

PAVAO MILETIĆ, BORIS ŠVEL i ANDRIJA ČAPAR

PROCJENA REZERVI PODZEMNIH VODA NA PODRUČJU IZMEĐU SUTLE I PODSUSEDA

S 2 slike u tekstu

Na području između utoka Sutle u Savu i Podsuseda nalazi se relativno debeli rječni nanos s izrazito razvijenim šljunkovitim vodonosnim horizontom. Na temelju podataka za taj su horizont izračunate stalne i promjenljive rezerve podzemnih voda, te podzemni dotok i infiltracija iz Save.

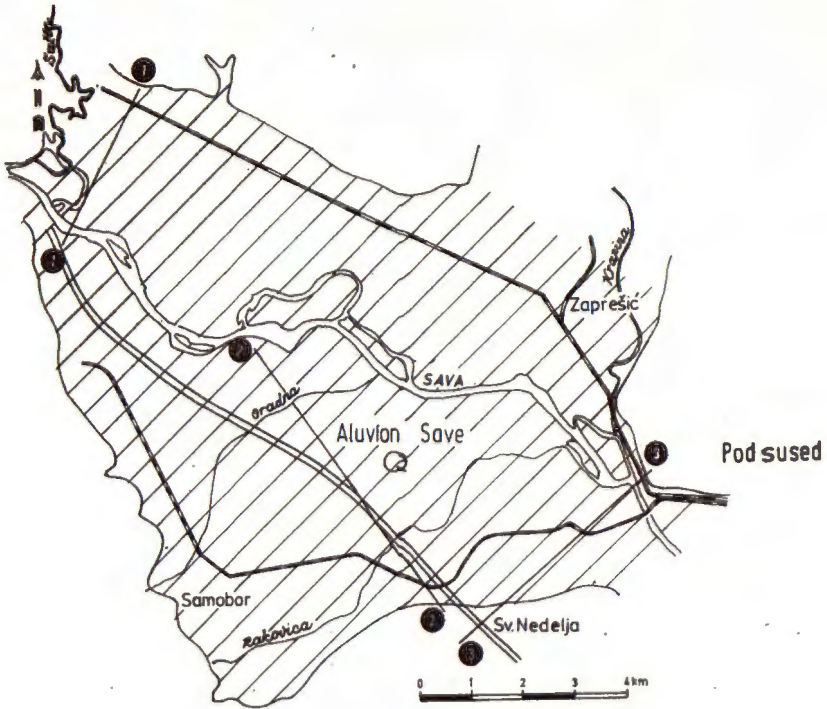
UVOD

Zapadno od Zagreba – između podsusedskog praga i utoka Sutle u Savu – savska se dolina proširuje i sadrži krupnoklastične aluvijalne sedimente (slika 1). Vodonosni horizont stvoren u tim naslagama nalazi se pod direktnim utjecajem Save, oborinskih voda i ostalih površinskih voda. Zbog toga se mnogi potrošači zanimaju za korištenje vode ovog horizonta.

Zahtjevi sadašnjih, a i budućih potrošača, naveli su Vodovod grada Zagreba da zatraži analizu rezervi podzemnih voda u prirodnom stanju. Analiza je trebala pokazati osiguravaju li prirodni uvjeti potrebne količine vode za povećanje eksploatacije, ili je potrebno da se neki potrošači usmjere na druga izvorišta.

Postignuti rezultati ove analize imaju posebnu vrijednost s nekoliko razloga. Prvo, oni su temeljeni isključivo na postojećoj dokumentaciji, a to pokazuje da je naš osnovni fond podataka dovoljan za idejno određivanje zaliha podzemnih voda. Drugo, analiza je načinjena za vodonosni horizont koji je karakterističan za uzvodni dio Save i Drave u Hrvatskoj, pa će i po svom načinu i po provedbi poslužiti pri sličnim razradama. Treće, a moguće i najvažnije, jest to što je analiza pokazala da su prosječno čiste podzemne vode po količini veoma ograničene i u tom, na oko bogatom, vodonosnom horizontu. Ako se tome doda da je taj horizont intenzivno eksploatiran u nizvodnom dijelu, jasno je da već danas moramo tražiti nove izvore podzemne vode za vodoopskrbu Zagreba u bližoj budućnosti.

