

Slobodan Vukčević¹

MATEMATIČKO I DINAMIČKO MODELIRANJE KRETANJA PODZEMNIH VODA
I KRETANJA ZAGAĐENJA U SLIVU SKADARSKOG JEZERA

DYNAMICAL AND MATHEMATICAL MODELLING OF GROUNDWATER AND
POLLUTION TRANSPORT IN THE SKADAR LAKE BASIN

Izvod

Podzemni doticaj vode u Skadarsko jezero je znatan. Do skoro je kvalitet ovih voda bio izvanredan. U posljednje vrijeme dolazi do degradacije kvaliteta. U cilju iznalaženja adekvatnih mjera zaštite, potrebno je vršiti modeliranje strujanja podzemne vode i transporta zagađenja, što je autor ovog rada i uradio.

Ključne riječi: strujne linije, ekvipotencijalne linije, koncentracija rastvora, koeficijent hidrod disperzije.

Abstract

Ground water flow in to the Skadar lake is abundant. Quality of that ground water used to be perfect. Its quality started deciling in the recent decades. For the purpose of finding adequate protection measures, ground water flow and pollution transport modeling has been made.

¹ mr Slobodan Vukčević, Univerzitet Crne Gore, Institut za tehnička istraživanja

UVOD

Pored značajnog površinskog dotoka vode koja pristiže u Skadarsko jezero, preko njegovih pritoka, u prvom redu rijeke Morače; ovdje je prisutno podzemno priticanje vode u najvećem obimu sa sjeverne strane, odnosno sa područja Zetske ravnice, Čemovskog polja pa i dalje uzvodno.

Do skoro je voda iz ovog podzemnog toka bila izuzetnog kvaliteta i kao takva se bez ikakvih problema koristila za piće i za druge potrebe. U posljednje vrijeme je došlo do degradacije njenog kvaliteta, što je posljedica većeg broja činilaca, u prvom redu industrije aluminijuma, KAP; zatim poljoprivrede; saobraćaja; komunalne infrastrukture, odvodnje otpadnih voda, kanalizacije. Zagađenje u podzemne vode, na ovom prostoru, može da dospije direktno i indirektno, preko površinskih tokova, usljed postojanja hidrauličke veze.

U cilju razjašnjenja problematike strujanja podzemne vode kao i transporta zagađenja na ovom području, autor rada je na osnovu raspoloživih podloga vršio njegovo dinamičko i matematičko modeliranje. Potom su korišćeni raspoloživi podaci o izvršenim istražnim radovima i to iz oblasti: topografije, geologije, hidrogeologije, hidrologije, hidrodinamike, crpljenja vode na postojećim bunarima, osmatranja nivoa podzemnih voda, hemijskih analiza podzemnih i površinskih voda.

U poroznim intergranularnim sredinama voda se kreće između zrna koja su raspoređena na potpuno slučajan način, što onemogućava definisanje geometrije granice oblasti strujanja za bilo kakav realan problem, a samim tim i rješenje jednačina.

Osnovne fizičke odnosno dinamičke jednačine, koje definišu kretanje podzemne vode u intergranularnoj poroznoj sredini jesu:

Jednačina održavanja mase:

$$(\rho W)_{t_b} - (\rho W)_{t_a} = \int_{t_a}^{t_b} Q_m dt \quad (1)$$

Jednačina održavanja količina kretanja

$$(\rho W u_j)_{t_b} - (\rho W u_j)_{t_a} = \int_{t_a}^{t_b} (I_j + G_j + P_j + T_j) dt \quad (2)$$

gdje je:

ρ - gustina fluida

W - zapremina ispunjena fluidom, proizvoljne veličine i oblika

t_a i t_b - granice vremenskog intervala proizvoljne dužine u kome se posmatra zapremina (W)

u_j - komponenta vektora brzine u poravcu "j"

U cilju stvaranja uslova rješavanja ovih jednačina uvešće se sljedeće pretpostavke:

- skelet koji formiraju zrna je nedeformibilan
- porozna sredina je zasićena vodom
- strujanje je prema Darcy-om zakonu filtracije.

Strujanje vode u poroznoj sredini, u uslovima ravanskog kretanja, uz uslov da su komponente brzine za dva pravca (V/x , V/y) znatno veće od komponente brzine za treći pravac (V/z) u nestacionarnom režimu je definisano sljedećom parcijalnom jednačinom:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(T_x \frac{\partial \Pi}{\partial x} \right) + \frac{\partial \Pi}{\partial y} \left(T_y \frac{\partial \Pi}{\partial y} \right) + W = \frac{\partial \Pi}{\partial t} \quad (3)$$

Obzirom da je

$$T = KH \quad (4)$$

gdje je:

- K - koeficijent filtracije
- H - debljina vodonosnog sloja
- ε - efektivna poroznost

Jednačina važi za slučaj strujanja sa slobodnom površinom.

