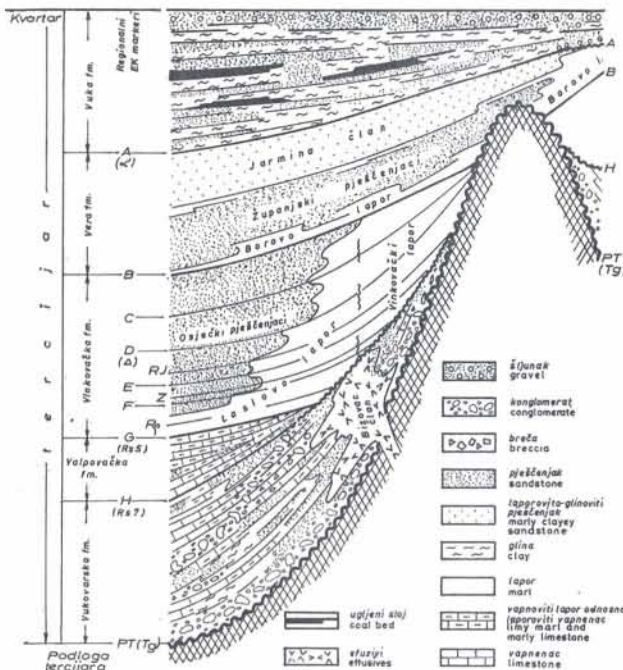
u prvoj su vršena uglavnom površinska istraživanja, poglavito prapora, a u drugoj istraživanja tercijarnih i kvartarnih taložina općenito.

U okviru prve faze, još 1876., Pilar spominje tipičan razvoj prapora i njihovu veliku rasprostranjenost, Šandor (1912) daje analize prapora iz okolice Vinkovaca, a Gorjanović-Kramberger (1912., 1922) proučava građu praporne stepenice istočne Slavonije, Srijema i Podravine. Takšić (1932) piše o Rvenici kao vezi između Vuke i Bosuta, a (1947) opisuje i zapažanja o sastavu prapora nižih, pleistocenskih taložina. Iznosi mišljenje da naše praporne taložine nastaju u gornjem pleistocenu i da njihov najdublji dio odgovara nastupu vürmske oledbe. Tajder (1942) također analizira sastav srijemskih prapora. U novije vrijeme o detaljnijim proučavanjima prapora pišu Galović i Mutić (1984.) i Mutić (1989, 1990).

Tijekom druge faze istraživanja kvartarne taložine su uglavnom opisane u okviru istraživanja tercijarnog bazena istočne Slavonije, kao njegovog najmlađeg dijela. O strukturno-tektonskim odnosima područja, a i nešto šire, pisali su Jagačić (1963), Kranjec et al. (1969., 1970), Hernitz (1970) i drugi. Na temelju fotogeološke analize Haček i Oluić (1969), daju tektonski pregled, a o paleostrukturnim odnosima okoline Šamca piše Hernitz (1970). Neotektonske kvartarne deformacije u Hrvatskoj opisuju Prelogović i Cvijanović (1983), napominjujući da debljina kvartarnih taložina u istočnoj Slavoniji prelazi 250 metara. Urumović i Sokač (1974), analiziraju litološki sastav kvartara i određuju srednji pleistocen području ostrakodne faune, a potom Sokač (1976), proučavajući ostrakodnu faunu, raščlanjuje pleistocen na donji, srednji i gornji.

Raščlambu tercijara na neobavezne jedinice, na temelju dubokih bušotina istočne Slavonije, izvršio je Šimon (1973): na Vukovarsku, Vinkovačku, Vera i Vuka formaciju (slika 1), pri čemu je Vuka

najmlada. Prema autoru debljina Vuka formacije na području istočne Slavonije je između 30 i 650 m, a ukupna debljina tercijara između 800 i 1700 metara. Detaljniju raščlambu Vuka formacije opisuju Urumović et al. (1978), pri čemu razlikuju dvije lito-loške cjeline: gornju, »rastresitu«, od površine do dubine oko 300 m (slika 2) i donju većeg stupnja konsolidacije, do dubine preko 1000 m (slika 3), uz smanjenje udjela propusnih taložina.



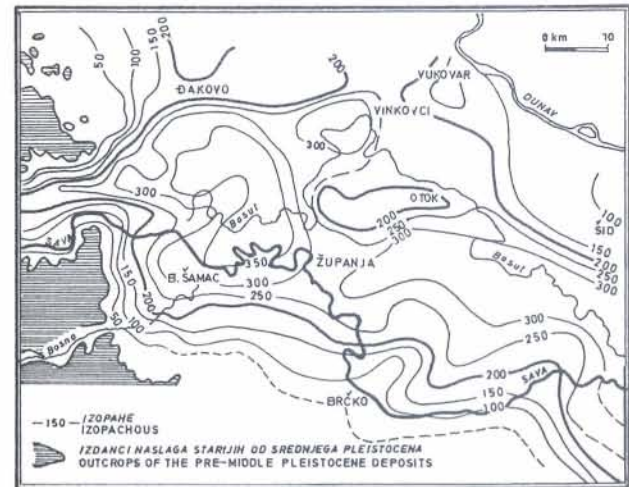
Slika 1: Shematski litostratigrafski stup tercijarnog kompleksa istočne Slavonije (Šimon, 1973)

Figure 1: Lithostratigraphic columnar section of the Tertiary complex in the area of Eastern Slavonia (Šimon, 1973)

Unutar »rastresitog« dijela Vuka formacije raščlambu vodonosnih slojeva do dubine oko 150 m izvršili su Miletić et al. (1986), a ovaj dio Vuka formacije nazivaju prva hidrogeološka zona. Na temelju analize podataka strukturnih bušotina i bunara razlikuju četiri vodonosna sloja, od površine prema dubini: Velika Kapanica, Vinkovci, Nijemci i Strizivojna. Ističe se da samo prvi vodonosni sloj V. Kapanica ima realne i znatnije mogućnosti prihranjivanja. Za ostale vodonosne slojeve ova mogućnost opada s dubinom zalijeganja. Upućuje se na moguće međusobne hidraulične veze slojeva V. Kapanica i Vinkovci na širem području njihove pojave.

O drugoj hidrogeološkoj zoni sjeverne Hrvatske pišu Miletić et al. (1975) i postavljaju, kao srednju vrijednost granice ove zone na području istočne Slavonije, dubinu oko 300 m, kao što su to zaključili i neki drugi autori. Kao kriterij pretpostavljena je temperatura od 20°C i ukupna mineralizacija preko 2 g/l otopljenih tvari.

Iskoristivih podataka o bušenju kvartarnih vodonosnih slojeva do 1967. godine praktično nema. Obično su na raspolaganju podaci o dubini bušenja i promjeru zacjevljenja. Najstariji korisni podaci o bušotinama i bunarima odnose se na bušenja na



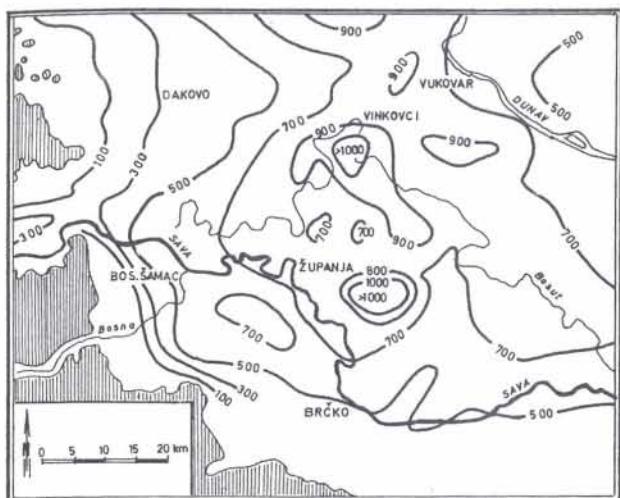
Slika 2: Karta debljina »rastresitoga pokrivača« (srednji i gornji pleistocen te holocen) (Urumović et al., 1978)

Figure 2: Isopachous map of »loose sediment« (Middle and Upper Pleistocene and Holocene) (Urumović et al., 1978)

području Vinkovaca 1967. godine. Nakon 1973., s prekidima od 1–3 godine, bušenja se nastavljaju do današnjih dana. Radovi se uglavnom izvode pod kontrolom a podaci obrađuju na moderniji način. Pregledni prikaz lokaliteta čiji su podaci korišteni u ovom radu daju se na slici 4, a broj izvedenih objekata u nastavku:

Lokacije – crpilišta	Broj bušotina	Broj bunara
1. Regionalna i grupna crpilišta		
Vinkovci – Kanovci	39	12
Đakovo – Trslana	12	6
Gudinci, V. Kapanica – B. Greda	14	4
Štitar	9	1
Sikirevci	3	1
Cerna	2	1
Bošnjaci – Županja	3	3
Deletovci	4	3
Semeljci – Koritna	3	3
2. Pojedinačna crpilišta: Gradište 1+1, Otok 1+1, Andrijaševci 1+1, Strizivojna 1+1, Drenovci 1+1, St. Jankovci 1+1, Nijemci 1+1, Lipovac 1+1, Ivanovci 1+1, St. Mikanovci 1+1, Kruševica 1+1, Gunja 1+1, Ivanovci 2+1, St. Perkovci 1+1, Nuštar 1+2, Vrpolje 1+1, Vrbanja 1+1, Apševci 1+1, Korog 1+2, Slakovci 1+1, Privlaka 3+2, Kompletinci 1+1, Antin 1+1, Mirkovci 1+1		
3. Bunari (bez bušotina): Strošinci, Podgrade, Posavski Podgajci, Jarmina, Ostrovo, Marinci		
4. Bušotine (bez bunara): N. Perkovci, Retkovci, Vinkovci – Rokovci		
5. Bušotine-pijezometri u profilima okomito na Savu: 18 lokaliteta		
6. Bušotine bez ugradnje: Kuti Trnjanski, Gudinci – sjever		

Za hidrogeološko tumačenje ovog područja korišteni su podaci 140 izvedenih bušotina i 68 bunara. Vrlo vjerojatno podataka bušenja ima najmanje dvostruki broj, ali i neadekvatno čuvanje arhivskih podataka i poplava u Zagrebu, koja je uništila arhivu »Geotehnike«, učinila ih je nedostupnima. Najveći dio korištenih podataka bušenja dobiven je uvidom u arhive »Geofizike« i »INA-Naftaplina« iz Zagreba.