Želimo se zahvaliti ovom prilikom dipl. inž. M. Svetličiću iz Vodovoda grada Zagreba i dipl. inž. M. Gukovu iz Direkcije za izgradnju Zagreba na njihovoj pomoći pri izvođenju ovog rada.



Sl. 1. Situacija područja istraživanja
Fig. 1. Situation map

POLAZNI PODACI

Od 1963. regionalna su hidrogeološka istraživanja pokazala da u Sjevernoj Hrvatskoj vodonosni horizonti pogodni za masovnu eksploataciju pripadaju aluvijalnim vodonosnim naslagama velikih rijeka (Miletić, 1969). Zbog toga su i na ovom lokalitetu sva istraživanja neposredno koncentrirana na aluvion Save.

Ustanovljeno je da u području Sutle i Podsuseda savski aluvion pokriva približno 57 km², i to na desnoj obali 30 km², a na lijevoj 27 km². U vertikalnom presjeku aluvijalne naslage sastoje se od glinovitog i prašinasto-pjeskovitog pokrivača debljine do 7 m s većom debljinom na rubovima doline. Veći je dio pokrivača tanak: debljina mu je u prosjeku 1–2 m. Na mnogim je mjestima pokrivač uklonjen umjetnim putem – na mnogobrojnim pozajmištima šljunka.

Ispod pokrivača nalazi se vodonosni sloj, pretežno šljunkovit do šljunkovito-pjeskovit, debljine od 5 do najviše 30 metara. Promjene debljine vodonosnog horizonta nepravilne su i skokovite, pa je sigurno da su povezane s neotektonskim pokretima (Prelogović, E., 1970), koji su i nizvodno od Podsuseda znatno utjecali na promjene debljine aluvijalnih taložina Save (Borčić & dr. 1968, Kranjec & dr., 1972). Prosječna izračunata debljina vodonosnog horizonta iznosi 11 m, a njegova zapremina $347,94 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ za desnu obalu i $285,02 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ za lijevu obalu. Koeficijent filtracije određen pokusnim crpljenjem na raznim točkama u horizontu kreće se od $2,0 \cdot 10^{-3} \text{ m/sek}$ do $2,0 \cdot 10^{-2} \text{ m/sek}$.

U podini vodonosnog horizonta nalaze se relativno nepropusne glinovite i laporovite starije naslage.

Na nekoliko lokaliteta u području zapadno od Podsuseda Republički hidrometeorološki zavod vrši mjerenja oscilacija podzemnih voda. Ti su lokaliteti, međutim, rijetki, a zbog udaljenosti od Save nisu mogli služiti za korelaciju vodostaja. Zato su, kao mjerodavni podaci, uzete jednokratne snimke jednog visokog i jednog niskog vodostaja, koji su mjereni 6. 12. 1966, odnosno 29. 8. 1966. Ti su vodostaji uzeti – u pomanjkanju točnijih podataka – kao karakteristični u daljnjim proračunima. Karta hidroizohipsi, koja je na temelju njih sastavljena, pokazuje logičan odnos razina podzemnih voda u zavisnosti od Save. Kolebanje razine podzemne vode prema ovirn podacima iznosi u prosjeku između visokih i niskih vodostaja oko 4 m, dok u isto vrijeme, uz izuzeće ekstremnih vodostaja Sava, u prosjeku oscilira za 6 m.

Za vrijeme visokih vodostaja Sava hrani aluvion, a za vrijeme niskih aluvion se prazni u Savu. S obzirom na višegodišnji srednji hidrogram Save, to se događa dva puta na godinu, s time da punjenje aluviona traje prosječno po dva mjeseca, ili ukupno četiri mjeseca.

