

## ODNOS PROMJENE REŽIMA I KVALITETE PODZEMNIH VODA NA CRPILIŠTIMA VARAŽDIN I BARTOLOVEC

Dragutin GRĐAN<sup>1</sup>, Petar DURMAN<sup>2</sup> i Barica KOVAČEV-MARINČIĆ<sup>1</sup>

**Ključne riječi:** Podzemne vode, Crpilište, Kvaliteta, Akumulacija, Nitrati, Kloridi, Sulfati

**Key words:** Ground waters, well, field, quality, reservoir, nitrates, chlorides, sulphates

Analizirani su podaci o koncentraciji nitrata ( $\text{NO}_3^-$ ), klorida ( $\text{Cl}^-$ ) i sulfata ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) u podzemnoj vodi crpilišta Varaždin i Bartolovec, te o koncentraciji nitrata u rijeci Dravi i izvoru Belski dol kroz razdoblje od 15-tak godina. Izvori zagađivanja podzemnih voda na crpilištima su industrijske i komunalne otpadne vode, odnosno općenito urbana naselja i primjena mineralnih gnojiva. Dio sulfata potječe od aerozagađivanja, a dio klorida dopijeva u podzemnu vodu ispiranjem industrijske soli s cesta. Skokovit porast koncentracije nitrata ( $\text{NO}_3^-$ ), nitritnog ( $\text{NO}_2^-$ ) i amonijačnog oblika ( $\text{NH}_3$ ) dušika u vodi sa crpilišta Bartolovec 1982. i 1983. godine posljedica je dizanja razine podzemnih voda u zaobilju nakon punjenja akumulacijskog jezera HE "Čakovec" uslijed čega su isprane znatne količine nitrata akumulirane u zemljištu. Istovremeno su i na crpilištu Varaždin registrirane maksimalne koncentracije nitrata.

The results from a 15-odd year study of the concentrations of nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ), chlorides ( $\text{Cl}^-$ ), and sulphates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) in the ground waters of the Varaždin and Bartolovec well fields and the concentration of nitrates in the Drava river and the Belski Dol spring were analyzed. The pollutants of the ground waters in the two well fields are industrial and municipal waters, or generally urban sewers and mineral fertilizer. Some sulphates derive from air pollution, and some chlorides reach ground waters by infiltrating road salt. Sudden increase in concentration of nitrogen in the forms of nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) and ammonium ( $\text{NH}_3$ ) in the waters from the Bartolovec well field in 1982 and 1983 has its origin in the increased ground water levels in the area around the reservoir of the Čakovec Hydro-Electric Plant following the filling of the reservoir. As a result, large quantities of nitrates accumulated in surrounding soils, have been washed away by ground water. At the same time, highest concentrations of nitrates in the Varaždin well field have been reported.

### 1. UVOD

U posljednje vrijeme u svijetu, a i kod nas, znatno veća pažnja se posvećuje izučavanju utjecaja industrijske aktivnosti, poljoprivrede i naglog razvoja urbanizacije na kontaminaciju voda - površinskih i podzemnih (EISEN & ANDERSON, 1979; ALFÖDI, 1982; ANDERSEN & KRISTIENSEN, 1982).

Takva istraživanja u vezi podzemnih voda na širem varaždinskom području su malobrojna iako se u blizini Varaždina nalaze dva crpilišta od regionalnog značaja: Varaždin i Bartolovec.

Redovnim sanitarnim analizama vode sa crpilišta Varaždin uočen je prije deset godina porast koncentracije nitrata. Rezultate raspoloživih kemijskih analiza prvi je proučavao KOŠIĆ (1984).

On zaključuje da je kontaminacija vode nitratima posljedica organskog onečišćenja ili posljedica tretiranja zemljišta u prilivnom području crpilišta mineralnim gnojivima. Pored toga daje rezultate mjerenja sadržaja klorida i otopljenog kisika u podzemnoj vodi te navodi da je koncentracija klorida veća u sušnim razdobljima, dok količina otopljenog kisika u vodi ne ukazuje na organska onečišćenja. Kasnijim istraživanjima (URUMOVIĆ et al., 1990) su mogući izvori onečišćenja podzemnih voda nitratima prošireni još na gradsku kanalizaciju i peradarske farme. Ne isključuje se mogućnost su marnog djelovanja svih navedenih izvora zagađivanja niti pak dominantan utjecaj jednog od njih.

Istovremeno kad i na crpilištu Varaždin primjećena je kontaminacija podzemne vode nitratima i na crpilištu Bartolovec. Prema "Studiji podzemnih voda u cilju određivanja zaliha i zaštita voda uključujući klasifikaciju i kategorizaciju podzemnih voda dravske doline na području: Vinica - Zamlaka - Varaždin - Varaždinsbreg" (Građevinski institut - Zagreb, 1987) izvorima onečišćenja podzemnih voda na crpilištu Bartolovec treba smatrati obližnja naselja koja se nalaze uzvodno od crpilišta (Varaždin, Trnovec, Zbelava, Kučan te Bartolovec) kao i upotrebu mineralnih gnojiva na prilivnom području crpilišta.

Postoje indikacije da je kvaliteta podzemne vode na crpilištima Varaždin i Bartolovec pogoršana nakon izgradnje hidroelektrana, posebno HE "Čakovec". Istraživanja čije rezultate ovdje iznosimo usmjerena su upravo na tu problematiku i dio su kompleksnih istraživanja utjecaja hidroelektrana na režim podzemnih voda.

### 2. HIDROGEOLOŠKE KARAKTERISTIKE PODRUČJA

U porječju Drave na teritoriju Republike Hrvatske Institut za geološka istraživanja iz Zagreba izvodi kompleksna hidrogeološka istraživanja od 1960. godine. Na području Varaždina ova istraživanja su pojačana u vezi projektiranja i izgradnje protočnih stepenica HE "Varaždin", HE "Čakovec" i HE "Dubrava", kao i za

<sup>1</sup> Geotehnički fakultet Varaždin

<sup>2</sup> Fakultet poljoprivrednih znanosti Zagreb

potrebe vodoopskrbe Varaždina, Čakovca i Ludbrega.