Slika 3: Karta debljina Vuka formacije (Urumović et al., 1976)

Figure 3: Isopachous of Vuka formation (Urumović et al., 1976)

### Geografski, geomorfološki, hidrografski i klimatski opis područja

Istraživano područje zauzima prostor između Đakovačko-Vinkovačkog platoa i rijeke Save. Jednim dijelom u razmatranju je i dio područja preko praporne grede, koji administrativno pripada općinama Đakovo i Vinkovci. Tektonski područje pripada južnom dijelu Panonskog bazena. Zapadne granice su obronci Dilja i Krndije, a istočne su određene granicom sa Srbijom.

Područje je blago razvedeno, pretežno ravničarsko, s nadmorskim visinama uglavnom između 80 i 100 m. Na sjeveru, između Đakova i Vinkovaca, morfološki se ističe praporni ravnjak, koji se na zapadu veže na obronke Dilja i Krndije, a od Vinkovaca prema istoku naslanja se na Frušku goru. Središnji dio područja predstavljen je timorom čije se blage konture zamjećuju i na površini. Rubovi Đakovačko-Vinkovačkog ravnjaka uglavnom se poklapaju s dubokim glavnim potolinskim rasjedima, koji sežu i do površine terena (slika 5). Tijekom tercijara i kvartara ovi rasjedi uvjetovali su spuštanje i sjevernog i južnog krila, što je imalo za posljedicu taloženje relativno debelih tercijarnih i kvartarnih taložina. Praporni ravnjak nasut je mladopleistocenskim taložinama debljine 17 m na sjeveru do 25 m na jugu ravnjaka.

Za istraživanje vodonosnih slojeva najznačajnije je nizinsko područje prostiranja nanosa Bosne i Save, koje zahvaća oko polovinu područja između prapornog ravnjaka i Save.

Klima je humidna do subhumidna, s najvećom srednjom mjesečnom temperaturom 22°C u srpnju i najmanjom -0,8°C u siječnju. Srednja godišnja temperatura je oko 11°C. Prosječne godišnje oborine su oko 720 mm, najveće u području Dilja i Krndije (oko 800 mm i više), dok prema istoku opadaju na manje od 600 mm kod Nijemaca. Evapotranspiracija iznosi 623 mm/god., a isparavanje sa slobodne vodene površine 656 mm/god (prema Miletić et al., 1981. citiran Srebrenović).

### Stratigrafski pregled i strukturno-tektonski odnosi na području istraživanja

Osnovna geološka istraživanja usmjerena su prije svega na izradu geoloških karata uzdignutih područja i na istraživanja ležišta ugljikovodika. Novija istraživanja iz praktičnih razloga zasnivaju se na analizi i interpretaciji podataka naftnih i vodoistraživačkih bušotina, te geofizičkih mjerenja.

Prema strukturnim i litološkim značajkama u vertikalnom razrezu izdvajaju se dvije bitno različite cjeline: kvartarno-tercijarni kompleks taložina i njegova podloga (slika 1).

Na temelju podataka iz naftnih bušotina podloga tercijara je različitog sastava, no u širem smislu prisutne su magmatske, metamorfne i sedimentne stijene paleozoika i mezozoika. Među njima najstarije su stijene metamorfnog i granito-gnajsog kompleksa, ali ima i dolomita i vapnenaca mezozoika s interkalacijama klastita. Isti tipovi stijena razvijeni su na površini od Psunja prema Dilju, toneći prema istoku pod Đakovačko-Vinkovački praporni ravnjak.

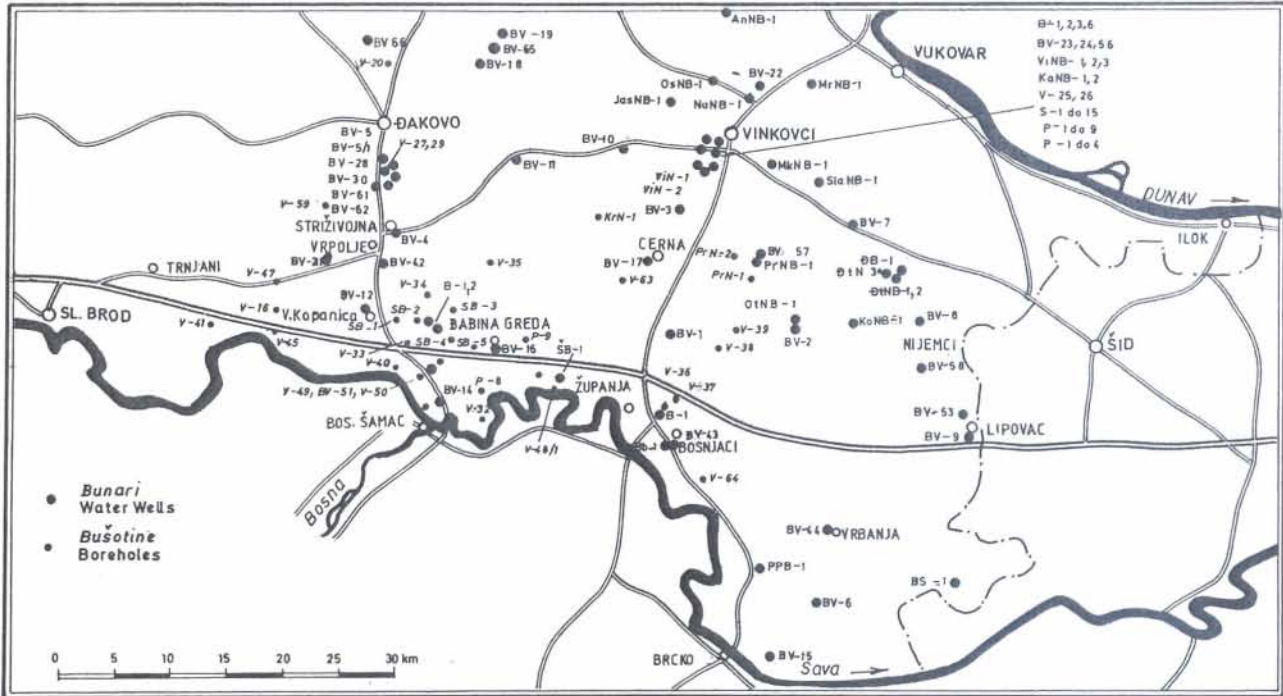
Izdizanjem područja u okviru Laramijske orogenske faze krajem gornje krede, ranije istaložene stijene postaju kopno i podvrgnute su intenzivnoj eroziji sve do oligocena. Štajerska orogenska faza na prijelazu u miocen uvjetuje transgresiju i dolazi do novog taloženja.

Početak miocena talože se pješčenjaci, pjeskoviti lapori i gline, a mjestimice ima pojava andezita i tufa. Sredinom miocena nakon tonjenja cijelog južnog dijela Panonskog bazena uz stare masive stvaraju se grebeni od konglomerata i pješčenjaka s brojnim litotamnijama, a u dubljim dijelovima talože se pjeskovito-laporoviti i glinovito-laporoviti slojevi. Predjel između Đakova i Vinkovaca tone manje i sporije nego ostali dijelovi i počinje se jasno nazirati konfiguracija hrpta, koji već nalikuju na plato, a pruža se od Krndije prema istoku.

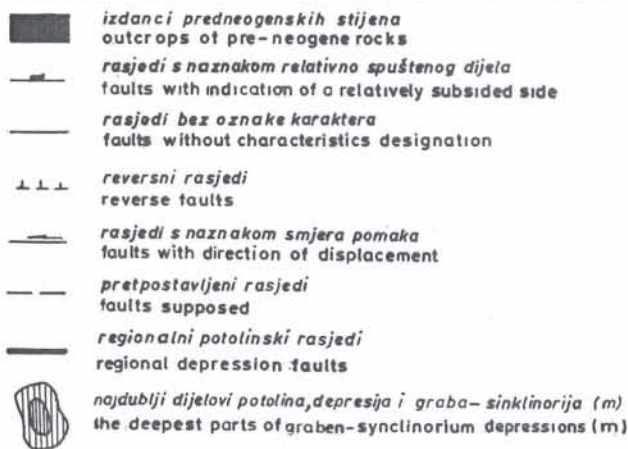
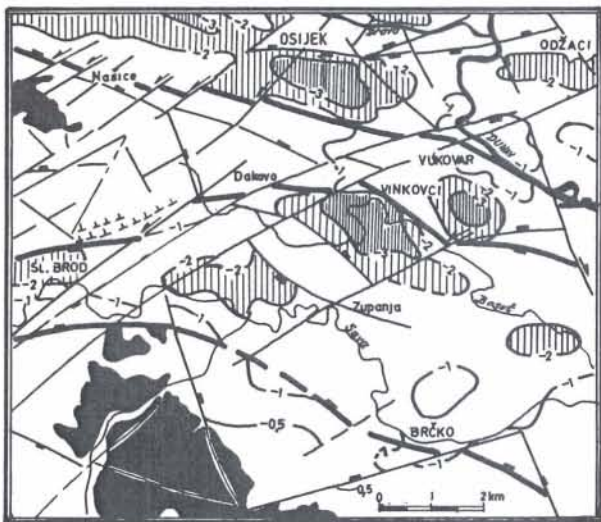
Prekidom veze Parathetysa i Thetysa nakon tordolazi do osjetnog oplićavanja i postupnog dotoka slatke vode. Sarmat je slabo razvijen. Oživljavanjem tektonske aktivnosti krajem miocena Parathetys se raspada na više manih bazena. Talože se slatkovodne taložine u dva karakteristična razvoja: jedan predstavljaju lapori, a drugi pješčenjaci. Đakovačko-Vinkovački plato ostaje kopno i jasno poprma današnje konture. Predstavlja zasebnu tektonsku cjelinu, od ostalih područja odijeljenu sjevernim i južnim normalnim rasjedom. Južni je izrazitiji, a omeđuje južni rub platoa pravcem Đakovo-Vinkovci. Rasjedi daju platau oblik klina koji se širi prema zapadu, a završava kod Vinkovaca (slika 5). Taložine miocena rasprostranjene su na cijelom području, a odlikuju se znatnim debljinama, što je u velikoj mjeri uvjetovano i neravnom podlogom (Krajanec et al., 1970.).

