

| | | | |
|---------------|---------|--------------|--------------|
| Geo1. vjesnik | Vol. 42 | str. 249—258 | Zagreb 1989. |
|---------------|---------|--------------|--------------|

UDK 627.82:556.332.52

Izvorni znanstveni članak

Utjecaj HE »Varaždin« na režim podzemnih voda u desnom zaobalju Drave kod Virje Otoka

Dragutin GRĐAN i Barica KOVAČEV

*Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu,
Viša geotehnička škola u Varaždinu, Hirkovićeve 7, YU — 42000 Varaždin*

Ključne riječi: Akumulacija, Podzemna voda, Promjene nivoa

Keywords: Reservoir, Ground water, Level Changes

Izgradnjom HE »Varaždin« došlo je do promjene režima podzemnih voda u lijevom i desnom zaobalju Drave. U desnom zaobalju akumulacije te se promjene manifestiraju kao povišenje minimalnih i sniženje maksimalnih razina podzemne vode. U ovom radu dat je prikaz i analiza rezultata trogodišnjih terenskih istraživanja režima podzemnih voda u vezi s pojavom vode u podrumima kuća na području Virje Otoka nakon izgradnje elektrane.

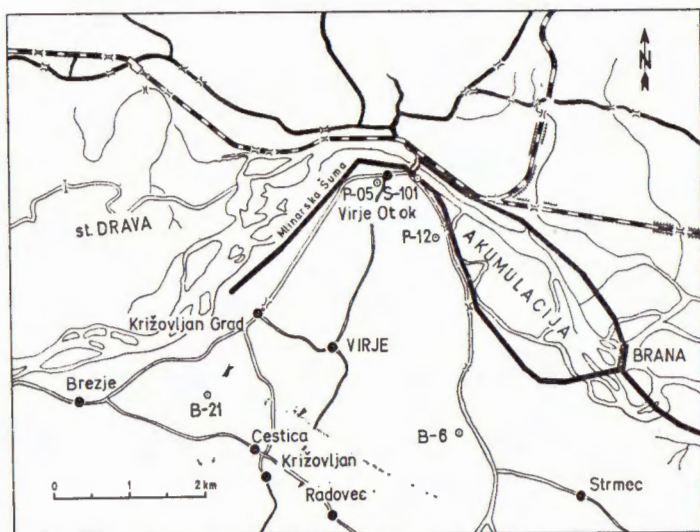
As a result of the construction of the Varaždin Power Plant changes in the ground water system on both sides of the Drava river have been noticed. The changes on the right side of the reservoir include increasing the lowest and lowering the highest ground water levels. Results of a three-year field investigation of the changed ground water system resulting in occurrence of water in basement levels of the houses in Virje Otok and the surrounding area following the erection of the plant are described.

UVOD

HE »Varaždin« je derivacijska niskotlačna elektrana, koja koristi energetska potencijal rijeke Drave između Ormoža i Varaždina. S obzirom na to da koristi dionicu Drave u dužini gotovo 30 km, HE »Varaždin« utječe na prilično veliki prostor. Utjecaj gradnje hidroelektrane na okolinu je raznovrstan (Franković i dr., 1978), ali elektrana najviše utječe na režim podzemnih voda. Pod utjecajem HE »Varaždin« na režim podzemnih voda podrazumijeva se utjecaj akumulacije, dovodnog te odvodnog kanala.

Kako uspor elektrane mnogo više utječe na podzemne vode desnog zaobalja, nego lijevog (Elektroprojekt-Zagreb, 1977 i 1977a), to je promjena režima podzemnih voda naknadno istraživana, naročito u području utjecaja akumulacije. Predmet tih istraživanja bila je površina u obliku trokuta, čije vrhove čine mjesta Brezje, Virje Otok i Strmec, odnosno samo naselje Virje Otok, kao najugroženiji dio tog područja (sl. 1).

Ovdje će biti prikazani najvažniji rezultati terenskih i teorijskih istraživanja promjena režima podzemnih voda u području Virje Otoka, nastalih uslijed izgradnje HE »Varaždin«. Ova iskustva trebala bi pridonijeti



Sl. 1 Karta desnog zaobalja akumulacije HE »Varaždin«

Fig. 1 Map of right bank of the Varaždin Power Plant reservoir

jeti kompleksnijem sagledavanju posljedica izgradnje daljnjih hidroenergetskih objekata u riječnim dolinama, kako bi se one negativne unaprijed otklonile ili barem ublažile.