Lokalna hidrogeološka istraživanja omogućila su detaljniju razradu kvartarnih naslaga, a sinteza tih podataka dala je predodžbu o regionalnim hidrogeološkim odnosima na širem području Varaždina.

Na osnovi nabušenih intervala u istražnim bušotinama i istražno-eksploatacijskim bunarima te građevinskih radova u vezi izvođenja hidroelektrana izvršeno je vertikalno razdvajanje kvartanog vodonosnog kompleksa i determinacija podinskih naslaga (BABIĆ et. al., 1978). Kvartarne naslage na potezu od Ormoža nizvodno do Donje Dubrave izgrađuje pretežno šljunak s različitim postotkom pijeska uglavnom srednje i gornjo-pliocenske te holocenske starosti. Idući od sjeverozapada prema jugoistoku opada veličina zrna u šljuncima i povećava se udio pijeska. Podinu kvartarnih naslaga čine naizmjenično Rhomboidea-naslage miocena (pjeskoviti i glinoviti lapori) i belvederske naslage pliocena (slabo do dobro vezani šljunci s ulošcima pijeska). Debljina kvartanog sloja najmanja je kod Ormoškog mosta gdje iznosi svega 5 m. Nizvodno mu se debljina povećava, tako da kod brane HE "Varaždin" iznosi oko 12 m, kod Cestice 17 m, na lokaciji strojarnice HE "Varaždin" 30 m, a kod Varaždinskog mosta (restitucija HE "Varaždin") 60 m (GRĐAN, 1989). Kod Preloga dostiže maksimalnih 148 m, dok mu se nizvodno debljina smanjuje tako da kod Donje Dubrave iznosi 40 m. Jedinственost kvartanog vodonosnog sloja donekle narušava slabo propusni do nepropusni međusloj koji je zapažen u brojnim bušotinama na širem području Varaždina i u Međimurju. Na crpilištu Varaždin takav sloj prašinate gline registriran u dubinskom intervalu od 44,10 do 47,30 m ima koeficijent hidrauličke provodljivosti  $1 \times 10^{-9}$  m/s. Na lokaciji strojarnice HE "Čakovec" nalazi se na 55 m dubine i debljina mu je

5 m.

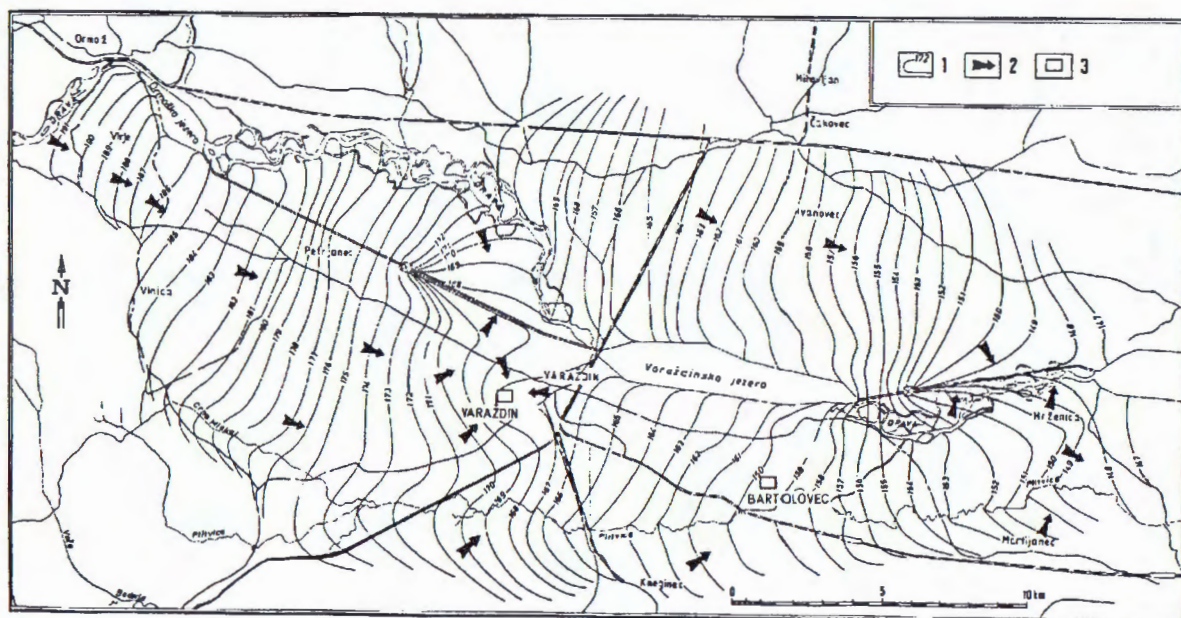
Granulometrijski sastav prvog i drugog šljunčanog sloja se donekle razlikuje. Koeficijent hidrauličke provodljivosti prvog šljunčanog sloja kreće se od  $2,8 \times 10^{-3}$  m/s na crpilištu Varaždin do  $6,0 \times 10^{-3}$  m/s na crpilištu Bartolovec, a na lokaciji HE "Čakovec" kreće se od  $7,5 \times 10^{-4}$  do  $2,8 \times 10^{-3}$  m/s.

Krovinu vodonosnog kompleksa čini tanki pokrivač izgrađen od praha, gline i prašinatog pijeska. Prema različitim literaturnim podacima u većem dijelu obuhvaćenog područja debljina pokrovnog sloja je manja od 0,5 m (na crpilištu Varaždin se kreće od 0,3 do 0,5 m, a na crpilištu Bartolovec od 0,9 do 1,2 m), dok smo se na terenu mogli uvjeriti da praktički izostaje na većem dijelu područja tako da se u tankom sloju humusa pojavljuju obilje valutica šljunka.

Prirodni hidrogeološki odnosi na širem području Varaždina znatno su poremećeni izgradnjom protočnih hidroenergetskih objekata: HE "Varaždin", HE "Čakovec" i HE "Dubrava", kao i eksploatacijom podzemnih voda na crpilištima Varaždin i Bartolovec.