U gornjem dijelu mioplIOCena dolazi do novog spuštanja bazena i do veze s istočnim dijelom Parathetysa. Zbog obilnog donosa materijala povećava se debljina taložina, a odlazu se velike količine kvarcnog pijeska, lapora i gline.

Taložine gornjeg ponta litološki su slične prethodnima, ali su nešto tanje. Uslijed rodanskih pokreta, u srednjem i gornjem pliocenu ponovno se prekida



Slika 4: Lokacije bunara i bušotina  
Figure 4: Layout of wells and boreholes



Slika 5: Strukturno-neotektonska karta (Prelogović i Cvijanović, 1983)

Figure 5: Structural-Neotectonic map (Prelogović i Cvijanović, 1983)

veza Parathetysa s Panonskim bazenom i talože se debele slatkovodne paludinske taložine, uglavnom pjeskovite i šljunkovite, ali i gline koje prekrivaju skoro cijelo područje, osim nekih zapadnih i južnih predjela. Debljina ovih taložina u rubnim dijelovima savske potoline je oko 400 metara.

Najmlađa litostratigrafska jedinica, Vuka formacija, obuhvaća taložine srednjeg i gornjeg pliocena i kvartara (prikazane na slici 3). Kontinuirani prijelaz taložina ne omogućuje jednoznačno određivanje međusobnih granica.

U kvartaru se vlaškim pokretima konačno formiraju današnje strukture i okopnjava slatkovodna jezersko-močvarna sredina. Proces prati opće izdizanje na rubnim područjima grabe i postupno se formira površinska hidrografska mreža. U takvim uvjetima talože se taložine značajnije za nakupljanje i eksploataciju podzemne vode povoljne kvalitete. Razvijena hidrografska mreža omogućuje donošenje krupnoklastičnih materijala s okolnih uzvišenja. Najkrupniji materijal taloži se u rubnim dijelovima, a zbog oscilacija u količini dotoka vode i pronosa materijala vertikalni razrez područja pokazuje često litoške promjene s izmjenom šljunka, pijeska, praha i čak gline. Donošenje i taloženje materijala vršilo se uglavnom s južnog i jugozapadnog ruba bazena, gdje su bili glavni izvori taloženog materijala. Praćenjem debljine krupnoklastičnog materijala od Save na jugu prema sredini bazena (Strizivojna-Andrijaševci), zaključeno je o transportu materijala s juga i o odlaganju materijala u obliku lepeze. Debljina kvartara u promatranom području dosta varira. Procijenjena je između 150 i 200 m (Miletić et al, 1981.).

Kvartarne taložine sadrže više šljunčano-pjeskovitih slojeva, koji ove taložine predodređuju kao najznačajniju zonu u pogledu mogućnosti nakupljanja i eksploatacije podzemne vode.

### Litološke i hidrogeološke značajke kvartarnih vodonosnih slojeva

Istraživanja podzemnih voda učestala su i pojačana posljednjih petnaestak godina na području četiriju istočno-slavonskih općina: Vinkovci, Đakovo, Županja i Slavonski Brod.

Tijekom dosadašnjih istraživanja, na 140 bušotina i 68 bunara čiji podaci su korišteni u ovom radu, izvršeno je preko 10.000 sati ispitivanja – pokusnog crpljenja. Također je izrađeno više stotina granulometrijskih analiza, veći broj geomehaničkih analiza i kemijsko-bakterioloških analiza uzoraka voda, a organizirano je i stalno praćenje kolebanja razine podzemne vode, poglavito u vodonosnim slojevima Velika Kopanica i Vinkovci.

Obradom brojnih podataka iz bušotina detaljnije su upoznati grada najmlađih kvartarnih taložina i njihova hidrogeološka svojstva. Unutar prve hidrogeološke zone izvršeno je izdvajanje vodonosnih slojeva do približne dubine oko 150 m (Miletić et al., 1986). Za razliku od kronološkog prikaza taloženja od starijih taložina prema mladima, kako je to učinjeno u prethodnom poglavlju, opis vodonosnih slojeva prve hidrogeološke zone daje se od površine prema dubini, odnosno od najmlađih prema starijima.

Izdvojeni vodonosni slojevi imenovani su po lokalitetima gdje su prvi put nabušeni tijekom Regionalnih hidrogeoloških istraživanja 1974. godine. Prvi vodonosni sloj je Velika Kopanica, drugi je Vinkovci, treći Nijemci, a četvrti Strizivojna.

#### Vodonosni sloj VELIKA KOPANICA

Za ovaj vodonosni sloj značajna je kontinuiranost na velikom prostoru, ali i nehomogenost, s čestim promjenama litološkog sastava i u vertikalnom razrezu i bočno. Čine ga šljunkovito-pjeskovite taložine najmlađeg kvartara donijete s juga (Bosna), s lećama i proslojcima gline i praha. U središnjem dijelu prostiranja (Sredanci-Kruševica-V. Kopanica), šljunčano-pjeskovite taložine su ujednačenog granulometrijskog sastava, debljine sloja su najveće i iznose između 50 i 80 m (do prvog proslojka gline, ispod kojeg su ponovno nabušeni šljunci i pijesci). Radi nedovoljnog broja kvalitetnih podataka ne može se zaključiti da li se ovaj vodonosni sloj nastavlja u dubinu ili su ovdje jednim dijelom nabušeni i dublji vodonosni slojevi. U tom bi slučaju na ovom području svi slojevi činili hidrauličku cjelinu, uz njihovu kontinuiranost na cijelom promatranom prostoru. Veće litološke promjene kao posljedica taloženja zamjećene su na dijelu između Babine Grede i Štitara. Tu je sloj manje homogen i učestaliji su proslojci prašinstog pijeska i gline.

Krovinu tvore prašinsto-pjeskoviti i glinoviti materijali. Promatrajući sastav i debljinu krovine može se primijetiti donekle pravilan slijed taloženja. Neposredno iznad vodonosnog sloja su prašinsto-glinoviti ili pjeskovito-prašinsti materijali, prema sredini krovina je pretežno glinovito-prašinsto i idući dalje prema površini prelazi u glinoviti prah (močvarni prapor). Unutar krovine česte su leće gline, ali i tanji proslojci čistoga pijeska. Debljina krovine je neujednačena, manja uz Savu (do 10 m),

veća prema sjeveru, da bi između St. Perkovaca i Vrpolja poprimila vrijednost oko 40 metara.

Krovina vodonosnog sloja, nehomogena po građi i nepravilna po prostiranju, ima veliki utjecaj na procjeđivanje površinskih voda. Kroz debeli sloj pokrova male propusnosti prolaz vode je težak, pa se sloj tijekom ispitivanja ponaša kao zatvoren do poluzatvoren na sjevernim dijelovima prostiranja. Na južnim dijelovima, radi smanjenja debljine pokrova i promjene njegove kvalitete, mogućnost procjeđivanja oborinskih voda je značajna. Radi pozitivne hidrauličke veze sa Savom, tj. uzrokovanih promjena vodostaja za vrijeme ispitivanja, gornja pretpostavka nije tijekom ispitivanja dokazana.

Podinu tvore relativno kontinuirani glinoviti, prašinsto-pjeskoviti i ponegdje pjeskoviti slojevi. Debljina podine se mijenja između 5 i 25 metara. Radi neujednačene debljine i kvalitete podine pretpostavlja se izravna hidraulička veza ovog vodonosnog sloja sa slojem Vinkovci, ali pravo značenje takve veze nije još određeno.

Hidrogeološke osobitosti ovog vodonosnog sloja dosta se mijenjaju u promatranom prostoru, ovisno o debljini i kvaliteti sloja, njegove krovine i podine. Osnovni hidrogeološki parametri prema podacima ispitivanja bunara su:

$$\begin{aligned} \text{koeficijent vodoprovodnosti} & T = 916-7300 \text{ m}^2 \text{ dan}^{-1} & T_{sr} = 2373 \text{ m}^2 \text{ dan}^{-1} \\ \text{koeficijent hidrauličke provodljivosti} & k = 30,2-211,7 \text{ m dan}^{-1} & k_{sr} = 70,1 \text{ m dan}^{-1} \\ \text{koeficijent uskladištenja} & S = 1,75 \cdot 10^{-4}-8,25 \cdot 10^{-3} & S_{sr} = 1,75 \cdot 10^{-3} \\ \text{koeficijent procjeđivanja} & k'/m' = 2,65 \cdot 10^{-4}-4,32 \cdot 10^{-3} \text{ dan}^{-1} & (k'/m')_{sr} = 1,52 \cdot 10^{-3} \text{ dan}^{-1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{kapaciteti pojedinačnih bunara} & Q = 1823-9000 \text{ m}^3 \text{ dan}^{-1} & Q_{sr} = 5301 \text{ m}^3 \text{ dan}^{-1} \end{aligned}$$

Prethodni parametri određeni su na temelju ispitivanja 15 pokusnih bunara na lokacijama: St. Perkovci, Vrpolja, V. Kopanica, Gundinci, Babina Gređa, Sikirevci, Kruševica, Štitar, Županja, Bošnjaci i Drenovci.

Prihranjivanje ovog vodonosnog sloja vrši se dijelom infiltracijom površinskih voda, a većim dijelom iz Save, koja je svoje korito usjekla u vodonosni sloj na većem dijelu njegovog prostiranja, osim nizvodno od Županje.

Prema stanju hidroizohipsa utvrđeno je da vodonosni sloj drenira zaleđe samo u krajnjem sjevernom području prostiranja. Kod visokih voda Save osjeća se znatni utjecaj prihranjivanja, uz promjene smjera tečenja podzemne vode od Save u zaleđe, do udaljenosti oko 5 km u dijelu područja od V. Kopanice do Babine Grede.