Izvori hranjenja vodonosnog horizonta, osim infiltracije iz Save, jesu: efektivna infiltracija oborinskih voda i podzemni dotok na ulaznom profilu (profil 1, slika 1), te na području Sv. Nedelja-Samobor-Bregana (profil 2, slika 1). U pomanjkanju mjernih podataka pretpostavljeno je da infiltracija oborina iznosi 15% od visine prosječnih oborina na tom području. Visoki postotak za infiltraciju uzet je iz nekoliko razloga. U prvom redu, pokrivač je vodonosnog horizonta tanak, prašinsto-pjeskovit, a vodonosni horizont na mnogi mjestima izbija direktno na površinu. U ovu infiltraciju uračunate su, osim toga, i količine oborina koje padnu na otvorene vodene površine (osim Save), kojih također ima dovoljno. Uračunata je i infiltracija iz mnogobrojnih manjih vodotoka, koji se slijevaju sa susjednih brda. Mišljenja smo da se u tom slučaju ovako visoki postotak može prihvatiti za obrađeno područje.

Pražnjenje vodonosnog horizonta, osim drenaže u Savu, događa se na izlaznom profilu prema Podsusedu (profil 3, sl. 1) i korištenjem vode od potrošača.

Pretpostavljeno je da je u vrijeme, na koje se odnosi snimka podzemnih voda, potrošnja iznosila za cijelo područje $22.0 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{god}$.

Također je pretpostavljeno, u pomanjkanju mjernih pokazatelja, da je specifično otpuštanje naslaga vodonosnog horizonta $\alpha_{ef} = 0,15$, što je vjerojatna vrijednost za taložine ovog tipa.

Na temelju ovih pokazatelja, izrađena je bilanca voda područja istraživanja i izračunate su zatečene rezerve podzemnih voda. Bilanciranje podzemnih voda i račun rezervi bio je olakšan zbog povoljnih prirodnih okolnosti – što sav podzemni dotok teče na lijevoj obali Save, u uzvodnom dijelu. Desna obala na ovom profilu naslonjena je na starije naslage. Ukupno podzemno otjecanje iz bazena događa se pak na izlaznom profilu desne obale Save kod Podsuseda. Lijeva obala ovdje se priklanja starijim stijenama.

PROCJENA REZERVI I BILANCA PODZEMNIH VODA U ZATEČENOM STANJU

Analizom i obradom nabrojenog materijala izvršena je procjena: prvo, stalnih i promjenljivih rezervi podzemnih voda i podzemne protoke u zatečenom stanju, i drugo, količina infiltracije savske vode u podzemlje.

Pod stalnim rezervama podrazumijeva se ovdje količina gravitacione vode koja se nalazi ispod minimalnog registriranog vodostaja vode u podzemlju. Proračun je pokazao da stalne rezerve podzemnih voda na ovom području iznose – uz iznijete parametre – ukupno $94,80 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (za lijevu obalu $42,70 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, a za desnu $52,10 \cdot 10^6 \text{ m}^3$).

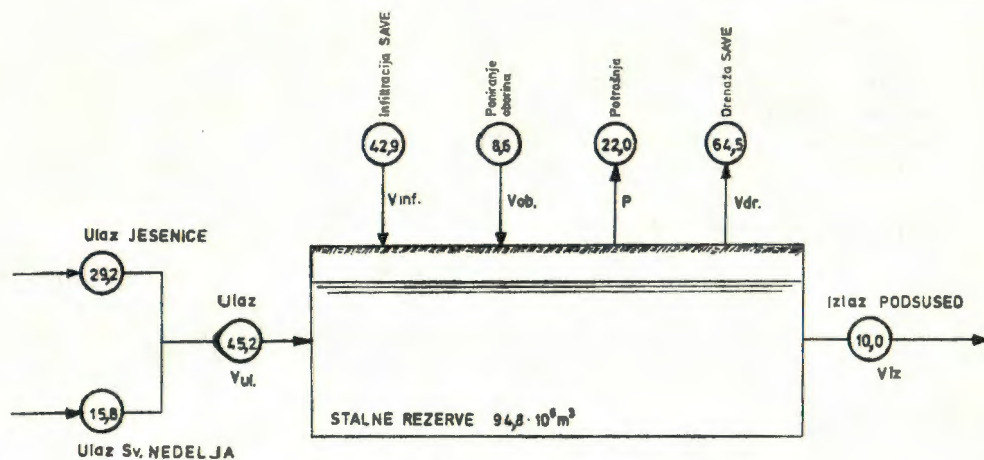
Pod promjenljivim rezervama podrazumijeva se količina gravitacione vode između minimalnog i maksimalnog registriranog vodostaja u podzemlju, i one iznose ukupno $25,03 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (za lijevu obalu $13,73 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, a za desnu obalu $11,30 \cdot 10^6 \text{ m}^3$).