OPĆE ZNAČAJKE

Istraživano područje kojim protječe rijeka Drava je dolina široka 1—3 km, koja se prema sjeveru uzdiže u nisku visoravan 10—30 m iznad doline, a na jugu je omeđena obroncima Ivanščice.

Geološka građa razmatranog područja prilično je jednostavna. Podlogu čine lapori Rhomboidea — naslaga mlađeg tercijara, a iznad su kvartarni sedimenti uglavnom srednje pleistocenske starosti. Holocenu pripadaju nanosi u današnjim koritima Potoka i rijeke Drave (Babić i dr., 1978).

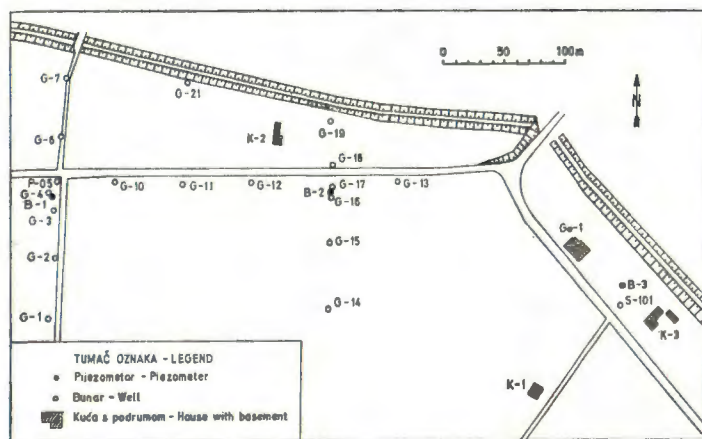
Kvartarne naslage izgrađuju klastični sedimenti. U granulometrijskom sastavu dominiraju valutice šljunka čija veličina raste u funkciji dubine i to do maksimalno 90 mm (bunari B-1 do B-3, sl. 2). S dubinom se također smanjuje udio pijeska. U krovini šljunčanih naslaga se nalazi glinovito-prašnasti sloj pijeska s obiljem valutica šljunka. Debljina pokrovnog sloja ne prelazi 2 m (Grđan, 1981).

Debljina kvartarnih naslaga najmanja je kod Ormoškog mosta (bunara B-3) i iznosi svega 5 m vjerojatno zato što tu one prekrivaju utonulu antiklinalu. Uzvodno i nizvodno debljina kvartarnih naslaga raste, tako da na bunaru B-1 iznosi 8 m (Grđan, 1981), kod brane 12 m, a kod strojarnice 30 m (Franković i dr., 1978). Prema sjeveru i jugu od razmatranog područja kvartarne su naslage isklinjene.

Desna obala Drave nizvodno od Križovljan Grada je niska, s kotama terena od 200 do 189 m n.m., mjestimično i niža. Područje je ispresijecano starim rukavcima Drave. U jednom od tih rukavaca je i naselje Virje Otok (Elektroprojekt — Zagreb, 1977).

Drava ima pluvio-glacijalni vodni režim s najvišim protokama krajem proljeća i početkom ljeta, a najnižim u kasnu jesen i zimu. Glavni maksimum protoka je u svibnju ili lipnju, a sekundarni u studenome. Glavni minimum pada u siječnju, a sporedni u listopadu (Srebrenović, 1970).

Vodostaji Drave kod ormoškog mosta, prije izgradnje HE »Varaždin« oscilirali su između 188,8 m n.m. za protoku od 310 m³/s do 193,3 m n.m. za protoku od 2800 m³/s (Grđan, 1981).



Sl. 2 Situacija desnog zaobalja — područje Virje Otoka

Fig. 2 Right bank situation: area around Virje Otok

Prije izgradnje elektrane, Drava je za vrijeme malih i srednjih voda tekla glavnim koritom i sporednim rukavcima. Povećanjem protoka rijeke se postepeno izlijevala iz korita i punila inundacije, a za vrijeme velikih voda poplavlivala je područje, kao i naselje Virje Otok i podrumne kuća.

U području sela Virje Otok postoji 50-ak kuća s podrumima. Stambeni i gospodarski objekti nalaze se vrlo blizu Drave, na udaljenosti 50 do 100 m. Nadmorska visina terena kreće se od 190,50 do 192,50 m n.m., a sve kuće imaju kotu dna podruma između 189,90 i 191,72 m n.m. (sl. 2).

UTJECAJ HE »VARAŽDIN« NA RAZINU PODZEMNE VODE

Branom HE »Varaždin« uspomene su vode Drave u travnju 1975. godine do kote normalnog uspora 191,20 m n.m.