Opisane litološke i hidrogeološke osobitosti vodonosnog sloja Velika Kopanica ukazuju na veliki potencijal i praktički jedino pravo rješenje za ostvarenje cjelovite vodoopskrbe područja istočne Slavonije. Izgradnja regionalnog crpilišta nametala se sama od sebe i radi toga je još 1973. pristupljeno određivanju najpovoljnijeg smještaja crpilišta. Izvedeni su vodoistraživački radovi na području Štitara, u Gundincima (između V. Kopanice i Babine Grede) i između Županje i Bošnjaka. Dobiveni podaci su

veoma povoljni, no prije konačne odluke o smještaju regionalnog crpilišta treba donijeti odluku o trasi kanala Sava-Dunav, kako bi se izbjegli negativni utjecaji budućeg objekta na crpilište.

### Vodonsni sloj VINKOVCI

Ovaj vodonsni sloj je prvi razvijeni vodonsni sloj na cijelom promatranom području. Granica prema jugu nije jednoznačno određena: pretpostavlja se izravna veza i bočni prijelaz u šljunčano-pješkoviti nanos ispod prvog proslojka gline, podine vodonsnog sloja V. Kapanica. Ako je pretpostavka točna, postoji i mogućnost prihranjivanja ovog vodonsnog sloja iz sloja V. Kapanica. Matematička modeliranja i simulacije rada crpilišta Vinkovci-Kanovci i Đakovo-Trslana pokazuju prihranjivanje s juga, ali i prihranjivanje »pretakanjem« preko prapornog ravnjaka sa sjevera.

koeficijent vodoprovodnosti

$$T = 69-706 \text{ m}^2 \text{ dan}^{-1} \quad T_{sr} = 262 \text{ m}^2 \text{ dan}^{-1}$$

koeficijent hidrauličke provodljivosti

$$k = 4,4-37,1 \text{ m dan}^{-1} \quad k_{sr} = 15,8 \text{ m dan}^{-1}$$

koeficijent uskladištenja

$$S = 2,51 \cdot 10^{-4}-1,20 \cdot 10^{-3} \quad S_{sr} = 6,35 \cdot 10^{-4}$$

koeficijent procjeđivanja

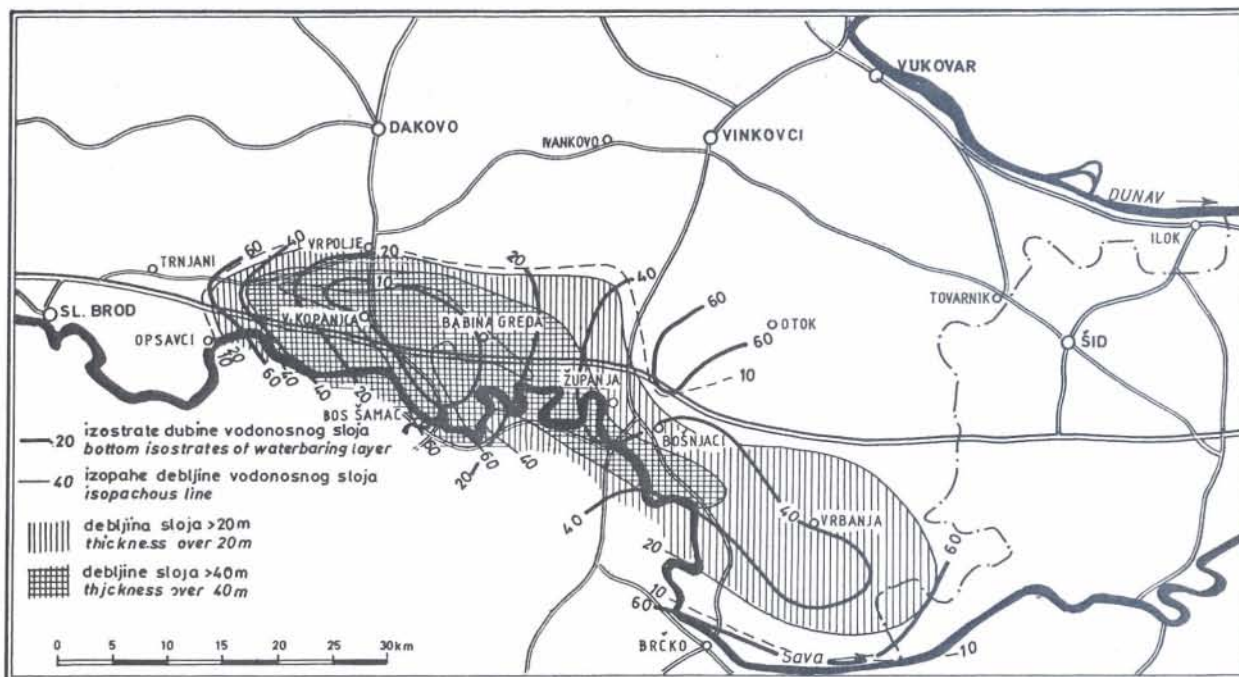
$$k'/\text{m}^2 = 1,29 \cdot 10^{-5}-1,02 \cdot 10^{-3} \text{ dan}^{-1} \quad (k'/\text{m}^2)_{sr} = 2,34 \cdot 10^{-4} \text{ dan}^{-1}$$

koeficijent pojedinačnih bunara

$$Q = 311-2194 \text{ m}^3 \text{ dan}^{-1} \quad Q_{sr} = 1172 \text{ m}^3 \text{ dan}^{-1}$$

Prethodni podaci odnose se na ispitivanje 20 bunara na lokalitetima: Gradište, Otok, Strizivojna, Trslana-Đakovo, St. Mikanovci, Kanovci-Vinkovci, Koritna, Đeletovci, Korog i Komletinci.

Dva veća crpilišta, Kanovci-Vinkovci i Trslana-Đakovo, koriste vodu ovog sloja. Dosadašnje korištenje na crpilištu Kanovci-Vinkovci pokazuje da je



Slika 6: Karta vodonsnog sloja »Velika Kapanica«.

Figure 6: Waterbearing layer »Velika Kapanica«.

Najpovoljniji razvoj sloja je na području Đakovo-Mikanovci-Cerna i dalje prema jugu, te između Vinkovca i Komletinaca. Izgrađen je od pijeska, ponegdje prašinstog, a manje količine šljunka pojavljuju se pri dnu sloja. Debljina vodonsnog sloja u spomenutim područjima redovito je preko 20 m, a u području Komletinaca i do 40 metara. Manje je razvijen u području Vinkovci-Privlaka-Cerna. Najmanje debljine nabušene su na prapornom ravnjaku i u njegovoj blizini.

Krovina je polupropusna do nepropusna, o čemu svjedoče vrijednosti koeficijenta vertikalne filtracije, niže na prapornom ravnjaku i u njegovoj blizini. Podina je manje ili više nepropusna, uglavnom glinovita, debljine oko 20 m, uz lokalne promjene.

Vodonsni sloj ispitan je na više lokaliteta. Ovisno o debljini i kvaliteti vodonsnog sloja mijenjaju se i hidrogeološki parametri:

već prisutno »rudarenje« podzemne vode radi nedostatnog prihranjivanja (Bačani et al., 1989.). Budući da niti uz takvu eksploataciju nisu zadovoljene potrebe grada, vodoopskrba Vinkovaca mora se zasnivati na povoljnijoj lokaciji. Za crpilište Trslana-Đakovo podaci o eksploataciji su nedovoljno sređeni. Pretpostavlja se slično stanje, ev. nešto povoljnije, jer se eksploatacija s razlogom zasniva i na vodonsnom sloju Nijemci.

### Vodonsni sloj NIJEMCI

Vodonsni sloj Nijemci slijedeći je po dubini sloj koji se može pratiti na cijelom istraživanom prostoru. Kontakt prema jugu s vodonsnim slojem V. Kapanica, jednako kao i za prethodno opisani vodonsni sloj Vinkovci, nije riješen. Osnovna karakteristika ovog sloja u odnosu na sloj Vinkovci je veća debljina, ali i nešto slabija kvaliteta. Povećanje debljine sloja

jače je izraženo južno od linije koja spaja Đakovo, Cernu, Andrijaševce, Komletince i Lipovac. Južno od spomenute linije debljine sloja su preko 30 metara. Najmanje debljine su nabušene na području prapornog ravnjaka i manje su od 10 metara.

Krovina prema sloju Vinkovci je relativno debeli sloj nepropusne gline, pa se procjeđivanje između ova dva sloja čini slabo mogućim. Efekt »lažnog« procjeđivanja, izračunat iz podataka ispitivanja bunara, vjerojatno je rezultat konsolidacije materijala, uzrokovane poremećajem tlakova kod dugotrajnijih crpljenja. Koliko je izostanak prihranjivanja za ovaj sloj povoljan čimbenik u smislu očuvanja kvalitete vode, nepovoljan je radi »rudarenja« tijekom intenzivnije eksploatacije podzemne vode.

Vodonosni sloj ispitan je na više lokaliteta, ali najveći broj ispitanih bunara kaptira ovaj vodonosni sloj zajedno s vodonosnim slojem Vinkovci. Postoje podaci za samo 7 bunara kojima je zahvaćen samo sloj Nijemci. To su bunari u Andrijaševcima, Lipovcu, Apševcima, Pogradu, Trslani-Đakovu, Privlaci i strukturno-pijezometarska bušotina u Cerni. Ispitivanjima su određeni hidrogeološki parametri vodonosnog sloja:

koeficijent vodoprovodnosti  
 $T = 75-316 \text{ m}^2 \text{ dan}^{-1}$   $T_{sr} = 196 \text{ m}^2 \text{ dan}^{-1}$   
 koeficijent hidrauličke provodljivosti  
 $k = 6,9-15,2 \text{ m dan}^{-1}$   $k_{sr} = 10,45 \text{ m dan}^{-1}$   
 koeficijent uskladištenja  
 $S = 1,87 \cdot 10^{-4}-6,36 \cdot 10^{-3}$   $S_{sr} = 1,56 \cdot 10^{-3}$   
 koeficijent procjeđivanja  
 $k'/m' = 5,72 \cdot 10^{-5}-1,45 \cdot 10^{-4} \text{ dan}^{-1}$   
 $(k'/m')_{sr} = 1,01 \cdot 10^{-5} \text{ dan}^{-1}$   
 koeficijent pojedinačnih bunara  
 $Q = 400-2000 \text{ m}^3 \text{ dan}^{-1}$   $Q_{sr} = 1000 \text{ m}^3 \text{ dan}^{-1}$