HE "Varaždin" je izvedena na dijelu rijeke Drave između Ormoža (Ormoškog mosta) i Varaždina (Varaždinskog mosta), a HE "Čakovec" u nastavku do Hrženice (sl. 1). Akumulacijsko jezero svake od hidroelektrana ostvarena je betonskom i nasutom branom, obodnim nasipima te drenažnim kanalima za odvodnju procjernih voda iz jezera.

Prije izgradnje hidroelektrana u većem dijelu godine je prevladavalo otjecanje podzemnih voda u Dravu, a u obnavljanju podzemnih voda dominantna je bila infiltracija padalina. Akumulacije su prouzrokovale trajno povišene razine podzemnih voda uzvodno od brane, a odvodni kanali između strojarnica i nizvodnih akumulacija te dijelovi starog korita Drave kojom protječe



Slika 1 Karta raspored potencijala podzemnih voda (prema: URUMOVIĆ et. al. 1990)

Legenda: 1 - razina vodne plohe 30.10.1985.; 2 - smjer toka podzemne vode; 3 - crpilište

Fig. 1 Elevation of piezometric surface map (according to: URUMOVIĆ et. al., 1990)

Legend: 1 - Ground water level on 30th October 1985; 2 - Direction of ground water movement; 3 - Well field

biološki minimum regionalno su snizili vodnu plohu. Raspon kolebanja između minimalnih i maksimalnih razina podzemnih voda na čitavom utjecajnom području svake od hidroelektrana se smanjio, pa su ekstremni podzemni vodostaji postali ublaženi i jednoličniji. Općenito se utjecaj hidroelektrana, bilo kao povišenje ili pak sniženje razine podzemnih voda, osjeća na udaljenosti do nekoliko km (GRĐAN, 1989; GRĐAN & KOVAČEV, 1989).

S druge strane, na varaždinskom području nalaze se dva veća crpilišta - Varaždin i Bartolovec koja opskrbljuju pitkom vodom stanovništvo općina: Varaždin, Ludbreg, Novi Marof, Ivanec i dio općine Ptuj.

Crpilište Varaždin smješteno je na zapadnoj periferiji grada i udaljeno je oko 2,5 km od odvodnog kanala HE "Varaždin". Razvijalo se na području gdje je prvo izveden kopani bunar za dobivanje pitke vode koji više nije u upotrebi. Kasnije su u fazama, a u skladu sa sve većim potrebama za pitkom vodom, vršeni istražni radovi i postepeno je u eksploataciju uključivan sve veći broj bunara. Danas na crpilištu postoji 10 bušenih bunara dubine između 18 i 39 m i pojedinačnog kapaciteta od 100 do 150 dm<sup>3</sup>/s, od kojih je šest u povremenoj eksploataciji. Varaždinsko crpilište je izrazito najveće na obuhvaćenom području. Uslijed velikih količina crpljenja vodna ploha je na prilivnom području crpilišta u velikoj mjeri deformirana. Osim toga, na karti rasporeda potencijala podzemnih voda (sl. 1) vidljiva je interferencija crpilišta, odvodnog kanala HE "Varaždin" i akumulacijskog jezera HE "Čakovec" (URUMOVIĆ et al, 1990). Njihov istovremeni utjecaj uvjetovao je uključivanje većeg dijela okolnog područja (i gradskog i obradivih površina) u slivno područje crpilišta. Ovaj proces je potenciran porastom crpnih količina na zahvatu.

Crpilište Bartolovec se nalazi 7 km jugoistočno od Varaždina, 2,2 km južno od akumulacijskog jezera HE "Čakovec", odnosno 0,8 km od samog naselja Bartolovec. Voda se zahvaća putem dva bušena bunara dubine od po 29,5 m i pojedinačne izdašnosti 75 do 80 dm<sup>3</sup>/s. Hidrogeološki odnosi na crpilištu su pod utjecajem akumulacijskog jezera HE "Čakovec" promijenjeni. Razina podzemne vode se na području crpilišta podigla za oko 1 m.

### 3. IZVOR PODATAKA

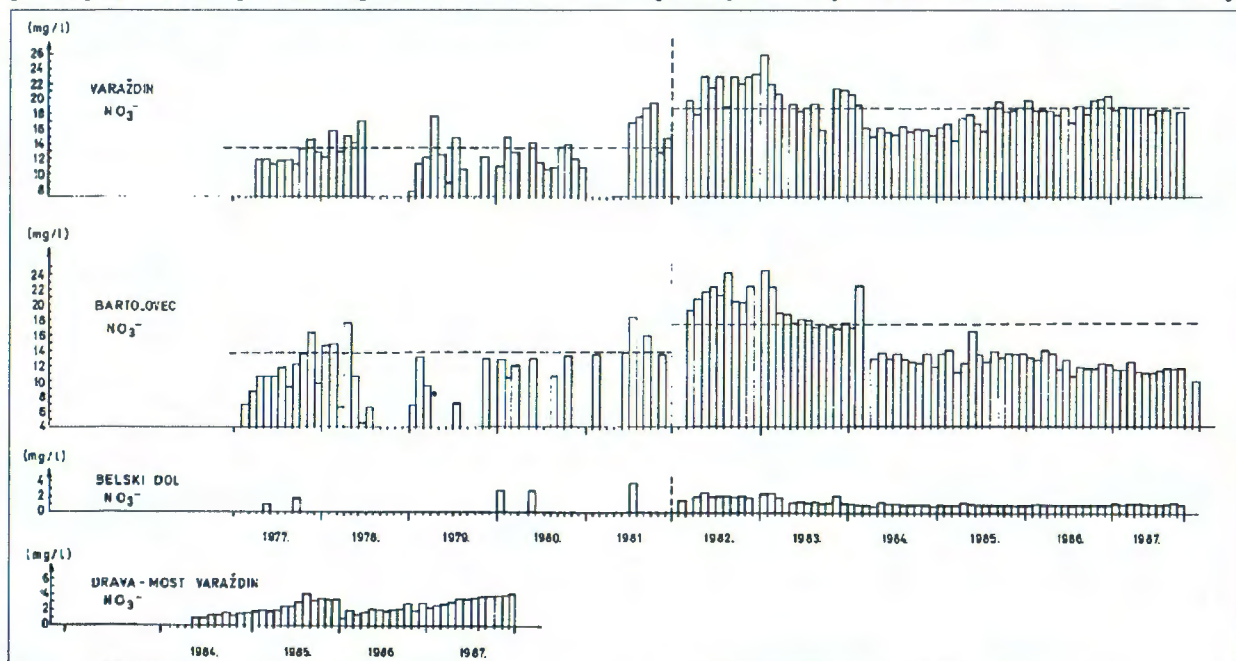
Istraživanja kvalitete podzemnih voda, odnosno njene degradacije obuhvatila su praćenje i obradu podataka o sadržaju nitrata ( $\text{NO}_3^-$ ), klorida ( $\text{Cl}^-$ ) i sulfata ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) u podzemnoj vodi sa crpilišta Varaždin i Bartolovec tijekom 15-ak godina. Paralelno su provedena istraživanja o koncentracijama nitrata u rijeci Dravi kao i izvoru Belski Dol.