Desnu stranu akumulacije omeđuje obodni nasip koji je od brane do ormoškog mosta dug 3,5 km. Uz taj nasip postoji drenažni kanal. Poče-

tak kanala je oko 900 m nizvodno od ormoškog mosta, a ušće u Dravu 800 m nizvodno od brane. Područje Virje Otoka nije obuhvaćeno drenažnim kanalom. Uzvodno od mosta postoji nasip koji je izgrađen ranije u svrhu obrane od poplava.

Kontinuirano opažanje razine podzemnih voda na promatranom području započeto je 1965. godine.

Prije gradnje HE »Varaždin« izvršeni su opsežni geološki i hidrogeološki istražni radovi. Za bolju prognozu djelovanja elektrane na režim podzemnih voda u desnom zaobalju, provedena su 1969. i 1970. godine istraživanja na modelu električne analogije kojim je simulirano kretanje podzemnih voda u dolini Ormož—Varaždin, pa je zahvaćeno i područje Virje Otoka (Elektroprojekt — Zagreb, 1969. i 1970).

Već u jesen 1975. godine primijećen je utjecaj usporavanja Drave na podzemne vode, što je izazvalo poplavu u podrumima kuća. Zbog povišenja razine podzemnih voda provedeni su tokom 1976. i 1977. godine dopunski istražni radovi, obnovljeni su napušteni pijezometri i ugrađeni novi.

Da bismo ustanovili objektivno stanje podzemnih vodostaja, izvršili smo korelaciju podataka o razini podzemnih voda za stanje prije i u uvjetima nakon izgradnje elektrane.

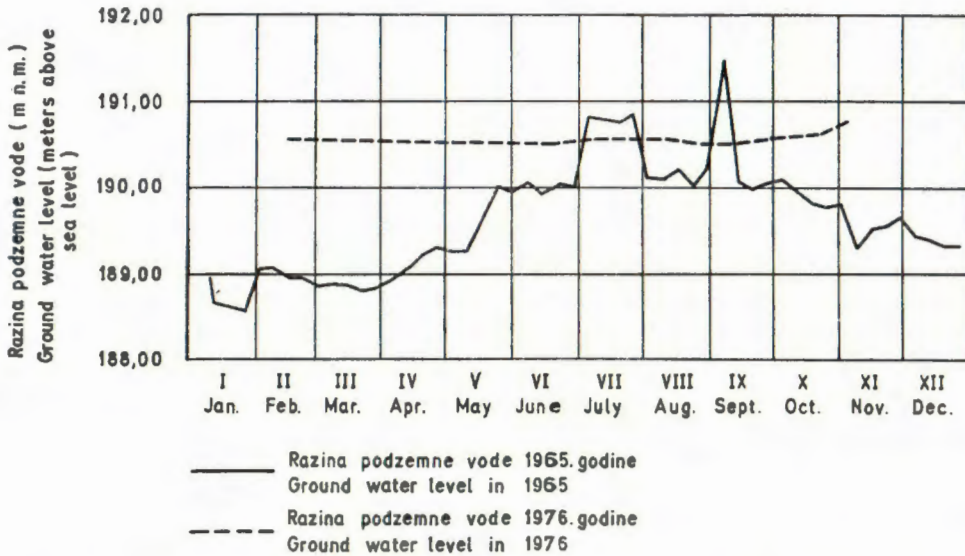
Podatke o razini podzemnih voda dobili smo koristeći dokumentaciju Republičkog hidrometeorološkog zavoda SR Hrvatske. Odabrali smo slijedeće objekte u kojima su vršena mjerenja: pijezometre B-6, P-12, B-21, P-05 i S-101, te podrumne kuća s oznakama Go-1, K-1, K-2 i K-3.

Pijezometar B-6 je od desnog nasipa udaljen oko 1,5 km, B-21 oko 3,5 km, a pijezometar P-12 oko 0,8 km. Pijezometar P-05 nalazi se u sredini sela Virje Otok na udaljenosti oko 130 m od Drave. Pijezometar S-101 nalazi se oko 90 m nizvodno od ormoškog mosta, između ceste Varaždin-Ormož i desnog tzv. vodoprivrednog nasipa koji je izgrađen zbog obrane od poplave, te je od Drave udaljen 50 m. Dno podruma odabranih kuća je na dubini od 0,63 do 1,59 m ispod razine terena.