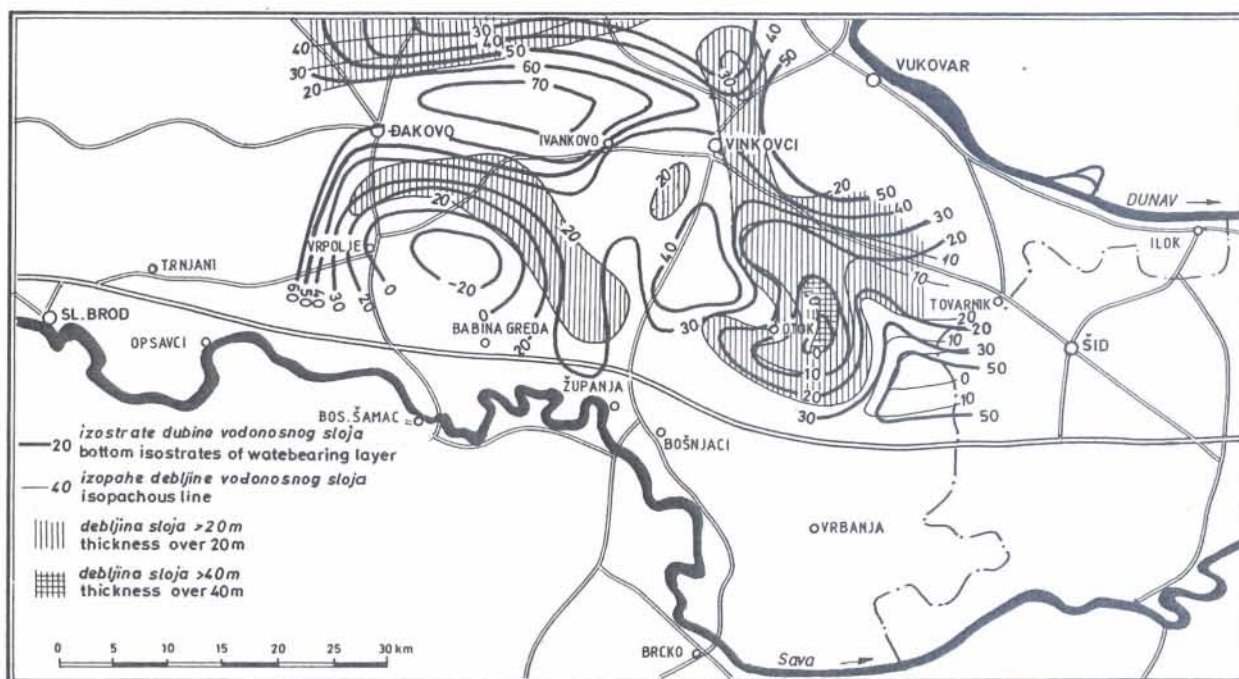
Većih crpilišta, zasnovanih na eksploataciji podzemne vode samo iz ovog vodonosnog sloja nema. Djelomično se vrši eksploatacija na crpilištima Trslana-Đakovo i Kanovci-Vinkovci. Alternativno crpilište u Cerni za potrebe grada Vinkovci planira se na pretpostavki korištenja podzemne vode ovog vodonosnog sloja, a po potrebi iz sloja Vinkovci također. Lokacija je odabrana uz pretpostavku da će se ostvariti veće prihranjivanje iz smjera juga, iz kontakta sa šljunčano-pjeskovitim nanosom na udaljenosti oko 3 km.

Preostalih 15 bunara, koji zajedno zahvaćaju slojeve Nijemci i Vinkovci, su na lokalitetima: St. Jankovci, Nijemci, Ivankovo, Cerna, Nuštar, Kanovci-Vinkovci, Trslana-Đakovo, Slakovci i Mirkovci. Njihovim ispitivanjem određeni su hidrogeološki parametri koji predstavljaju prosjek za dva zahvaćena vodonosna sloja:

koeficijent vodoprovodnosti  
 $T = 131-578 \text{ m}^2 \text{ dan}^{-1}$   $T_{sr} = 315 \text{ m}^2 \text{ dan}^{-1}$   
 koeficijent hidrauličke provodljivosti  
 $k = 7,2-16,4 \text{ m dan}^{-1}$   $k_{sr} = 11,2 \text{ m dan}^{-1}$   
 koeficijent uskladištenja  
 $S = 3,07 \cdot 10^{-5}-4,39 \cdot 10^{-3}$   $S_{sr} = 6,61 \cdot 10^{-4}$   
 koeficijent procjeđivanja  
 $k'/m' = 9,76 \cdot 10^{-5}-7,40 \cdot 10^{-4} \text{ dan}^{-1}$   
 $(k'/m')_{sr} = 2,70 \cdot 10^{-4} \text{ dan}^{-1}$

### Vodonosni sloj STRIZIVOJNA

Ovaj vodonosni sloj nabušen je na manjem broju lokaliteta i sukladno tome o njemu ima manje podataka. Osim na području prapornog ravnjaka, redovito je nabušen na dubinama preko 100 m, u Lipovcu na oko 140 m, a u Strizivojnu na oko 150 metara. Debljine je najmanje na prapornom ravnjaku (ispod



Slika 7: Karta vodonosnog sloja »Vinkovci«.

Figure 7: Waterbearing layer »Vinkovci«.

10 m), a najveće u Lipovcu (oko 30 m). Izgrađen je od sitnog pijeska, prašinstog i zaglinjenog u pojedinim intervalima. Krovina i podina ovog sloja su nepropusne, glinovito-prašinste i čak laporovite. U njima su česte pojave vapnenih konkreција.

Hidrogeološki parametri ovog sloja nisu ispitani, jer sloj nije kaptiran niti na jednoj od lokacija. Prema tome sloj je opisan samo na temelju podataka bušenja, karotažnih mjerenja i granulometrijskih analiza.

### Rezerve podzemnih voda na istraživanom prostoru

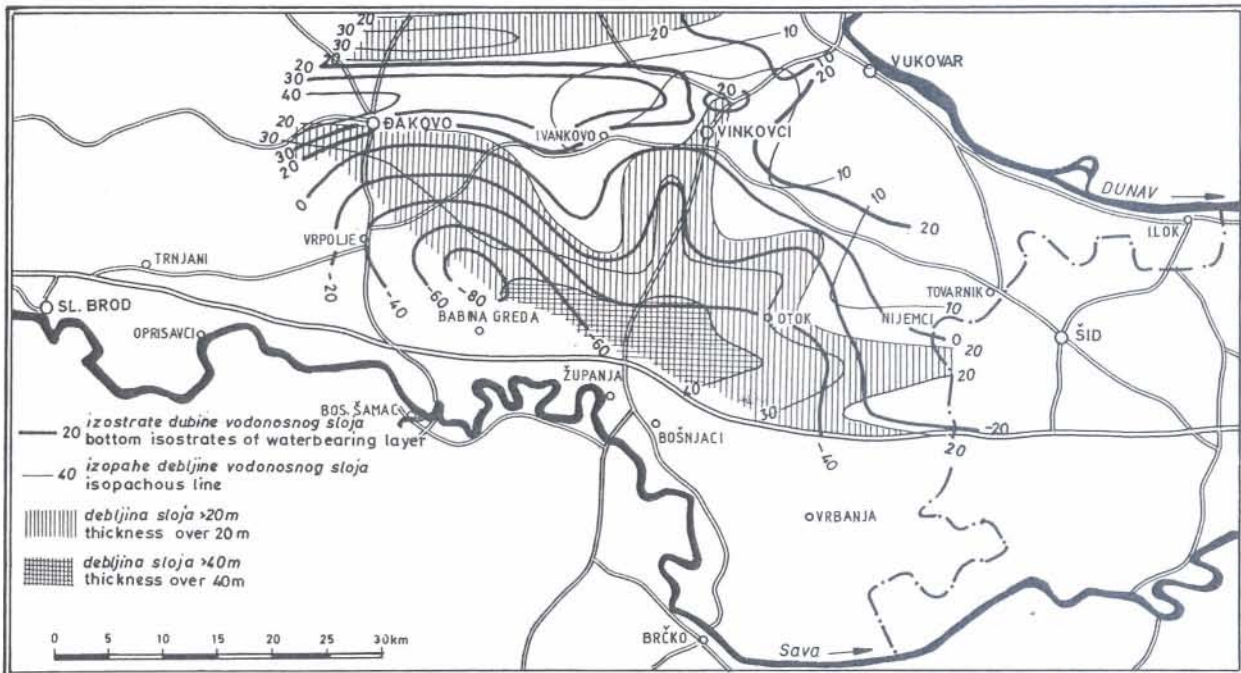
U skladu s istraženošću prostora načinjena je procjena rezervi podzemnih voda kao i procjena eksploatacijskog kapaciteta. Iz takve procjene može se s dosta sigurnosti zaključivati o mogućnostima eksploatacije na perspektivnim crpilištima.

eksploatacijski kapacitet je količina vode koja se u određenom vremenu obnavlja i predstavlja količinu vode koja se može neograničeno koristiti. Za sistem u eksploataciji sigurni eksploatacijski kapacitet može biti veći ili manji od sezonskih rezervi podzemne vode.

Procjena rezervi podzemnih voda daje se za prvi vodonosni sloj Velika Kopanica odvojeno, te za dublje vodonosne slojeve (Vinkovci, Nijemci i Strizivojna) zajedno, pri čemu su dijelom korišteni podaci procjene rezervi iz 1986. godine (Miletić et al.).

### Vodonosni sloj VELIKA KOPANICA

Stalne rezerve podzemne vode na području prostiranja ovog vodonosnog sloja promjenljive debljine (prosječno 40 m), uz pretpostavljeni efektivni porozitet (20% = 0,2), na površini od  $9 \cdot 10^8 \text{ m}^2$  jednake su



Slika 8: Karta vodonosnog sloja »Nijemci«.

Figure 8: Waterbearing layer »Nijemci«.

Promatrajući podzemne vode u prirodnom stanju procijenjene su stalne i sezonske (promjenljive) rezerve podzemne vode. Stalne rezerve predstavljaju količinu vode u porama ispod najnižeg zabilježenog vodostaja za otvorene vodonosne slojeve, odnosno količinu podzemne vode koja se nalazi u saturiranom dijelu vodonosnog sloja i količine uskladištenja, izračunate za najmanji zabilježeni tlak, za zatvorene vodonosne slojeve. Sezonske rezerve izračunate su za razliku između najvišeg i najnižeg vodostaja za otvorene vodonosne slojeve, odnosno za razliku prirodne sezonske promjene tlaka za zatvorene slojeve.