Podaci o sadržaju nitrata, klorida i sulfata u podzemnim vodama, kojima smo se služili u ovom radu, potječu uglavnom iz sanitarnih analiza laboratorija Medicinskog centra Varaždin, poduzeća "Varkom" Varaždin i OVP - Projektni odjel iz Varaždina.

Analize na sadržaj nitrata vršene su spektrofotometrijskom metodom s natrijevim salicilatom, a na sadržaj klorida metodom argentometrijske titracije prema Mohru. Kvantitativno određivanje sulfata u vodi izvršeno je gravimetrijskom metodom.

### 4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Sistematskoj kontroli kvalitete vode prišlo se 1975. godine za crpilište Varaždin, odnosno 1977. godine za crpilište Bartolovec. U početku desetgodišnjeg razdoblja praćenja, sadržaj nitrata i klorida u vodi kontroliran je



Slika 2 Koncentracija nitrata ( $\text{NO}_3^-$ ) od 1977. do 1987. godine na crpilištima Varaždin i Bartolovec, izvoru Belski Dol i rijeci Dravi --- srednja vrijednost

Fig. 2 Concentration of nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) from 1977 to 1987 at Varaždin and Bartolovec well fields, spring of Belski Dol and the Drava river ---an average value

povremeno da bi se kasnije kemijske analize vode vršile redovito, odnosno najmanje jednom mjesečno. Sadržaj sulfata u vodi kontroliran je vrlo rijetko, jednom ili čak nijednom tokom godine, sve do 1982. Od tada pa do zaključno s 1985. godinom postoji veći broj podataka.

Rezultati istraživanja prikazani su tabelarno i grafički, a ovdje se daje njihova analiza. Tabelarni i grafički prikaz se odnosi na srednje mjesečne vrijednosti.

#### 4.1. NITRATI

Prisutnost nitrata, nitrita i amonijaka u vodi u koncentracijama iznad dozvoljenih uvijek je znak onečišćenja. Dozvoljena koncentracija prema "Pravilniku o higijenskoj ispravnosti pitke vode" (Sl. list SFRJ br.33/87) iznosi 10 mg/l izražena kao N, odnosno 45 mg/l izražena kao  $\text{NO}_3^-$ . Svi podaci o nitratima u ovom radu odnose se na koncentraciju izraženu kao mgN/l.

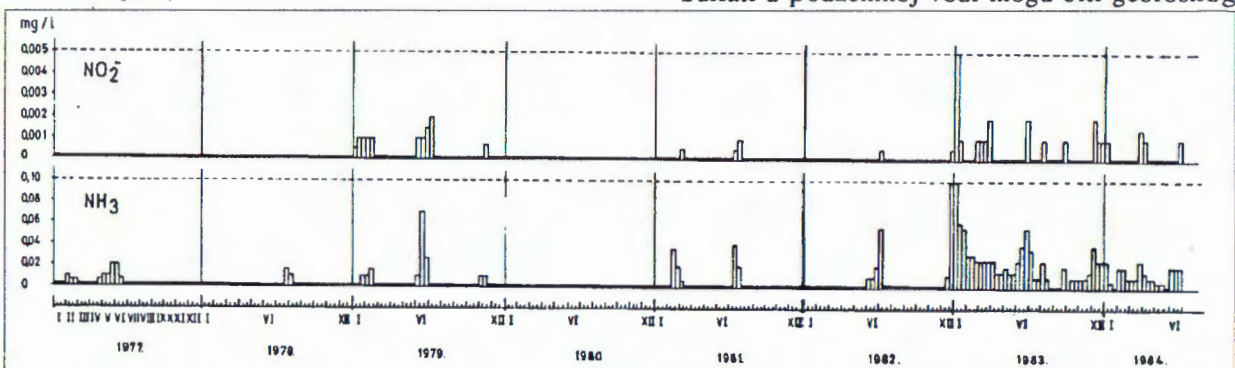
Inicijalni sadržaj nitrata u vodi sa crpilišta Varaždin 1973. godine kretao se oko 1 mgN/l, da bi se u svibnju 1974. godine popeo na oko 5 mgN/l, a u studenom 1976. godine iznad 10 mgN/l. Koncentracija nitrata u podzemnoj vodi imala je tendenciju porasta sve do kraja 1982. god., odnosno siječnja 1983. kada se popela iznad 25 mgN/l. Tijekom 1984. godine sadržaj nitrata u vodi se smanjio na oko 16 mgN/l da bi se u drugoj polovici 1985. opet povećao i od tada pa sve do kraja 1987. godine malo koleba između 18 i 19 mgN/l (tablica 1, sl.2). Najnoviji podaci od svibnja 1991. godine kada je izmjereno 18,5 mgN/l potvrđuju taj trend.