Ustanovili smo da su nakon izgradnje elektrane na svim odabranim pijezometrima ekstremni vodostaji ublaženi i jednoličniji. U razdoblju od 1968. do ožujka 1975. godine dubina do podzemne vode na pijezometru P-12 varirala je od 1,45 do 5,3 m, a nakon punjenja akumulacije ta kolebanja idu od 2,0 do 3,1 m. Na pijezometru B-6 razina podzemne vode oscilirala je u razdoblju od 1965. do ožujka 1975. godine između 186,19 i 190,00 m n. m., a nakon punjenja akumulacije ta su kolebanja između 186,55 i 187,99 m n. m. Razlika između najnižih i najviših vodostaja smanjila se od 3,81 na 1,44 m.

Najveće promjene razine podzemnih voda uočene su na pijezometru S-101. Dok je 1965. godine vodostaj kolebao između 188,58 i 191,42 m n.m. (dakle, 2,84 m), 1976. godine kolebanja su bila između 190,45 i 190,75 m n.m. (dakle, samo 30 cm). Minimalna razina podzemne vode povećala se za 1,87 m (sl. 3).

I na pijezometru B-21 koji se nalazi na rubnom području dravske doline, podno Viničkog gorja, uočene su promjene podzemnih vodostaja nakon izgradnje HE »Varaždin«, ali su zbog udaljenosti slabije izražene. Razlika između najnižih i najviših vodostaja podzemne vode smanjila se od 2,12 na 1,88 m.



Sl. 3 Oscilacije razine podzemne vode u piježometru S-101 1965. i 1976. godine
 Fig. 3 Oscillations of ground water level for S-101 piezometer in 1965 and 1976.

Dakle, izgradnjom HE »Varaždin« u desnom zaobalju akumulacije najviši su vodostaji podzemnih voda sniženi, a najniži znatno povišeni. Najveće promjene ustanovili smo u području naselja Virje Otok. Stvarno stanje razlikuje se od prognoziranog zbog malog broja piježometara i podataka koji su bili na raspolaganju za vrijeme izrade modela električne analogije u vrlo složenim hidrogeološkim uvjetima.

Dizanje razine podzemnih voda u području naselja Virje Otok uvjetovalo je naknadna istraživanja hidrogeoloških, hidroloških i klimatskih faktora, kako bi se kvantificirao utjecaj usporavanja Drave na povišenje razine podzemnih voda.

U toku mjeseca kolovoza 1978. godine izvedena su dva pokusno-eksplatacijska bunara, B-1 i B-2, dubine od po 8 m, s pripadajućih 20-ak piježometara. Dubine bunara prilagođene su zahvaćanju čitavog vodonosnog sloja, a dubine piježometara podešene su potrebama opažanja razine podzemne vode u sloju šljunka i pjeskovitom pokrivaču. S obzirom na ugroženost naselja Virje Otok od povišenih podzemnih voda, bunar B-1 lociran je u sredini sela, a bunar B-2 oko 230 m istočnije. Piježometri su raspoređeni oko bunara po pravcu okomitom na tok rijeke Drave i paralelno s tokom Drave (sl. 2).

Pokusno crpljenje na bunaru B-1 provedeno je od 3. do 7. 8. 1978. godine s crpnom količinom od 8,5 l/s, te odvodnjom crpljene vode u Dravu i uz praćenje razine podzemne vode na bunarima i piježometrima.

Konstatirali smo utjecaj crpljenja na sniženje razine podzemne vode s dosegom djelovanja oko 300 m. Interpretacijom podataka pokusnog crpljenja odredili smo koeficijent hidrauličke provodljivosti i on za vo-

donosni sloj šljunka iznosi $1,7 \times 10^{-3}$ m/s, a koeficijent transmisivnosti $0,0097$ m²/s.

Bunar B-3 izbušen je u najugroženijem dijelu naselja (između kuća Go-1 i K-3), godinu dana kasnije, nakon već djelomično utvrđenih hidrogeoloških parametara vodonosnog sloja.

Da bi se definirao utjecaj rada bunara, vertikalne infiltracije i utjecaj visokog vodnog vala Drave nakon njenog usporavanja na razinu podzemnih voda, predloženo je duže crpljenje bunara B-1 i B-2. To je i učinjeno 6. 10. 1978. godine. Crpljenje je trajalo do kraja 1980. godine, a praćeno je svakodnevnim opažanjem razine podzemne vode na pijezometrima. Mjerene su i visine vode u podrumima kuća, praćen vodostaj Drave, kao i količina oborina. Radi kontinuiranog praćenja razine podzemne vode montiran je 20. 10. 1978. godine limnigraf na pijezometru S-101.

Umjesto bunara B-1 14. 8. 1979. godine uključen je u rad bunar B-3.