Za rješavanje ove jednačine potrebno je poznavati:

- početne uslove koji se daju u obliku pijezometarskih pritisaka; granične uslove, koji se daju u obliku Dirichlet-a

$\Pi g(x,y,t)$ - pijezometarskih pritisak na granici oblasti

$Qg(x,y,t)$ - proticaj na granici oblasti

U slučajevima kad se strujanje podzemne vode može smatrati kvazistacionarnim, u periodu malih promjena hidrodinamičkih veličina, jednačina se može napisati u sljedećem obliku:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(T_x \frac{\partial \Pi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T_y \frac{\partial \Pi}{\partial y} \right) + W = 0 \quad (5)$$

NUMERIČKO RJEŠENJE

Prethodnu jednačinu (5) je moguće rješavati metodom konačnih priraštaja. Metoda konačnih priraštaja predstavlja jednu od metoda numeričke integracije za rješavanje problema iz oblasti strujanja podzemne vode, odnosno za rješavanje parcijalne diferencijalne jednačine, koja definiše to strujanje.

Metoda konačnih priraštaja se faktički svodi na to da se beskonačno mali priraštaji koji figurišu u diferencijalnim jednačinama aproksimiraju priraštajima konačnih dimenzija ($\delta x \sim \Delta x$, $\delta y \sim \Delta y$, $\delta t \sim \Delta t$)

U posebnom slučaju kada se strujanje može aproksimirati homogemom i izotropnom sredinom, sa konstantnim koeficijentom vodopropusnosti ($T = \text{const}$), za slučaj odsustva infiltracije ($w = 0$), jednačina prelazi (5) u jednačinu Lapsasa

$$\frac{\partial^2 \Pi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Pi}{\partial y^2} = 0 \quad (6)$$

Za prikaz principa numeričkog rješenja diferencijalne jednačine, primjenom metode konačnih priraštaja, iz diskretizovane oblasti strujanja izdvaja se i promatra jedno polje, koje u fizičkom smislu predstavlja prizmu označenu sa i, j , sa četiri strane diskretizovanog polja. Na ovo proizvoljno izabrano polje se primjenjuje jednačina (5) u obliku konačnih priraštaja ($\delta x \sim \Delta x$, $\delta y \sim \Delta y$).

U cilju rešenja postavljenog zadatka - problema, definisanja zakonitosti kretanja vode u pozitivnim sredinama sa slobodnom površinom se rešava metodom konačnih zapremina, sa korišćenjem programa "Izdan" i "Akvis", razvijenim na Institutu za hidrotehniku Građevinskog fakulteta u Beogradu. Pritom su uzeti specifični uslovi koji su prisutni na ovom prostoru.

U programu figurišu sljedeći ulazni podaci:

- Broj polja po X,Y kordinati kojima je izvršena podjela područaj,
- Koeficijent filtracije,
- Kota podine,
- Pijezometarske kote,
- Proticaji,
- Veličina polja,
- Kodiranje polja,
- Koeficijet nadrelalksacije,
- Tačnost proračuna,
- Broj iteracija,
- Broj polja u kojem se traži pijezometarski nivo,
- Koordinate (x, y) polja u kojem se traži pijezometarski nivo.

Podjela područja je izvršena u pravcu x na N reda, a u pravcu y na M kolona.

Dimenzije polja su $x - y = 300$ m.

U cilju tariranja modela uzeti su početni i granični uslovi:

$\Pi(x,y)$ za prvi i posljednji red.

$Q(x,y)$ za kvadrate za koje postoje proticaji, posebno za konturna polja, polja preko kojih prelaze vodotoci, gdje postoji hidraulička veza između podine i akvifera. Provjera dobivenih rezultata je izvršena preko nivoa vode $H(x,y)$ koji je evidentiran preko znatnog broja pijezometara na posmatranom području.

OSNOVNE JEDNAČINE KRETANJA ZAGAĐENIH VODA
U VODONOSNOJ SREDINI

Do osnovne jednačine migracije zagađenih voda u vodonosnoj sredini dolazi se razmatranjem bilansa materije, koja se javlja kao nosilac zagađenja, sa koncentracijom (C), pri njenom kretanju kroz beskonačno mali elemenat dužine (dx), i jediničnog poprečnog presjeka.