Za sisteme u eksploataciji ili sisteme s planiranom eksploatacijom procijenjene su ukupne eksploatacijske rezerve (ukupni eksploatacijski kapacitet) i sigurni eksploatacijski kapacitet. Ukupni eksploatacijski kapacitet nije ograničen pretpostavkom obnavljanja i predstavlja količinu vode konačnog volumena koju se u određenom vremenu može iscrpiti. Sigurni

$$Q_{\text{stalne}} = 9 \cdot 10^8 \times 40 \times 0,2 = 7,2 \cdot 10^9 \text{ m}^3$$

Sezonske rezerve podzemne vode za prosječnu godišnju amplitudu kolebanja podzemne vode od 2,5 m jednake su

$$Q_{\text{sezonske}} = 9 \cdot 10^8 \times 2,5 \times 0,2 = 4,5 \cdot 10^8 \text{ m}^3 \text{ god}^{-1}$$

Ukupne eksploatacijske rezerve izračunate su kao 1/2 stalnih rezervi, kojima su pribrojene sezonske rezerve, uključujući infiltraciju i protok. Pretpostavljeno je da se stalne rezerve koriste kroz 100 godina. Uz ove uvjete ukupne eksploatacijske rezerve jednake su

$$Q_{\text{eksploat.}} = \frac{7,2 \cdot 10^9}{2 \times 100} + 4,5 \cdot 10^8 = 5,20 \cdot 10^8 \text{ m}^3 \text{ god}^{-1} \text{ ili } 16,49 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

Sigurni eksploatacijski kapacitet određen je vodama koje se tijekom godine obnavljaju i jednake je



$$Q_{\text{sigurni}} = 4,5 \cdot 10^8 = 14,27 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

### Vodonosni slojevi VINKOVCI, NIJEMCI I STRIZIVOJNA

Stalne rezerve podzemne vode za tri vodonosna sloja ukupne prosječne debljine oko 60 m (20 + 25 + 15), dubine zalijeganja uglavnom pliće od 120 m na površini oko  $1,5 \cdot 10^9 \text{ m}^2$ , pretpostavljenog efektivnog poroziteta od 10% = 0,1, na temelju pretpostavljenog sniženja od 30 m i za koeficijent uskladištenja  $6,35 \cdot 10^{-4}$  (za sloj Vinkovci kao najpouzdaniji podatak), iznose

$$Q_{\text{stalne}} = 1,5 \cdot 10^9 \times 60 \times 0,1 + 1,5 \cdot 10^9 \times 30 \times 6,35 \cdot 10^{-4} = 9,03 \cdot 10^9 \text{ m}^3$$

Sezonske rezerve podzemne vode moguće je procijeniti samo u vodonosnom sloju Vinkovci, pribrajaajući količine podzemne vode iz uskladištenja i količine koje se oslobađaju uslijed procesa konsolidacije. Postupak računanja količina podzemne vode koje se oslobađaju iz konsolidacije neposredne krovine opisan je u proračunu rezervi za crpilište Vinkovci (Miletić et al., 1986.), a dobivene su vrijednosti između  $2,27 \cdot 10^6$  i  $4,29 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \text{ god}^{-1}$ . Usvojena je srednja vrijednost koja iznosi

$$Q_{\text{konsol.}} = 3,28 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \text{ god}^{-1}$$

Sezonske rezerve koje se oslobađaju iz uskladištenja za razliku tlaka od 3 m i punjenje tijekom 6 mjeseci godišnje, iznose

$$Q_{\text{uskklad.}} = 1,5 \cdot 10^9 \times 3 \times 6,35 \cdot 10^{-4} : 2 = 1,43 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \text{ god}^{-1}$$

Prema tome ukupne sezonske rezerve podzemne vode vodonosnog sloja Vinkovci jednake su

$$Q_{\text{sezonske}} = 3,26 \cdot 10^6 + 1,43 \cdot 10^6 = 4,69 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \text{ god}^{-1}$$

Ukupni eksploatacijski kapacitet za tri dublja vodonosna sloja jednak je 1/2 stalnih rezervi kroz 30 godina eksploatacije, odnosno

$$Q_{\text{eksploat.}} = \frac{9,03 \cdot 10^9}{2 \times 30} + 4,69 \cdot 10^6 = 1,55 \cdot 10^8 \text{ m}^3 \text{ god}^{-1} = 4,92 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

Sigurni eksploatacijski kapacitet odnosi se isključivo na vodonosni sloj Vinkovci, određen je količinom podzemne vode koja se obnavlja i iznosi

$$Q_{\text{sigurni}} = 4,69 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \text{ god}^{-1} = 0,149 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

Promatrajući ukupni i sigurni kapacitet vodonosnog sloja Velika Kopanica u odnosu na preostale vodonosne slojeve ističe se njegovo značenje, koje može imati kod rješavanja vodoopskrbe na području istočne Slavonije. Njegov kapacitet iznosi oko 77% raspoloživog eksploatacijskog kapaciteta i oko 99% sigurnog eksploatacijskog kapaciteta na području istraživanja.

### Kemijski sastav podzemnih voda kvartarnih vodonosnih slojeva

Manje pažnje kod istraživanja posvećeno je analizama kemijskog sastava podzemnih voda, tako da ima samo 37 upotrebljivih podataka. Po vodonosnim

slojevima ima u sloju V. Kopanica 7 analiza, u sloju Vinkovci 10 analiza, u sloju Nijemci 7 analiza i u slojevima Vinkovci+Nijemci 13 analiza.

Stanoviti broj uzoraka vode ima miris na sumporovodik i amonijak. Postotak uzoraka s mirisom raste s dubinom zalijeganja vodonosnih slojeva. S dubinom raste temperatura, od  $13,7^\circ\text{C}$  u sloju V. Kopanica do  $14,9^\circ$  u sloju Nijemci. Veće razlike u izmjerenim temperaturama (npr.  $18^\circ\text{C}$  u Semeljcima) moguće su posljedica neispravnog termometra. S dubinom raste i kiselost vode, a sve vrijednosti su u dozvoljenim granicama. Sulfati s dubinom opadaju, a kloridi rastu, ali sadržaj i promjene ne utječu na kvalitetu vode. Ukupna tvrdoća vode i isparni ostatak također rastu s dubinom.

Važno je naglasiti da s dubinom raste sadržaj mangana, što nije pravilo za željezo, koje je najmanje u sloju Vinkovci. Prosječni uzorci za svaki od vodonosnih slojeva pokazuju na sadržaj željeza i mangana veći od dozvoljenog u vodama za piće. Također je važno naglasiti da prosječni uzorci za sve slojeve pokazuju povećanje sadržaja amonijaka iznad dozvoljenih granica.

Koncentracija nitrata i nitrita je ispod dozvoljenih granica, ali je značajno spomenuti da je najveća koncentracija nitrata u vodonosnom sloju Vinkovci, što može ukazati na prisutnost postupnog utjecaja intenzivne poljoprivrede na kvalitetu vode ovog vodonosnog sloja.

Na temelju raspoloživih podataka ipak se može zaključiti da kvaliteta vode nije značajno narušena, te da kvalitetom prednjači voda iz vodonosnog sloja Velike Kopanice.

Neki značajniji hidrokemijski parametri i njihove promjene po dubinama – vodonosnim slojevima – prikazani su na slici 9.

### Kritički osvrt na izvedene vodoistraživačke radove

Tijekom višegodišnjih vodoistraživačkih radova područje istočne Slavonije relativno je dobro pokriveno, osim u jugoistočnom dijelu. Razlog takvom rasporedu podataka i poznavanja područja dobrim dijelom pridonijeli su naseljenost područja i izravni interesi naručitelja radova. Općenito se može ustanoviti da su veoma značajni podaci, prostiranje savskog šljunčano-pjeskovitog nanosa (vodonosnog sloja Velika Kopanica) i njegov dodir s dubljim vodonosnim slojevima do sada ostali nedovoljno poznati. U svim radovima ovi su podaci pretpostavljeni i uglavnom nedokazani.

Obzirom na litološki sastav vodonosnog sloja V. Kopanica i dubljih vodonosnih slojeva očekuje se da bi primjena geoelektričnih sondiranja, a po potrebi i profiliranja, također pripomogla razrješenju problema. Za očekivati je da bi se geoelektričnim istraživanjima sigurno odredila debljina i podloga vodonosnog sloja V. Kopanica u području savskog nanosa, dok bi se na preostalom području izdvojio »paket« slojeva do podine vodonosnog sloja Nijemci. Za očekivati je da bi dodatnih strukturnih bušenja trebalo minimalno, jer postoji dovoljno podataka s obje strane predmetne granice.

Drugi općeniti nedostatak izvedenih radova je u postojećoj mreži pijezometara. Mjerenje razine pod-

zemne vode uglavnom se vrši u vodonosnim slojevima V. Kapanica i Vinkovci. U vodonosnom sloju Nijemci razinu podzemne vode mjeri samo pijezometar u Vinkovcima (jedan), dok u sloju Strizivojna pijezometara nema. Promatranjem dijagrama kolebanja uočeno je da je veći dio pijezometara jače kolmiran ili čak začepljen. Prema tome nužno je što prije uspostaviti cjelovitu mrežu pijezometara za odabrane vodonosne slojeve, uz neophodno čišćenje postojećih.

Praćenje kvalitete vode na cijelom području, osim na značajnijim crpilištima, vrlo je loše. U uvjetima značajne opterećenosti vodonosnih slojeva Vinkovci i Nijemci bila bi poželjna kontrola stanja (periodičke analize!), kako bi se na vrijeme uočili eventualni jači utjecaji poljoprivrede na kvalitetu podzemne vode. Utjecaj poljoprivrede na kvalitetu podzemne vode prema prvim saznanjima (Grgić, 1990.), susreće se u procjednom vodonosnom sloju na crpilištu Kanovci kod Vinkovaca, ali i u površinskim vodotocima.