Crpljenje na bunarima B-2 u količini 10 l/s i B-3 u količini od 7 l/s vršeno je kontinuirano do siječnja 1981. godine.

ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

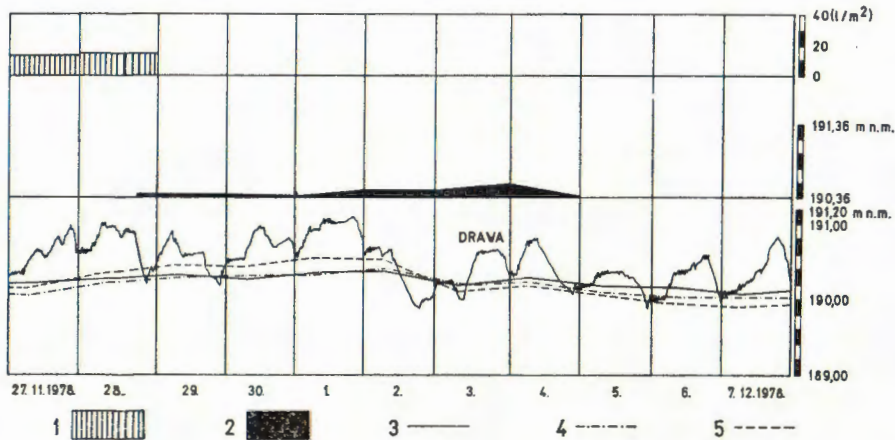
Istraživanja su pokazala da postoji utjecaj izgrađene brane HE »Varaždin« na dizanje razine podzemne vode. Negativne posljedice dizanja razine registrirane su u pojasu od Mlinarske šume do kraja sela Virje Otok. Visina vode u podrumima kuća ovisi o vodostaju Drave i o količini oborina.

Analizom mnoštva podataka prikupljenih tokom trogodišnjih istraživanja došli smo do slijedećih zaključaka:

1) Crpljenje vode na bunarima B-2 i B-1, odnosno B-3 u sušnom razdoblju, s mjesečnom količinom oborina manjom od 30 l/m² kada je Drava rijetko prelazila kotu 191,00 m n.m. riti se duže zadržavala na toj koti, snizilo je razinu podzemne vode ispod dna podruma kuća. Prekid rada crpki i u takvom razdoblju uvjetuje dizanje razine podzemne vode na visinu 10 cm u podrumu kuće Go-1, 2,5 cm u podrumu kuće K-1, te 22,5 cm u podrumu kuće K-3, odnosno do 40 cm u pijezometrima u području naselja Virje Otok, i to redovito pet dana nakon prestanka crpljenja. Ponovnim uključivanjem crpki u ovakvim uvjetima voda iz podruma se povlačila za tri do četiri dana (sl. 4).

2) Oborinske vode, i pod uvjetima crpljenja, direktno utječu na dizanje razine podzemne vode, odnosno na pojavu vode u podrumima kuća. Srazmjerno intenzitetu i učestalosti oborina, razina vode u podrumima narasla je na maksimalno 20 do 30 cm, i to za tri do pet dana od njihove pojave. Razina podzemne vode u pijezometru S-101 podizala se za 20 cm redovito tri dana nakon oborina i opet spuštala nakon tri dana, gotovo za 20 cm (sl. 5). Pri analizi utjecaja oborina na pojavu vode u podrumima kuća nismo uzimali u obzir vjerojatno povećan dotok podzemne vode nakon oborina od Viničkog gorja prema Dravi.

3) Visoki vodostaji Drave koji su češći u uvjetima nakon izgradnje HE »Varaždin«, nego prije, kada Drava češće prelazi kotu 191,00 m n.m. i duže se zadržava na toj ili još višoj koti i u relativno sušnom razdoblju uz crpljenje na bunarima, uzrokovali su pojavu vode na visini 10 do



Sl. 4 Histogram dnevnih oborina u Varaždinu, nivogrami na pijezometrima S-101, G-15 i G-19 te podrumu kuće Go-1 i limnogram Drave za razdoblje od 27. 11. do 8. 12. 1978. godine.

Tumač znakova: 1 = količina oborina; 2 = razina vode u podrumu kuće Go-1 (kota terena: 191,36 m n.m.); 3 = razina podzemne vode u pijezometru S-101 (kota terena: 192,00 m n.m.); 4 = razina podzemne vode u pijezometru G-15 (kota terena 191,02 m n.m.); 5 = razina podzemne vode u pijezometru G-19 (kota terena: 191,82 m n.m.).