Podzemna protoka za potrebe bilance podzemnih voda izračunata je na ulaznom profilu kod Jesenica (profil 1, slika 1), zatim na profilu Sv. Nedelja–Klokočevac (profil 2, slika 1), te na izlazu kod Podsuseda (profil 3, slika 1). Izračunata je protoka za visoki i posebno za niski vodostaj, izračunata je zatim prosječna protoka i ukupna godišnja protoka.

Na ulaznom profilu Jesenice protoka za visoki vodostaj iznosila je $1,266 \text{ m}^3/\text{sek}$, za niski vodostaj $0,584 \text{ m}^3/\text{sek}$. Uz srednju protoku od $0,925 \text{ m}^3/\text{sek}$ godišnji dotok iznosi $29,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{god}$.

Na ulaznom profilu Sv. Nedelja–Samobor–Klokočevac protoka za visoki vodostaj iznosila je $0,532 \text{ m}^3/\text{sek}$, a za niski vodostaj $0,468 \text{ m}^3/\text{sek}$. Uz srednju protoku od $0,500 \text{ m}^3/\text{sek}$ godišnji dotok iznosi $15,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{god}$.

Na izlaznom profilu kod Podsuseda izračunata je protoka za visoki vodostaj $0,415 \text{ m}^3/\text{sek}$, a za niski vodostaj $0,233 \text{ m}^3/\text{sek}$. Uz srednju godišnju protoku od $0,324 \text{ m}^3/\text{sek}$ podzemno otjecanje iz bazena iznosi godišnje $10,02 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{god}$.

SVE VELIČINE U $10^6 \text{ m}^3/\text{god.}$

Sl. 2. Približna bilanca podzemnih voda. Ukupno područje Sutla-Podsused

Fig. 2. Approximate groundwater balance for the area Sutla-Podsused

Za bilanciranje bilo je potrebno izračunati i količinu vode koja se infiltrira s površine, te količinu infiltracije iz Save i drenažu vode u Savu. Infiltracija oborina izračunata je iz poznatih parametara kao $8,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{god.}$ (na lijevoj obali $4,1 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{god.}$ i na desnoj obali $4,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{god.}$). Infiltracija Save u aluvion izračunata je na osnovi prilagođene jednažbe da je $V_p = V_{inf} + V_{ob} + V_{ul} - (V_{iz} + P)$ gdje je V_p iznos promjenljivih rezervi podzemnih voda; V_{inf} iznos infiltriranih voda iz Save; V_{ob} iznos infiltracije s površine; V_{ul} podzemni dotok na ulaznim profilima; V_{iz} podzemni odtok na izlaznom profilu; P potrošnja vode u bazenu. Prilagođavanjem jednažbe za izračunavanje V_{inf} i uvrštavanjem gornjih vrijednosti uz pretpostavku da se popunjavanje bazena događa dva puta na godinu izračunato je da infiltracija iz Save u podzemlje iznosi $42,86 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{god.}$

Na sličan način, uz prilagođenu jednažbu i gornje elemente, izračunata je drenaža aluviona u Savu od $64,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{god.}$

Na temelju tako izračunatih elemenata dobiveni su svi podaci za bilancu podzemnih voda aluviona Save između Sutle i Podsuseda, a rezultati bilance prikazani su na slici 2.