Osim na značajnim crpilištima, lociranje vodoistraživačkih radova u ranijoj fazi bilo je ustupak lokalnim potrebama. S druge strane, stanoviti broj objekata izveden je bez kontrole i na uskom području, kao npr. na crpilištu Kanovci-Vinkovci i u Privlaci. Prethodnim geoelektričnim ispitivanjima posljednjih godina poboljšani su rezultati istraživanja, kao npr. na području općine Đakovo, na alternativnom crpilištu grada Vinkovci u Cerni i na alternativnom crpilištu kod Bošnjaka.

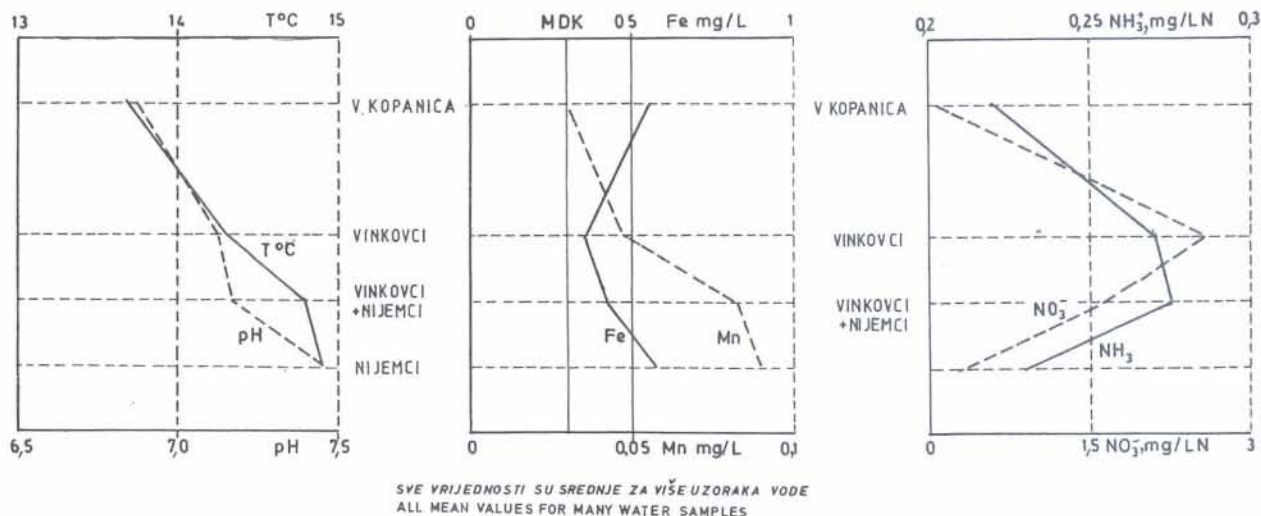
zemnih voda povoljne kvalitete. Zapadne granice područja su obronci Dilja i Krndije, a granica prema istoku je Srbija.

Rubovi Đakovačko-Vinkovačkog ravnjaka uglavnom se poklapaju s dubinskim potolinskim rasjedima, višestruko aktivnim u mladoj geološkoj povijesti. Tijekom tercijara i kvartara vrši se spuštanje duž južnog krila, što kao posljedicu ima taloženje relativno debelih tercijarnih i kvartarnih taložina.

Podloga kvartarno-tercijarnog kompleksa upoznata je iz naftnih bušotina. Sastoji se iz stijena vidljivih na površini Slavonskih gora: metamorfih i granito-gnajsni kompleks, te dolomita i vapnenaca s nešto klastita.

Kvartarno-tercijarni kompleks taložina uglavnom je klastičan. Prema naftnoj terminologiji podijeljen je na: Vukovarsku formaciju vrlo šarolikog sastava (breče, konglomerati, pješčenjaci, gline, lapori, laporoviti vapnenici), Vinkovačku formaciju (pretežno pješčenjaci, manje lapori), Vera formaciju (pretežno pješčenjaci, u gornjem dijelu laporoviti) i Vuka formaciju koja pokriva cijelo područje, a izgrađena je pretežito od mekih sivozelenih glina i sitnozrnih, slabo vezanih pijesaka u međusobnoj izmjeni, s rijetkim slojevima ugljena. Najmlađi litološki članovi ove formacije su šljunci, prašinate gline i prapor. Ukupna debljina kvartarno-tercijarnog kompleksa u središnjem dijelu područja je preko 1700 m, od čega Vuka formaciji pripada gornjih 650 metara.

Unutar Vuka formacije, istaložene nakon srednjeg pliocena, razlikuje se druga hidrogeološka zona, dub-



Slika 9: Neki značajni hidrokemijski parametri, promjene po dubinama – vodonosnim slojevima.

Figure 9: Some significant hydrochemical parameters, variations with depths – waterbearing layers.

## Zaključak

Promatrano područje istraživanja pripada južnom dijelu Panonskog bazena, a ograničeno je na sjeveru Đakovačko-Vinkovačkim prapornim ravnjakom koji se geomorfološki jasno nazire još od početka mioцена. S juga je omeđeno Savom, iako se kao jedinica prostire i preko Save u sjevernu Bosnu. Sava na jugu predstavlja pozitivnu hidrauličku granicu i znatno utječe na formiranje sezonskih rezervi pod-

lje od prosječno 300 m, s termalnom vodom višeg stupnja mineralizacije i gornja »rastresita« zona s povećanim udjelom propusnih slojeva koji sadrže veće količine podzemnih voda niže temperature i manjeg stupnja mineralizacije. Ova zona je od prvenstvenog interesa za istraživanje i korištenje podzemnih voda u okviru vodoopskrbe područja istraživanja.

Izvršena je raščlamba prve hidrogeološke zone do dubine oko 150 m i izdvojena su četiri eksploabilna vodonosna sloja: Velika Kapanica, Vinkovci,

Nijemci i Strizivojna. U okviru istraživanja ovih vodonosnih slojeva na području je izvedeno više strukturno-pijezometarskih bušotina i bunara, te njihovo ispitivanje. Od njih je odabrano 140 bušotina, te 68 bunara s preko 10.000 sati ispitivanja, a na temelju rezultata zaključeno je:

- vodonosni slojevi su značajnih debljina na najvećem dijelu istraženog područja, oni su između 15 i 50 m, najveće su debljine sloja V. Kapanica, veće od 50 metara,
- u litološkom sastavu slojeva preteže pijesak, osim u sloju V. Kapanica gdje prevladava šljunčana komponenta,
- hidrogeološki parametri vodonosnih slojeva pokazuju dobre karakteristike za pridobivanje podzemnih voda, prvenstveno iz vodonosnog sloja V. Kapanica,
- prihranjivanje vodonosnih slojeva moguće je infiltracijom oborinskih voda i dotokom iz Save, koja je na većem dijelu područja koritom u vodonosnom sloju V. Kapanica. Manje prihranjivanje dubljih vodonosnih slojeva moguće je iz konsolidacije glina u krovini i podini,
- rezerve podzemnih voda na području istraživanja su velike, ali u prostoru neujednačene, što upućuje na rješenje vodoopskrbe izgradnjom regionalnog crpilišta istočne Slavonije kod Gundinaca (alternativno kod Bošnjaka ili eventualno na nekoj od drugih lokacija). Ustanovljene su rezerve kako slijedi:

$$Q_{\text{stalne}} = 16,2 \cdot 10^9 \text{ m}^3$$

$$Q_{\text{sezonske}} = 4,54 \cdot 10^8 \text{ m}^3 \text{ god}^{-1}$$

$$Q_{\text{eksploatacijske}} = 6,75 \cdot 10^8 \text{ m}^3 \text{ god}^{-1} = 21,40 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

$$Q_{\text{sigurne}} = 4,55 \cdot 10^8 \text{ m}^3 \text{ god}^{-1} = 14,42 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

Pri tome vodonosni sloj Velika Kapanica sudjeluje sa 77% u eksploatacijskim, odnosno sa 99% u sigurnim rezervama podzemne vode.

- kemijski sastav voda pokazuje da je podzemna voda iz sloja Velika Kapanica općenito bolje kvalitete u odnosu na vode nižih slojeva. Uzorci iz sloja Strizivojna nisu uzimani.

Slijedom rezultata istraživanja može se ukazati i na neke nedostatke, do kojih je došlo tijekom izvođenja radova, uglavnom radi usklađivanja izvedenih radova i interesa naručitelja. Zbog toga nisu dovoljno poznati:

- prostiranje vodonosnog sloja Velika Kapanica prema sjeveru, istoku i jugoistoku,
- dodir vodonosnog sloja Velika Kapanica sa slojevima Vinkovci i Nijemci,
- kolebanje razina podzemne vode na širem području prostiranja vodonosnih slojeva Vinkovci i Nijemci, i
- hidrokemijski parametri vode i njihove promjene u vremenu i prostoru.

Tijekom dosadašnjih istraživanja, unatoč tome, stvorena je dobra slika o mogućnostima vodonosnih slojeva istočne Slavonije, pogotovo vodonosnog sloja V. Kapanica na potencijalnom regionalnom crpilištu u Gundincima, te vodonosnog sloja Vinkovci na grupnim crpilištima Đakovo-Trslana i Kanovci-Vinkovci. Istraživanja na alternativnim crpilištima (regionalno kod Bošnjaka i grupno kod Cerne), vjerojatno će u mnogome pridonijeti daljnjim saznanjima o

mogućnostima eksploatacije podzemnih voda istočne Slavonije.

Primljeno: 14. II. 1992.

Prihvaćeno: 9. VI. 1992.