Napomena: bunar B-1 nije radio od 28. 11. do 1. 12. 1978. godine
bunar B-2 nije radio od 28. 11. do 2. 12. 1978. godine

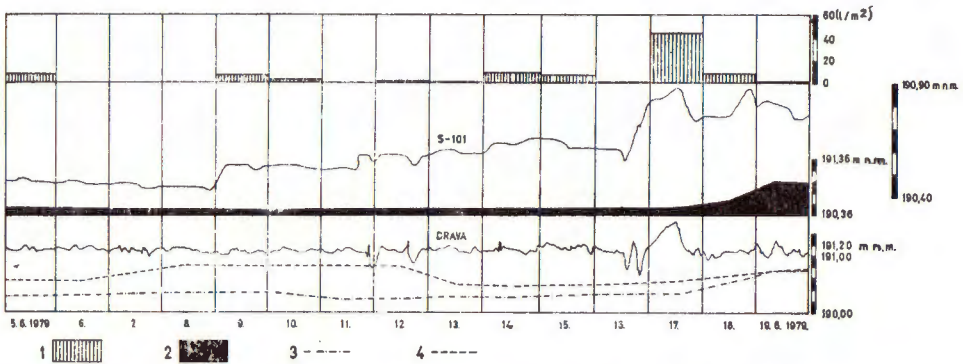
Fig. 4 Histogram showing daily rainfall in Varaždin. Ground water level measured in the piezometers S-101, G-15 and G-19, and Go-1 house cellar. Limnographic plot of the Drava river between 27 November and 8 December, 1978.

Legend: 1 = Amount of rainfall; 2 = Water level in the cellar of Go-1 house (altitude: 191.36 m above sea level); 3 = Ground water level in S-101 piezometer (altitude: 192.00 m above sea level); 4 = Ground water level in G-15 piezometer (altitude: 191.02 m above sea level); 5 = Ground water level in G-19 piezometer (altitude: 191.82 m above sea level).

Note: B-1 and B-2 wells were not used from 28 November to 1 and 2 December, 1978, respectively.

15 cm u podrumu kuće Go-1, 30 cm u podrumu K-3, te 4 do 5 cm u podrumu kuće K-1. To je stoga što je vodonosni sloj šljunka kod viših vodostaja Drave pod hidrostatskim tlakom pa se tlak izazvan porastom vodostaja brzo prenosi slojem. Oscilacije razine podzemne vode su prigušene u odnosu na oscilacije vodostaja Drave. Prigušenje, logično, raste s udaljenošću od Drave. Za gotovo 1 m rasta Drave do visine 191,20 m n.m. razina vode u pijezometru S-101 podigne se za oko 15 cm. Na porast vodostaja Drave pijezometar S-101 reagira gotovo trenutno (sl. 5).

4) Visoki vodni val Drave u kombinaciji s većom količinom oborina u uvjetima nakon izgradnje HE »Varaždin« ima najznačajniji utjecaj na dizanje razine podzemne vode u zaobalju akumulacije. U kišnom razdoblju, kada je za 10 dana palo 77,5 l/m² oborina i kada se Drava duže zadržavala na koti 191,20 m n.m., razina vode u podrumima kuća dosegla



Sl. 5 Histogram dnevnih oborina u Varaždinu, nivogrami na pijezometrima G-15 i G-19 te podrumu kuće Go-1 i limnigrami Drave i pijezometra S-101 za razdoblje od 5. 6. do 20. 6. 1979. godine.

Tumač znakova: 1 = količina oborina; 2 = razina vode u podrumu kuće Go-1 (kota terena: 191,36 m n.m.); 3 = razina podzemne vode u pijezometru G-15 (kota terena: 191,02 m n.m.); 4 = razina podzemne vode u pijezometru G-19 (kota terena 191,82 m n.m.)

Fig. 5 Histogram showing daily rainfall in Varaždin. Ground water level measured in the piezometers G-15 and G-19, and Go-1 house cellar. Limnographic plots of the Drava river and the S-101 piezometer between 5 and 20 June, 1979.

Legend: 1 = Amount of rainfall; 2 = Water level in the cellar of Go-1 house (altitude: 191.36 m above sea level); 3 = Ground water level in G-15 piezometer (altitude: 191.02 m above sea level); 4 = Ground water level in G-19 piezometer (altitude: 191.82 m above sea level).

je maksimalnu visinu u trogodišnjem razdoblju istraživanja: 60 cm u Go-1 i 65 cm u podrumu kuće K-3 (sl. 5).