Koncentracija nitrata u podzemnoj vodi sa crpilišta

god. m.	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
I	-	12,1	7,5	10,2	-	-	25,9	20,5	16,3	20,0	18,6
II	-	15,6	11,2	14,8	-	-	21,8	19,2	16,7	18,6	19,1
III	-	12,8	12,0	12,8	-	19,8	20,6	16,2	14,7	18,6	18,8
IV	11,7	14,9	17,5	-	-	17,9	-	15,1	14,4	18,4	18,9
V	11,8	14,0	12,3	14,1	-	23,0	19,3	16,3	18,0	17,8	19,0
VI	11,1	16,9	8,5	11,1	-	21,4	18,3	15,6	18,8	18,8	18,0
VII	11,8	-	14,6	10,6	16,7	23,0	18,8	15,3	15,7	16,9	18,6
VIII	11,7	-	10,3	10,8	17,3	18,9	19,2	16,5	18,9	19,2	18,8
IX	11,1	-	-	13,5	18,7	22,9	15,8	15,7	19,7	18,0	-
X	13,2	-	-	13,7	19,4	21,9	-	16,1	18,3	20,0	18,4
XI	14,4	-	12,0	11,9	12,7	23,0	21,3	15,9	18,6	20,1	-
XII	12,7	-	-	10,8	14,7	23,2	20,9	15,3	19,0	20,6	-
Sred. gr. vrijed.	12,14	14,38	11,76	12,21	16,58	21,50	20,19	16,47	17,26	18,92	18,69

Tablica 1 Koncentracija nitrata ( $\text{NO}_3^-$ ) od 1977 do 1987. godine na crpilištu Varaždin (mg/l)

Table 1 Concentration of nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) from 1977 to 1987 at Varaždin well field (mg/l)



Slika 3 Koncentracija  $\text{NO}_2^-$  i  $\text{NH}_3$  od 1977. do 1984. godine na crpilištu Bartolovec - dekadni prosjek (prema : KOŠIĆ, 1984)

Fig. 3 Concentration of  $\text{NO}_2^-$  and  $\text{NH}_3$  from 1977 to 1984 at Bartolovec well field: ten-day average value ( according to: KOŠIĆ, 1984.)

Bartolovec se povećala od oko 2 mgN/l, koliko je registrirano sredinom 1971. godine u vrijeme istražnih radova na crpilištu, na iznad 20 mgN/l u drugoj polovini i 1982. i početkom 1983. godine. Maksimalna koncentracija se pojavila u siječnju 1983. godine i iznosila je 26,7 mgN/l. Od tada sadržaj nitrata u podzemnoj vodi sa crpilišta Bartolovec opada tako da tijekom 1987. godine varira između 13 i 14 mgN/l (tablica 2, sl. 2 i 3), a do svibnja 1991. pada na iznos 9,2 mgN/l.

U razdoblju od 1977. do 1987. godine sadržaj nitrata u vodi sa izvora Belski Dol nije se značajnije mijenjao i kretao se od 1 do 4 mgN/l (sl. 2). Koncentracija nitrata u rijeci Dravi od 1984. do 1987. godine varirala je između 1 i 5 mgN/l nakon smanjenja u 1986. godini ima i tendenciju blagog porasta (sl. 2).

#### 4.2. KLORIDI

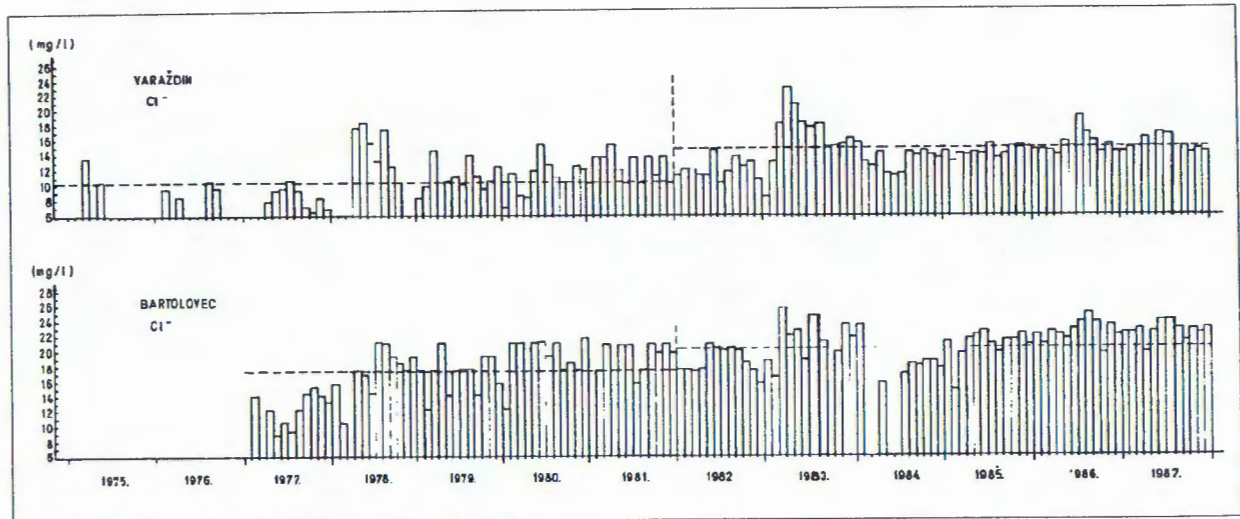
Većina prirodnih voda sadrži stanovite količine klorida, najčešće u obliku otopljenih soli:  $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$  i dr. Veće količine klorida rijetko su geološkog porijekla (osim u morskim vodama), pa je povećana količina klorida jedan od indikatora onečišćenja i pokazatelj prodiranja otpadnih industrijskih voda u podzemlje. Većina voda za piće sadrži obično 10 - 30 mgCl/l (RAŠIĆ, 1975). Vode u kojima je koncentracija klorida iznad 250 mg/l imaju slan okus i ne preporučuju se za piće. Vode korištene u agrikulturi na bi smjele imati više od 350 mg Cl/l, ako se žele uzgajati kulturne biljke šireg spektra. Maksimalna dozvoljena koncentracija klorida u vodi za piće iznosi 200 mg/l (Službeni list SFRJ, broj 33/87).