Prema analizama autora (Beara, Zaslavskog, Irmei-a), usljed molekularne difuzije, svaka čestica pri svom kretanju zamjenjuje molekule sa susjednim česticama. Difuzni tok Q, komponente C u odnosu na srednju "težinsku brzinu" V, izražava se kao:

$$Q_{\alpha} = C_{\alpha} (V_{\alpha} - V_1) = -D \text{grad} (C_{\alpha} / \rho) \quad (7)$$

Pri kretanju zagađene vode kroz poroznu sredinu mogu da se jave razni procesi: molekularno-difuzni, desorpcija, rastvaranja, izmjena jona, prevođenja u talog, zadržavanje slijepim porama, prodiranje iz podine i povlate i obratno. Difuznom toku Q_{vd} odgovara "težinska brzina" masopronosa, a koja po zakonu Fick-a iznosi

$$V_0 = CV - D \frac{\partial C}{\partial x} = Q_d \quad (ML^2T^{-1}) \quad (8)$$

količina kretanja materije za vrijeme dt iznosi

$$(V_0 + \frac{\partial VC}{\partial x} dx) dt \quad (9)$$

Kretanja zagađenja su definisana zakonima FICK-a i FOURIER-a, uz uzimanje u obzir i drugih procesa, koji su obično izazvani lokalnim činiocima. Prema tome, osnovna jednačina transporta zagađenja u vodonosnoj sredini može se napisati na sljedeći način:

$$D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - V \frac{\partial C}{\partial x} - \frac{C(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)}{m} = n_0 \frac{\partial C}{\partial t} + W \quad (10)$$

gdje su:

d - koeficijent hidrodisperzije (L^2T^{-1})

V - vektor srednje brzine rastvora (LT^{-1})

C - koncentracija rastvora (ML^{-3})

ε_1 i ε_2 - brzine proticaja vode kroz podinu i povlatu (LT^{-1})

m - debljina vodonosnog sloja

n_0 - aktivna poroznost

w - sumarni gubitak komponenata koji su nosioci procesa filtracije

S obzirom na to da u našem slučaju povlata ne postoji, kao i vrlo mala mogućnost prenosa materije između izdanskog toka i podine i obratno, treći član jednačine otpada. Pored toga se i sumarni gubitak komponenata (w) može zanemariti, jer je vertikalni pronos minimalan, pa jednačina pronosa zagađenja dobija oblik

$$D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} = V \frac{\partial C}{\partial x} + n_0 \frac{\partial C}{\partial t} \quad (11)$$

Rješavanje parcijalne diferencijalne jednačine transporta zagađenja je vezano sa velikim poteškoćama. Kao i svaka diferencijalna jednačina i ova ima beskonačno rješenja, pa određivanje promjene koncentracije zagađivača $C(x, t)$, što je i osnovni cilj rješavanja, zahtijeva konkretizaciju za određenu šemu sa poznavanjem početnih i graničnih uslova. Na osnovu usvojenih šematizovanih prirodnih uslova, te početnih i graničnih uslova, rješavanje parcijalne diferencijalne jednačine se znatno pojednostavljuje.

Problem koji se ovdje postavlja sastoji se u rješavanju sljedeće parcijalne jednačine:

$$n_0(x) \frac{\partial C(x, t)}{\partial t} + V(x) \frac{\partial C(x, t)}{\partial x} = D_x(x, t) \frac{\partial^2 C(x, t)}{\partial x^2} \quad (12)$$

za dva slučaja H_{\max} i H_{\min} . U parcijalnoj diferencijalnoj jednačini ulazni podaci su: $C(x, t)$, $n_0(x)$, $V(x)$. Nepoznata veličina koju treba odrediti je koeficijent disperzije $D_x(x)$. Da bi se našla tražena veličina potrebno je odrediti parcijalne izvode po vremenu i rastojanju (veličini x). Pošto je vremenski interval mjerenja ekvivalentan i $C(x, t)$ je po vremenu rastuća funkcija to će se za traženje vremenskog izvoda koristiti diferencijalna jednačina:

$$\frac{\partial C(x, t)}{\partial t} \cong \frac{C(x, t + T) - C(x, t)}{T}, \text{ gdje je } T = 1 \text{ godina} \quad (13)$$