Razina podzemne vode u bunarima iz kojih se stalno crpilo podigla se za više od 2 m. Kako je voda iz podruma nakon toga sporo oticala, te je trebalo, i uz rad crpki, gotovo dva mjeseca da se podrumi osuše, zaključili smo da u odvodnjavanju terena na području Virje Otoka veliku ulogu ima i sloj glinovito-prašinstog pijeska debljine 1 do 1,5 m koji se nalazi ispod sloja humusa.

5) Edometarskim pokusima ustanovili smo da se koeficijent hidrauličke provodljivosti, za površinski sloj, odnosno dubinski interval do 0,5 m, kreće u granicama od $3,33 \times 10^{-6}$ do $5,62 \times 10^{-7}$ cm/s, a za interval od 0,5 do 1,0 m dubine od $3,1 \times 10^{-6}$ do $5,65 \times 10^{-6}$ cm/s. Najmanja vodopropusnost pokrovnog sloja je upravo na lokaciji kuća Go-1 i K-3. Istraživanjem smo potvrdili da je gornji glinovito-prašinsti sloj praktički vodonepropusan, što je uzrok sporom prihvaćanju vode, a isto tako i sporom otjecanju vode iz sloja, odnosno iz podruma kuće.

Ispitivanjima na upojnim bunarima ustanovili smo da se koeficijent hidrauličke provodljivosti pokrovnog sloja smanjuje nakon kiše. To je stoga što se mogućnost propuštanja vode glinovito-prašinstog materijala smanjuje nakon što se on vertikalnom infiltracijom zasiti vodom.

Usljed male vodopropusnosti pokrovnog sloja, vertikalna infiltracija nema većeg utjecaja na prihranjivanje vodonosnog sloja te se vodonos-

ni sloj šljunka uglavnom prihranjuje iz Drave. Kod niskih vodostaja Drave vodonosni sloj je sa slobodnim licem. Kod visokih vodostaja, viših od 191,00 m n.m, vodonosni sloj se nalazi pod hidrostatskim tlakom te glinovito-prašinski pokrovni sloj napaja kapilarno, odozdo.

U uvjetima kada je glinovito-prašinski sloj u kojem su temeljene kuće Virje Otoka, zasićen vodom uslijed vertikalne infiltracije, ili je natopljen vodom uslijed kapilarnog dizanja vode iz vodonosnog sloja šljunka kada se on nalazi pod hidrostatskim tlakom, ili je saturiran vodom uslijed kombiniranog utjecaja oborina i povišenog vodostaja Drave — tada je otpor strujanju vode najmanji na kontaktu temelj—sloj, pa voda ulazi u podrumne kuća.

Kako se u uvjetima nakon izgradnje elektrane minimalna razina podzemne vode u području Virje Otoka znatno povisila, a visoki vodostaji Drave viši od 191,00 m n.m. češći su nego ranije, to je i poplava u podrumima učestalija.

Prije je voda ulazila u podrumne samo pri visokim podzemnim vodostajima i, naravno, za vrijeme poplava.

Utjecaj povišenja minimalnih i sniženja maksimalnih razina podzemne vode na vodoopskrbu u smislu promjene kvalitete vode, na nosivost i slijeganje te stupanj seizmičnosti tla, kao i utjecaj na ratarsku proizvodnju na poljoprivrednim površinama nismo proučavali, pa to može biti predmet daljnjih istraživanja.

Treba spomenuti da je na osnovi provedenih istraživanja dat i projekt rješenja drenažnog sistema kojim bi se odvodnjavanje podzemnih voda na području Virje Otoka izvelo vertikalnim bunarima s odvodnjom vode u Dravu (Miletić i dr., 1981). Na žalost, taj projekat nikada nije realiziran. Problem je »riješen« isplatom odštetnih zahtjeva mještanima Virje Otoka.

Primljeno: 31. 10. 1988.

LITERATURA

- Babić, Ž., Čakarun, I., Sokač, A. & Mraz, V. (1978): O geologiji kvarternih naslaga porječja rijeke Drave. — *Geol. vjesnik*, 30, 43—61, Zagreb.
- Franković, B., Gustin, A. & Žugaj, R. (1978): Utjecaj HE Varaždin na okolinu. Saopštenja Simpozijuma o uticaju veštačkih jezera na čovekovu sredinu, 98—106, Trebinje.
- Miletić, P., Urumović, K. & Capar, A. (1970): Hidrogeologija prvog vodonosnog horizonta porječja Drave na području Hrvatske. — *Geol. vjesnik*, 24, 149—153, Zagreb.
- Srebrenović, D. (1970): Problemi velikih voda. Tehnička knjiga, 275 str., Zagreb.
- Urumović, K. (1971): O kvartarnom vodonosnom kompleksu u području Varaždina. — *Geol. vjesnik*, 27, 183—188, Zagreb.