Početni sadržaj klorida kretao se oko 10 mg/l na crpilištu Varaždin, odnosno do 15 mg/l na crpilištu Bartolovec. Skokovit, ali nevelik porast registriran je na oba crpilišta 1983. godine. Slijedeće godine koncentracija klorida u podzemnim vodama se smanjila. Nakon toga se opet povećala, ali se do kraja 1987. godine zadržala na vrijednostima oko 15 mg/l na crpilištu Varaždin, odnosno oko 22 mg/l na crpilištu Bartolovec (tablice 3 i 4, sl. 4). U svibnju 1991. godine koncentracija klorida u podzemnim vodama iznosila je 16,9 mg/l na crpilištu Varaždin i 28,5 mg/l na crpilištu Bartolovec.

#### 4.3. SULFATI

Sulfati u podzemnoj vodi mogu biti geološkog





Slika 4 Koncentracija klorida (Cl<sup>-</sup>) od 1975. do 1987. godine na crpilištima Varaždin i Bartolovec --- srednja vrijednost  
Fig. 4 Concentration of chlorides (Cl<sup>-</sup>) from 1975 to 1987 at Varaždin and Bartolovec well fields --- an average value

GODINA YEAR	REGIJA - AREAS					UKUPNO TOTAL
	ČAKOVEC	IVANEC	LUDBREG	N. MAROF	VARAŽDIN	
1976.	19.382	2.400	-	-	-	-
1977.	18.841	3.130	-	-	6.790	-
1978.	16.825	3.600	-	-	5.500	-
1979.	13.709	3.100	4.931	-	6.612	-
1980.	12.122	2.577	3.495	-	6.500	-
1981.	12.682	1.492	5.000	-	5.589	-
1982.	13.746	1.122	4.860	2.515	6.345	26.408
1983.	14.371	2.405	3.200	2.715	6.327	29.018
1984.	13.878	3.000	7.635	2.255	6.324	33.092
1985.	13.356	3.728	5.210	2.713	5.868	30.893
1986.	14.152	3.668	5.195	3.026	6.332	32.393

Tablica 7 Potrošnja mineralnih gnojiva od 1976. do 1986. godine na području regije Varaždin (t)  
Table 7 Consumption of inorganic fertilizers from 1976 to 1986 in Varaždin area

osnovnim, a mineralno dopunskim. Osim toga, u smislu onečišćenja podzemnih voda nema razlike da li nitrati potječu iz mineralnih ili pak prirodnih gnojiva. Paralelno s nitratima porasla je i koncentracija klorida i sulfata u podzemnim vodama crpilišta Varaždin i Bartolovec što se ne može povezati s upotrebom mineralnih gnojiva. Količine klorida i sulfata u mineralnim NPK gnojivima su neznatne u odnosu na dušik.

Istovremeno se koncentracija nitrata u vodi sa izvora Belski Dol, koja je općenito niska, nije značajnije mijenjala. To je stoga što se izvor Belski Dol nalazi na obroncima produžetaka Ivanščice oko 10 km jugozapadno od Varaždina i izvan je utjecaja urbanizacije, industrijskih aktivnosti i intenzivne poljoprivredne proizvodnje

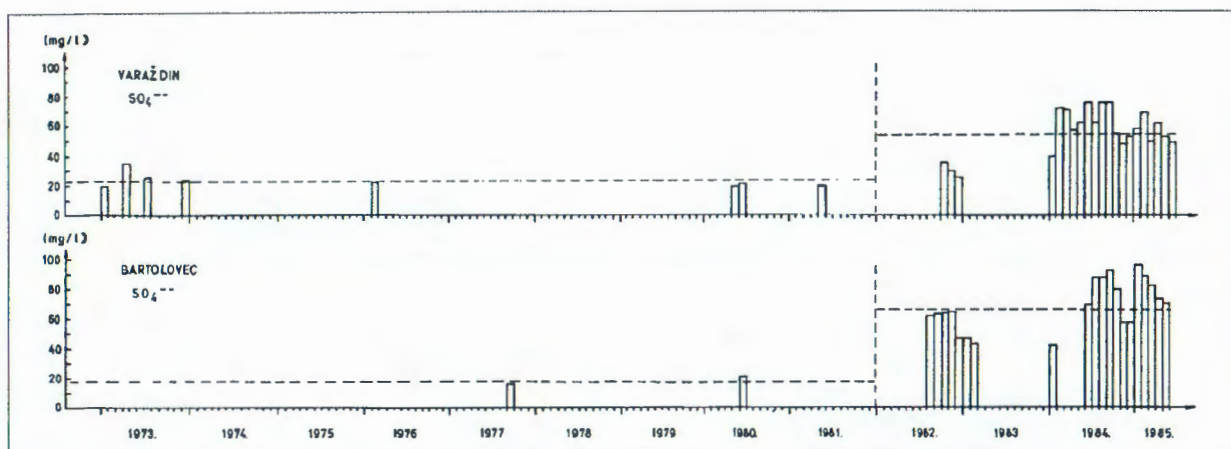
Skokovito povećanje koncentracije nitrata, klorida i sulfata u vodi crpilišta Bartolovec 1982. i 1983. godine može se jedino objasniti punjenjem akumulacijskog jezera HE "Čakovec" u lipnju 1982. godine. Kako se višak nitrata iz mineralnih i prirodnih gnojiva koje biljke i zemljišni mikroorganizmi ne utroše u vegetacijskom razdoblju ne veže u zemljištu, poput amonijačnog oblika dušika, nitratni oblik dušika je podložan ispiranju. Kao posljedica procjeđivanja iz akumulacijskog jezera razina podzemnih voda u zoni utjecaja, uključujući i crpilište Bartolovec, se trajno podigla. Uslijed toga isprane su

očito znatne količine nitrata akumulirane u zemljištu.

U slučaju da nema dizanja razine podzemnih voda dio nitratnog dušika koji se infiltracijom oborina ispere iz oranice, zadrži se u kapilarama podoraničnog sloja zemljišta odakle se ascendentnim tokom ponovno vraća u oranični sloj. Dio nitrata koji dospije u dublje slojeve zemljišta se denitrificira i kao plinoviti N<sub>2</sub> vrati u atmosferu. Tada u podzemne vode dopre manji dio nitrata. Utoliko su nitrati općenito prisutni u podzemnim vodama crpilišta Varaždin i Bartolovec.