ZAKLJUČAK

Analiza bilance pokazuje vrlo male stalne rezerve podzemnih voda u odnosu na elemente bilance. Slijedi da se u eksploataciji ne može računati na korištenje stalnih rezervi osim u okviru godišnjeg izravnjanja. Također je

vidljivo da je odnos jednogodišnjeg prihoda ($96,5 \cdot 10^6$ m³/god) i potroška vode ($22,0 \cdot 10^6$ m³/god) takav da osigurava povećanje eksploatacije u budućnosti, to više što će povećana eksploatacija povećati i postojeće prihode. U tom slučaju potrebno je, međutim, imati na umu da će povećanje prihoda biti u uskoj vezi s povećanom infiltracijom iz Save – što dovodi u opasnost kvalitet korištenih voda. Također je iz bilance vidljivo da, uz postojeći prihod koji se događa dva puta na godinu, i postojeću eksploataciju, stalne rezerve ne učestvuju u sadašnjoj potrošnji vode.

Zavod za opću i primijenjenu geologiju,
RGN-fakultet, Zagreb, Pierotijeva 6
»Elektroprojekt«, Zagreb, Kupaska ul. bb
»Geofizika«, Zagreb, Savska 64

LITERATURA

- Borčić D., Capar A., Čakarun I., Kostović K. & Miletić P., 1968: Prilog daljnjem poznavanju aluvijalnog vodonosnog horizonta na širem području Zagreba. Geol. vjesnik, 21, 303-310, Zagreb.
- Miletić P., 1969: Hidrogeološke karakteristike Sjeverne Hrvatske. Geol. vjesnik, 22, 511-524, Zagreb.
- Prelogović E., 1970: Neotektonska kretanja između Orlice, Samoborske gore i Medvednice. Geol. vjesnik, 23, 151-161, Zagreb.
- Kranjec V., Prelogović E. & Hernitz Z., 1972: Strukturno-geomorfološko proučavanje neotektonskih gibanja u dijelu Posavine između Zagreba i Siska, te obziri kod planiranja gradnji. Zbornik radova Drugog jugoslovenskog simpozijuma o hidrogeologiji i inženjerskoj geologiji, 2, 163-186, Beograd.

MILETIĆ P., ŠVEL B. and CAPAR A.

THE EVALUATION OF GROUNDWATER RESERVES BETWEEN THE SUTLA RIVER AND PODSUSED

In the area of the Sava alluvium to the West from Zagreb, between the influx of the Sutla tributary into the Sava River and Podsused, it is necessary to increase the exploitation of groundwater reserves. An analysis of the existing data and an estimation of the groundwater reserves has been carried out in order to verify the possibilities of increased exploitation. The performed groundwater balance has shown that an increased exploitation at the expense of a temporary use of the static reserves does not come into consideration, because the amount of the static reserves is very limited in relation to the other ones. According to this estimate, the static reserves can be exploited only up to the limit of a yearly replenishment. It has been shown that the relation of the replenishment per annum ($96,5 \cdot 10^6$ cu. m. per year), and the yearly

consumption ($22,0 \cdot 10^6$ cu. m. per year) can assure a safe increase of future exploitation. Meanwhile, increased exploitation would also raise the existing replenishment. However, we have to bear in mind that in this case increased replenishment would result from an increased infiltration of the Sava River, thus endangering the quality of the exploited water. It is also clear from the proposed balance that with the existing replenishment which occurs twice a year, static reserves do not take part in the present exploitation of water.

Primljeno (Received): 18. 01. 1973.

*Zavod za opću i primijenjenu geologiju,
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Department for general and applied geology,
Faculty for mining, geology, and petroleum
engineering, University of Zagreb,
Zagreb, Pierottieva 6
»Elektroprojekta«, Zagreb, Kupska ul bb
»Geofizika«, Zagreb, Savska 64*