## LITERATURA

- Bačani, A., Miletić, P., Miletić, M. (1989): Zalihe podzemnih voda crpilišta Vinkovci – studija, FSD RGN fakulteta, Zagreb.
- Galović, I., Mutić, R. (1984): Gornjopleistocenski sedimenti Istočne Slavonije (Hrvatska), *Rad JAZU 411 (20)*, 299–356, Zagreb.
- Gorjanović-Kramberger, D. (1912): Iz prapornih predjela Slavonije. *Vijesti Geol. društva 5*, 17–53, Beograd.
- Gorjanović-Kramberger, D. (1922): Morfološke i hidrogeološke prilike prapornih predjela te pograničnih česti Županije virovitičke. *Glas. Hrv. prir. društva 34, 2*, 3–64, Zagreb.
- Grgić, S. (1990): Utjecaj agrotehničkih kemijskih sredstava na sadržaj teških metala u podzemnim vodama i tlu na području istočne Slavonije – Magistarski rad, PMF, Zagreb.
- Haček, M., Oluić, M. (1969): Prikaz rezultata fotogeološke interpretacije istočne Slavonije. *Nafta 7*, 333–336, Zagreb.
- Hernitz, Z. (1970): Prilog poznavanju paleostrukturalnih odnosa neogenskokvartarnih sedimenata u širem području Šamca. *Geol. vjesnik 25*, 55–67, Zagreb.
- Hernitz, Z. (1970): About the structural and tectonic relations in the area of Eastern Slavonia. *Bull. sci. Yugosl. (A)*, 15, 9–10, 311–312, Zagreb.
- Hernitz, Z. (1970): Dubinski strukturno-tektonski odnosi u području istočne Slavonije. Jug. komitet svjet. kongr. za naftu, *Nafta*, Zagreb.
- Jagačić, T. (1963): Stratigrafski i tektonski odnosi istočnog dijela Slavonije na osnovu dubokih istražnih bušotina. *Geol. vjesnik 15/2*, 341–354, Zagreb.
- Kranjec, V., Hernitz, Z., Prelogović, E., Blašković, I., Šimon, J. (1969): Geološki razvoj Đakovačko-Vinkovačkog platoa. *Geol. vjesnik 22*, 111–120, Zagreb.
- Kranjec, V., Hernitz, Z., Prelogović, E., Šimon, J., Blašković, I. (1969): On the tectonism and sedimentation of Tertiary Deposits in Eastern Slavonia and neighbouring areas (Pannonian Basin). *Bull. sci. Yugosl. (A) 13*, 67–70, Zagreb.
- Miletić, P., Nowinski, A., Urumović, K. (1975): O drugoj hidrogeološkoj zoni sjeverne Hrvatske. Zbornik radova RGN fakulteta III, 97–100, Zagreb.
- Miletić, P., Capar, A., Mayer, D., Turić, G., Plančić, A., Župarić, A. (1981): Studija rezervi podzemne vode istočne Slavonije, III faza, FSD RGN fakulteta, Zagreb.
- Miletić, P., Mayer, D., Miletić, M., Plančić, A., Capar, A. (1981): Istraživanje i studija rezervi podzemnih voda za regionalni vodovod istočne Slavonije – Regionalno crpilište. FSD RGN fakulteta, Zagreb.
- Miletić, P., Bačani, A., Mayer, D., Capar, A. (1986): Prilog poznavanju hidrogeoloških značajki prve hidrogeološke zone na području istočne Slavonije. *Geol. vjesnik 39*, 137–150, Zagreb.
- Miletić, P., Bačani, A. (1986): Regionalno crpilište istočne Slavonije – Namjena i zaštita prostora. FSD RGN fakulteta, Zagreb.
- Miletić, P., Bačani, A., Kovačić, D., Klanjec, D. (1986): Hidrogeološka istraživanja istočne Slavonije, II dio, Crpilište Vinkovci – rezerve. Arhiv VVK Vinkovci.
- Miletić, P., Capar, A., Bačani, A. (1989): Interpretacija dosadašnjih hidrogeoloških podataka za podlogu novelacije studije hidrotehničkog rješenja regionalnog vodovoda istočne Slavonije. FSD RGN fakulteta, Zagreb.
- Mutić, R. (1989): Korelacija kvartara Istočne Slavonije na osnovi podataka mineraloško-petrografske analize (Istočna Hrvatska), dio I. Dravska potolina. *Rad JAZU, Acta geologica, Vol. 19.*, Zagreb.

- Mutić, R. (1990): Korelacija kvartara Istočne Slavonije na osnovi podataka mineraloško-petrografskih analiza (Istočna Hrvatska), dio II: Lesni ravnjak. *Rad JAZU, Acta geologica, Vol. 20.*, Zagreb
- Pilar, D. (1876): Podravina, Dakovština i Dilj gora, *Rad JAZU* 33, 38–57, Zagreb.
- Prelogović, E., Cvijanović, D. (1983): Prikaz neotektonске aktivnosti dijela Slavonije, Baranje i Bačke. *Geol. vjesnik* 36, 241–254, Zagreb.
- Sokač, A. (1976): Pleistocenska fauna ostrakoda iz nekih bušotina u istočnoj Slavoniji. *Geol. vjesnik* 29, 159–172, Zagreb.
- Šandor, F. (1912): Istraživanja prapora iz Vukovara, Bilogore i s Rajne. *Vijesti Geol. povjer. 2*, 103–108, Zagreb.
- Šimon, J. (1973): O litostratigrafskom stupu tercijarnih naslaga u području istočne Slavonije. *Nafta* 3, 119–127, Zagreb.
- Tajder, M. (1942): Sastav i postanak srijemskog prapora. Spomenica vukovarske gimnazije, 107–112, Vukovar.
- Takšić, A. (1932): Rvenica, vodena veza među Vukom i Bosutom. *Hrv. geogr. vjesnik* 4, Zagreb.
- Takšić, A. (1947): Prinos poznavanju prapora istočne Hrvatske. *Geol. vjesnik* 1, 202–231, Zagreb.
- Urumović, K., Sokač, A. (1974): O kvartarnim naslagama Županje. *Geol. vjesnik* 27, 319–330, Zagreb.
- Urumović, K., Hernitz, Z., Šimon, J. (1978): O kvartarnim naslagama istočne Posavine. *Geol. vjesnik* 30/1, 297–308, Zagreb.

## Researches into the Hydrogeology of the Sava River Basin in Eastern Slavonia and Its Knowledge

A. Capar

The investigated area belongs to the southern part of Panonian Basin, northerly limited by the Djakovo-Vinkovci Plateau, geomorphologically formed after Miocene. The Sava river makes the southern boundary, although the area extends to the south into the North Bosnia. The Sava river represents a positive hydrological boundary and forms dynamic groundwater reserves of good quality. The hill-sides of Dilj and Krndija make the western boundaries, whereas the state border towards Serbia makes the eastern boundary of the treated area.

The Djakovo-Vinkovci Plateau south borders mainly correspond to the deep plunged faults reactivate during the geological history up to the present age. During the Tertiary and Quaternary periods the sinking of the southern plane is present, and the sedimentation of thick tertiary and quaternary sediments is effected. The tertiary base complex is known from deep oilwells. It contains rocks met on the surface of the Slavonian Mountains: the metamorphic and granite-gneiss complex of rocks, as well as dolomites and limestones with some clastic sediments.

The tertiary-quaternary complex is predominantly clastic. According to the oil terminology the complex is divided into: the Vukovar, Vinkovci, Vera and Vuka formations. The Vukovar formation is composed of very different deposits: breccias, conglomerates, sandstones, clays, marls and marly limestones; the Vinkovci formation is predominantly composed of sandstones with less marls; the Vera formation consists predominantly of sandstones, marly in the upper part; and the Vuka formation, covering all the area, is composed predominantly of smooth gray-green clay and finegrained sands of low consolidation degree in alternation with rare coal seams. The youngest part of the formation is presented by gravel, silt, clay and loess. The total depth of the complex in the central part of the area is over 1,700 meters, of which the upper 650 meters belong to the Vuka formation.

Within the Vuka formation, deposited after the middle Pliocene, two parts can be distinguished: the lower one, i. e. the second hydrogeological zone, encountered at a depth of approx. 300 meters, containing thermal water of a higher degree of salinity, and the upper one, i. e. the first hydrogeological zone, unconsolidated, with a higher increase of permeability, consisting of abundant ground water of lower temperature and a lower degree of salinity. This zone is of the prime interest for the exploration and exploitation of underground water for water supply in the investigated area.

An analysis and the division of the first hydrogeological zone to the depth of some 150 meters resulted in four waterbearing layers: Velika Kapanica, Vinkovci, Nijemci and Strizivojna. From the researches into the waterbearing layers, on the basis of 140 exploration boreholes and 68 wells with more than 10,000 hours of testing, the following conclusions have been drawn:

- waterbearing layers of significant thickness – ranging between 15 and 50 meters, with extremes near V. Kapanica where gravel is predominant – are encountered over the whole area;
- the hydrogeological parameters of waterbearing layers indicate good features for the organisation and exploitation of ground water, especially in the V. Kapanica layer;
- a compensation of ground water reserves is possible by the infiltration of rainfall and from the Sava river level fluctuations reflecting in the background. A smaller compensation is possible from the consolidation of the overlying and underlying clay;
- water reserves, although considerable in quantity, are unevenly spread over the area of exploration, which consequently initiates the planning of a regional waterwell system for the entire Eastern Slavonia. The underground reserves are estimated as follows:

$$Q_{\text{static}} = 16.2 \times 10^9 \text{ cu.m}$$

$$Q_{\text{dynamic}} = 4.56 \times 10^8 \text{ cu.m per year}$$

$$Q_{\text{exploit.}} = 6.78 \times 10^8 \text{ cu.m per year}$$

$$Q_{\text{safe}} = 5.01 \times 10^8 \text{ cu.m per year}$$

Compared with total groundwater reserves, the water layer V. Kapanica contains 77% of the exploitation reserves and 99% of the safe reserves.

- the chemical composition of underground waters shows that water of the V. Kapanica layer is of much better quality than waters from the layers below.

The results of explorations show some imperfections, caused by local interests revealed during the execution of works. These brought some unsatisfactory results and up to now the following problems have been insufficiently solved:

- the spreading of waterbearing layer V. Kapanica towards the north, east and southeast;
- the contact of waterbearing layer V. Kapanica with waterbearing layers Vinkovci and Nijemci, approx. in the central part of the area;
- underground water fluctuation in the wider area of the Vinkovci and Nijemci layers;
- hydrochemical parameters and their fluctuations in time and space.

Nevertheless, a satisfactory productivity level of the waterbearing layers of Eastern Slavonia has been established during the exploration works, mainly on the regional wellfield in Gundinci (V. Kapanica layer), and the wellfields in Đakovo-Trslana and Vinkovci-Kanovci (Vinkovci waterbearing layer and partly Nijemci waterbearing layer as well). The actual explorations of alternative regional wellfields near Bošnjaci and Cerna should complete the watercatchment possibilities in Eastern Slavonia, taking into consideration all the imperfections as noted before.