Industrijske i komunalne otpadne vode grada Varaždina ulijevaju se u desni drenažni kanal HE "Čakovec" dok su se prije izgradnje hidroelektrane odvodile direktno u Dravu. Stoga zasigurno i one kako prije, a još više nakon izgradnje hidroelektrane pridonose degradaciji kvalitete podzemnih voda. Vjerojatno odatle kao i iz komunalnih otpadnih voda urbanih naselja koja se nalaze uzvodno od crpilišta Bartolovec potječe dio nitrata, klorida i sulfata u podzemnim vodama. To potvrđuje i činjenica da je 1982. godine došlo do pogoršanja kvalitete vode u mikrobiološkom pogledu. U vodi sa crpilišta Bartolovec tada se pojavio povišen broj koliformnih bakterija fekalnog porijekla i ukupno živih bakterija.

Izgradnjom HE "Varaždin", odnosno njenog odvodnog kanala koji djeluje kao snažan dren suženo je prilivno područje crpilišta Varaždin. Nizvodna razvodnica crpilišta pomaknuta je nizvodno pa je veći dio gradskog područja uključen u prilivno područje crpilišta. Ono se također povećava zbog sve većih količina vode koja se crpi. I jedno i drugo zasigurno je pridonijelo degradaciji kvalitete podzemne vode zahvaćene na varaždinskom crpilištu. Dio nitrata u podzemnoj vodi potječe iz obližnjih peradarskih farmi. Izvor dijela nitrata vjerojatno su ipak mineralna gnojiva. Na poljoprivrednim površinama u prilivnom području crpilišta i uzvodno od njega intenzivno se uzgajaju povrtlarske kulture namijenjene tržištu i pri gnojidbi se koriste veće količine gnojiva. Uz to tanki i relativno dobro propustan pokrovni sloj tla predstavlja



Slika 5. Koncentracija sulfata ( $\text{SO}_4^{--}$ ) od 1973. do 1985. godine na crpilištima Varaždin i Bartolovec --- srednja vrijednost  
 Fig. 5 Concentration of sulphates ( $\text{SO}_4^{--}$ ) from 1973 to 1985 at Varaždin and Bartolovec well fields --- an average value

slabu zaštitu podzemnih voda od ispiranja nitrata kao i prodora drugih onečišćenja.

Ne treba zanemariti činjenicu da se u neposrednoj blizini crpilišta nalazi groblje.

Uzrok visokoj koncentraciji nitrata u podzemnoj vodi na crpilištu Varaždin 1982. godine ipak treba tražiti izvan navedenih izvora zagađenja. Moguće je da je razvodnica crpilišta opet pomaknuta, ali ovaj put zbog punjenja akumulacijskog jezera HE "Čakovec".

Općenito dio sulfata dospijeva u podzemne vode infiltracijom aerozagađenja koje je posebno u gradskom području Varaždina u porastu, a dio klorida ispiranjem soli s cesta.

Najnovije analize sastava vode na crpilištima Varaždin i Bartolovec iz 1990. i 1991. godine ukazuju na poboljšanje kvalitete podzemnih voda na varaždinskom području, isključujući nitrata na crpilištu Varaždin. Manjem zagađenju podzemnih voda na crpilištu Bartolovec i nizvodno pridonijet će uređaj za pročišćavanje otpadnih voda čija je izgradnja u toku.

## 6. ZAKLJUČAK

Na osnovu provedenih ispitivanja koncentracija nitrata, klorida i sulfata u podzemnoj vodi na crpilištima Varaždin i Bartolovec, izvoru Belski Dol i rijeci Dravi kod mosta u Varaždinu te iz ranijih istraživanja poznatog utjecaja HE "Varaždin" i HE "Čakovec" na režim podzemnih voda mogu se izvesti slijedeći zaključci:

1. Nakon izgradnje HE "Varaždin", odnosno njezinog odvodnog kanala suženo je područje prihranjivanja crpilišta Varaždin pa je nizvodna razvodnica crpilišta pomaknuta istočnije. Punjenje akumulacijskog jezera HE "Čakovec" uvjetovalo je trajni porast razine podzemnih voda u lijevom i desnom zaobalju uzvodno od brane, koji na crpilištu Bartolovec iznosi 0,9 do 1,2 m.

2. Analize podzemne vode na sadržaj nitrata, klorida i sulfata u razdoblju od 1973. do 1987. godine pokazuju da je nakon punjenja akumulacijskog jezera HE "Čakovec" došlo do značajnog porasta koncentracije nitrata i porasta koncentracije klorida i sulfata na crpilištima Bartolovec i Varaždin.

3. Nagla degradacija kvalitete podzemnih voda ne može biti posljedica samo primjene mineralnih gnojiva na poljoprivrednim površinama, čija je potrošnja u padu od 1981. godine, jer se nakon punjenja akumulacijskog jezera također povećala koncentracija klorida i sulfata. Izvor znatnog dijela nitrata ipak su količine nitrata oblika dušika akumulirane u zemljištu, a isprane trajnim dizanjem razine podzemnih voda. Dio nitrata, klorida i sulfata u podzemnoj vodi crpilišta Bartolovec potječe sigurno iz industrijskih i komunalnih otpadnih voda grada Varaždina koje su odmah nakon punjenja akumulacijskog jezera HE "Čakovec" preusmjerene iz Drave u desni drenažni kanal.

4. Degradaciji kvalitete podzemnih voda na crpilištu Varaždin, uz već prisutne izvore zagađenja (peradarske farme, mineralna gnojiva), pridonijelo je uključivanje većeg dijela gradskog područja u prilivno područje crpilišta nakon izgradnje HE "Varaždin". Punjenjem akumulacijskog jezera HE "Čakovec" i povećanjem crpnih količina na crpilištu Varaždin razvodnica crpilišta ponovno je pomaknuta.

5. Koncentracija nitrata u vodi na izvoru Belski Dol općenito je niska i nije se značajnije mijenjala, zato što se on nalazi izvan utjecaja urbanizacije, industrijskih aktivnosti i poljoprivredne proizvodnje.