Neobjavljeni radovi

- Elektroprojekt — Zagreb (1969): HE Varaždin — Izvještaj o istraživanju podzemnih voda doline Ormož-Varaždin pomoću modela električne analogije, model br. 65, 44 str., Fond struč. dok. HE Varaždin.
- Elektroprojekt — Zagreb (1970): HE Varaždin — Izvještaj o istraživanju podzemnih voda oko strojarnice pomoću modela električne analogije, model br. 64, 31 str., Fond struč. dok. HE Varaždin.

- Elektroprojekt — Zagreb (1977): Studija utjecaja HE Varaždin na podzemne vode kod Virje Otoka, 22 str., Fond struč. dok. HE Varaždin.
- Elektroprojekt — Zagreb (1977a): Studija utjecaja HE Varaždin na podzemne vode lijevod zaobalja između Ormoža i Trnovca, 16 str., Fond struč. dok. HE Varaždin.
- Elektroprojekt — Zagreb (1975—1988): Izvještaj o tehničkim promatranjima HE Varaždin, 13 knjiga, Fond struč. dok. HE Varaždin.
- Grđan, D. (1981): Kriteriji za sniženje razine podzemne vode u Virje Otoku. Magistarski rad, Fakultet građevinskih znanosti, Sveučilište u Zagrebu, 87 str., 6 tabela, 50 priloga, Zagreb.
- Miletić, P., Grđan, D., Heinrich-Miletić, M. & Muselinović, D. (1981): Idejni projekt odvodnjavanja Virje Otoka. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilišta u Zagrebu, OOUR Viša geotehnička škola Varaždin, 55 str., 5 priloga, Varaždin. Fond struč. dok. VGS Varaždin.
- Republički hidrometeorološki zavod Zagreb (1971—1988): HE Varaždin — Izvještaj o motrenju i obradi podataka razine podzemne vode 17 knjiga, Zagreb. Fond struč. dok. Opće vodoprivredno poduzeće Osijek, OOUR Vodoprivreda Varaždin.

Effect of Varaždin Hydro-electric Power Plant on Ground Water System in the right bank of the Drava river at Virje Otok

D. Grđan and B. Kovačev

The Varaždin Hydro-electric Power Plant stretches for nearly 30 km along the Drava river between Ormož and Varaždin. It consists of a 3.5 km long reservoir with a low dam, embankments, headwater canal, power station, and discharge canal. The dam retards the flow of the Drava river at the Ormož Bridge to the supposed highest water level in the reservoir at 191.20 m above sea level.

Occurrence of ground water in cellars of the houses in Virje Otok called for an investigation of influence of the Varaždin Power Plant on the ground water system in the right bank of the Drava river. The investigation included performances of several piezometers and three water wells, measurements of ground water levels for three years, and testing of wells. The Drava water levels and amount of rainfall in Varaždin were measured too. The results of interpretation are presented hereinafter in this paper.

The investigation has clearly shown that a change in the ground water system in the right bank of the Drava river is due to the construction of the Varaždin Power Plant. As a result extreme water levels have become moderate and uniform. The minimal ground water level shows considerably higher values, and water levels of the Drava river higher than 191.20 m above sea level are more frequent than before. Thus, the ground water level compared to its values before the building of the plant has been constantly heightened in the larger area around the village of Virje Otok. Consequently, water fills basement levels of the village houses.

The investigation also proved that drying is possible by pumping the water out of cellars, and this at the rates of 7 liters per second from the B-1 and B-3 wells and 10 liters per second from the B-2 well. But this can only be done when the amount of rainfall is less than 30 liters per square meter provided that these rainfalls are regularly distributed within a month. The water level of the Drava river should not exceed 191.20 m above sea level. If rainfall is larger and irregular, or the water level of the river is often higher than 191.20 m above sea level with no prospect of decreasing for a longer period of time, the existing pumps are incapable of performing their functions satisfactorily. The same applies for a joint occurrence of a high water in wave in the Drava plus an increased vertical infiltration. In such cases water level in some cellars reached above 0.60 m.

The conclusion is that the erection of the Varaždin Power Plant has resulted in continually increased minimal and decreased maximal ground water levels in the right bank of the Drava river. The levels of water in cellars have also been defined.