Neka slična diferencijalna jednačina za nalaženje parcijalnih izvoda po x ne može se koristiti. Razlog tome je što je kriva $C(x, t)$ veoma promjenljiva. Da bi se našlo po x moralo se pristupiti interpolaciji krive $C(x, t)$ za svaku godinu. Korišćenje su dvije aproksimacije: polinomijalna i eksponencijalna. Polinomijalna je oblika: $C(x) = a_0 x^2 + a_1 x + a_2$, dok je eksponencijalna aproksimacija oblika: $C(x) = a e^{bx} + c$. Eksponencijalna aproksimacija se izvršila tako da je konstanta c odabrana na taj način da predstavlja vrijednost kojoj $C(x)$ teži za veliko x . Konstante su izabrane tako da minimizuju grešku u smislu najmanjih kvadrata. Pokazuje se da je ova aproksimacija dobra za nekoliko prvih i posljednjih bunara. Za x od 300m do 1500m korišćena je polinomijalna aproksimacija. Konstante su odabrane tako da minimizuju grešku u smislu najmanjih kvadrata. Razlog što je korišćen polinom drugog reda je taj što polinomi trećeg i većeg reda pokušavaju da prate velika

odstupanja $C(x)$, što bi dalo velike izvode što ne odgovara fizičnosti problema. Pored ostalih pogodnosti ove aproksimacije imaju tu osobinu da su im izrazi za izvode vrlo jednostavni

$$\frac{\partial C(x,t)}{\partial t} = abe^{bx} ; \frac{\partial^2 C(x,t)}{\partial x^2} = ab^2 e^{bx} \quad (14)$$

za eksponencijalnu aproksimaciju, dok su izrazi za izvode za polinomijalnu aproksimaciju:

$$\frac{\partial C(x,t)}{\partial x} = 2a_0 x + a_1 \quad \frac{\partial^2 C(x,t)}{\partial x^2} = 2a_0 \quad (15)$$

Na osnovu naprijed datih dinamičkih i matematičkih aparata izvršeno je modeliranje strujanja podzemnih voda za specifične uslove koji vladaju u velikoj podzemnoj izdani koja se nalazi na prostoru po pravcu sjever - jug od Zlatice do Skadarskog jezera, i po pravcu istok - zapad od Tuzi do Farmaka. Naravno da je ovdje u pitanju strujanje vode u intergranularnoj poroznoj sredini, koje zavisi od elemenata čvrste faze kroz koju se odvija strujanje, i tečne faze, koja obavlja svoju cirkulaciju (vidi sliku 1).

Kretanje zagađenja u podzemnim vodama je takode modelirano, ono je uz to još kompleksnije odnosno komplikovanije; jer pored navedene dvije grupe elemenata koji karakterišu čvrstu i tečnu fazu, javljaju se elementi koji su karakteristični za zagađenje, u ovom slučaju za industriju aluminijuma (KAP). Pritom se između ove tri sredine javljaju brojni procesi koji mogu biti: fizički, hemijski, biološki i kombinovani. Vrlo je teško definisati veličinu pojedinačnog uticaja, ali je zato moguće sa dovoljnom preciznošću odrediti sumarni ukupni uticaj (vidi sliku 2).

Da bi se riješile osnovne parcijalne jednačine, koje definišu, strujanje podzemnih voda kao i transport zagađenja (5,11) potrebno je postaviti, definisati konturne uslove: početne i granične, koji su sakupljeni sa ovog područja. Uz postojanje ovih uslova, parcijalne diferencijalne jednačine je moguće rješavati numeričkim metodama, što omogućava sprovođenje proračuna na računskim mašinama, kompjuterima.

ZAŠTITA PODZEMNIH VODA

Na osnovu prethodno navedenog, definisani su osnovni parametri ove podzemne izdani koji su bitni za strujanje podzemnih voda (debljina podzemne izdani, visina podzemne vode, vektor brzine podzemne vode, strujna mreža: strujne i ekvipotencijalne linije, količina protekle vode i drugo) kao i elementi koji su osnov transporta zagađenja (koeficijent podužne difuzije, niz strujnicu i poprečne difuzije, upravno na strujnicu).

Na osnovu navedenog moguće je prognozirati način ponašanja zagađenja u ovoj podzemnoj sredini (pravac i dužinu prostiranja kao i veličinu opadanja početne koncentracije). To je vrlo bitno, jer služi kao osnov za preduzimanje akcije očuvanja željenog potrebnog kvaliteta ovih voda.

U principu očuvanje prirodnog kvaliteta svih količina vode, koje su ovdje znatne; uz prisustvo brojnih zagađivača, nije cjelishodno, već je potrebno zaštititi samo jedan dio. Količina vode koju treba štiti zavisi od potreba u vodi na ovom prostoru, kao i od raspoloživih količina kvalitetne vode, odnosno čiste vode. Znači da je potrebno izvršiti reonizaciju, odnosno izvršiti razgraničenje područja koje se štiti od onog koje se ne štiti.