Iz izloženog slijeda da svako zadiranje u prirodni režim podzemnih voda ima pored pozitivnih i veliki negativni utjecaj na ekološku ravnotežu, pa bi trebalo izbjegavati intervencije u prirodne hidrološke režime.

## 7. LITERATURA

- ALFÖLDI, L. (1982): Movement and interaction of nitrates and pesticides in the vegetation cover - soil ground water rock system. International symposium on impact of agricultural activities on ground water. - Memories, 16/ 2, 5 - 33, Prag.
- ANDERSEN, L.J. & KRISTIANSEN, H. (1982): Nitrate in ground water and surface water related to land use in Karup basin, Denmark. International symposium on impact of agricultural activities on ground water. - Memories, 16/1, 125-138, Prag.

- BABIĆ, Ž., ČAKARUN, I., SOKAČ, A. & MRAZ, V. (1978): O geologiji kvartarnih naslaga porječja Drave. - Geol. vjesnik, 30/1, 43-61, Zagreb.
- EISEN, C. & ANDERSON, M. P. (1979): The effects of urbanization on ground water quality-a case study. - Ground water, 17/5, 456-462.
- GRĐAN, D. (1989): Utjecaj površinskih akumulacija na režim podzemnih voda ( na primjeru akumulacija na rijeci Dravi ). - Disertacija. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 108 str., Zagreb.
- GRĐAN, D. & KOVAČEV, B. (1989): Utjecaj HE "Varaždin" na režim podzemnih voda u desnom zaobalju Drave kod Virje Otoka.-Geol. vjesnik, 42, 249 -258, Zagreb.
- KOŠIĆ, T. (1984): Problematika zaštite crpilišnih područja kod korištenja podzemnih voda. - Magistarski rad. Fakultet građevinskih znanosti, Sveučilište u Zagrebu, 89 str., Zagreb.
- RAŠIĆ, R. T. (1975): Dezinfekcija vode za piće. - Udruženje za tehnologiju vode. Beograd.
- URUMOVIĆ, K., PRELOGOVIĆ, E., HLEVNJAK, B. & MAYER, D. (1990): Hidrogeološki odnosi varaždinskog vodonosnika.- Geol. vjesnik, 43, 149 - 158, Zagreb.

## RELATIONSHIP BETWEEN ALTERED SYSTEM AND QUALITY OF GROUND WATERS IN WELL FIELDS OF VARAŽDIN AND BARTOLOVEC

D. Grđan, P. Durman and B. Kovačev-Marinčić

Present studies of effects of industry, agriculture and rapid urban developments on contamination of ground waters in large areas around Varaždin are few in spite of the fact that two regionally important well fields, Varaždin and Bartolovec are in the vicinity of Varaždin. Here, ground waters from a Quaternary aquifer, built largely from gravels and having various sand contents are impounded by means of drilled wells.

Regular analyses of these waters show that their qualities have changed for the worse following the erection of hydroelectric power plants, the Čakovec Power Plant in 1982 in particular. We are presenting the results of the case studies referring to this problem.

Monitoring the ground waters, especially their deteriorated qualities, included observation and close studies of the concentrations of nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ), chlorides ( $\text{Cl}^-$ ) and sulphates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) in the ground waters of the Varaždin and Bartolovec well fields between 1973. and 1987. Nitrate concentrations in the surface waters of the Drava River and the spring of Belski Dol were parallelly investigated.

At the beginning of the seventies the initial quantity in the well fields ranged between 1 - 2 mg N/l, 10 - 15 mg Cl/l and 15 - 25 mg  $\text{SO}_4$ /l. Sudden increases in nitrate and sulphate concentrations were noted both in 1982 and 1983. The highest concentrations registered were 25 mg N/l and around 65 mg  $\text{SO}_4$ /l in the Varaždin and 26,7 mg N/l in the Bartolovec well fields. At the same time the highest concentrations of nitrogen in the forms of nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) and ammonium ( $\text{NH}_3$ ) together with an increase in fecal coliform bacteria and total living bacteria were reported from the Bartolovec well field. However a decrease in the concentration of sulphates and nitrates, but only in the Bartolovec well field, has been present, for some years, while the concentration of chlorides remained unaltered. The only problem is still a high nitrate concentration, around 18 mg N/l in the ground water of the of the Varaždin well field.

Before the Čakovec Power Plant reservoir was filled, the ground waters in the two well fields had had good

physical, chemical and microbiological qualities. After the completion of the Varaždin Power Plant, i.e. its discharge canal, the catchment area of the Varaždin well field became less wide with the field; downstream watershed now being further to the east. Filling of the Čakovec Power Plant reservoir has permanently increased the ground water levels in both left and right lowlands upstream to the dam. In the Bartolovec well field they ranged between 0.9 and 1.2 m.

Rapid deterioration of the ground water qualities is not only due to use of mineral fertilizers on farmland, whose consumption has decreased since 1981, but also to an increase in chloride and sulphate concentrations following the filling of the reservoir. Yet, much of the nitrates is derived from the nitrate compounds that are accumulated in soils from fertilizers and are washed away by permanently raised ground waters. Certain amounts of nitrates, chlorides and sulphates in the ground water of the Bartolovec well field originate, no doubt, from industrial and municipal waste waters of Varaždin that were redirected from the Drava river into the right drain canal immediately after the Čakovec Power Plant reservoir had been filled. Some sulphates reach ground water by infiltrating polluted rainfalls, and chlorides through road salts. The ground water quality of the Varaždin well field has been, additionally to the already existing pollutants, such as chicken farms and mineral fertilizers, degraded by inclusion of a larger part of the urban area into the ground water recharge area of the well field after the completion of the Varaždin Power Plant. The filled Čakovec Power Plant reservoir and increased pumping capacities of the Varaždin well field have once more brought about a relocation of the well field watershed.

Generally, the reason why the low nitrate concentration in the waters of the Belski Dol spring has not been significantly altered, is that the spring is beyond the influence of urbanization, industrial and agricultural production.