Pri prirodnim uslovima tečenja vode i transporta zagađenja, za koje je ovdje izvršeno modeliranje, moguće je preduzeti mjere očuvanja prirodnog kvaliteta podzemnih voda. Pri tom, modeli strujanja podzemne vode i transporta zagađenja treba da predstavljaju osnov za plan akcije zaštite voda. Pri tom mjere zaštite imaju svoju cijenu koja je u principu velika. U cilju smanjenja ove cijene, moguće je intervenisati na prirodne uslove tečenja vode, a samim tim i na način kretanja zagađenja, pa mjere zaštite postaju tehnički jednostavnije, a samim tim i jeftinije. Potreba za korišćenjem prostora za razne namjene je sve veća, često u kontradikciji sa očuvanjem prirodnog, postojećeg kvaliteta podzemnih voda. Zato je potrebno uspostaviti kompromis između ove dvije suprotnosti. U tom cilju je potrebno odrediti količine vode koje će se očuvati i u kom stepenu, a samim tim će se definisati obim mjera zaštite po prostoru, vremenu i finansijama. Uvijek su jednostavnije, a time i jeftinije preventivne mjere zaštite, što se posebno odnosi na podzemne vode, kod kojih je faktički nemoguće u dogledno vrijeme povratiti prvobitno stanje, ukoliko dođe do njihovog zagađenja. Pri podizanju novih objekata na prostoru sa kojeg je za očekivati da će doći do zagađenja podzemnih voda, mora se proučiti mehanizam budućeg zagađenja. U zavisnosti od toga potrebno je pri njihovoj izgradnji preduzeti potrebne mjere zaštite, koje će biti mnogo jeftinije ako se ugrade u startu, nego da se naknadno izvode.

Mnogo je jednostavnije mjere zaštite podzemnih voda sprovesti u sklopu radova koji se planiraju na prostoru iznad podzemne izdani, nego posebno. Ovdje se misli na radove infrastrukture: vodovoda, kanalizacije, saobraćaja, odvoza i opleonovanja smeća; vodoprivrede: energetske korišćenje vodnih snaga, regulaciju rijeka, melioraciju zemljišta, uređenje bujica - sprječavanje erozije, industrije i drugo. Poljoprivredna proizvodnja je prisutna na ovim prostorima i ona je u suprotnosti sa održavanjem željenog kvaliteta podzemnih voda. Da bi se došlo do kompromisnog rješenja potrebno je povesti računa o: odabiranju poljoprivrednih kultura koje će se gajiti na ovom području, načinu i količine đubrenja, kao i količini vode potrebne za navodnjavanje kao i o načinu navodnjavanja. Pojedine površine je potrebno isključiti iz poljoprivredne proizvodnje i one će u suštini biti zaštitne zone potencijalnih izvorišta.

LITERATURA

- Prostorni plan Crne Gore, Republički zavod za urbanizam i projektovanje, Podgorica, 1986. godine.
- Studija kaptiranja izvorišta "Mareza", vodoprivredna organizacija "Zeta", Podgorica, 1984. godine.
- VUKČEVIĆ S., Uticaj rijeke Morače na podzemne vode, na potezu Podgorica - Botun, magistarski rad, Građevinski fakultet, 1988. godine.
- VUKČEVIĆ S. Dinamički i matematički model strujanja podzemne vode i transport zagađenja u istoj, u nekim specifičnim uslovima - podzemna izdan Ćemovskog polja, doktorska disertacija, rad u toku, Građevinski fakultet u Beogradu.

Mr Vukčević V. Slobodan, dipl. gr. ing.

DINAMIČKO I MATEMATIČKO MODELIRANJE KRETANJA PODZEMNIH VODA
I TRANSPORT ZAGAĐENJA U SLIVU SKADARSKOG JEZERA

Rezime

Pored značajnog površinskog dotoka vode koja pristiže u Skadarsko jezero, preko njegovih pritoka, u prvom redu rijeke Morače; ovdje je prisutno podzemno pritanje vode, u najvećem obimu sa sjeverne strane, odnosno sa područja Zetske ravnice, Ćemovskog polja pa i dalje uzvodno.

Do skora je voda iz ovog podzemnog toka bila izuzetnog kvaliteta i kao takva se bez ikakvih problema koristila za piće i za druge potrebe. U posljednje vrijeme je došlo do degradacije njenog kvaliteta što je posljedica uticaja većeg broja činilaca, u prvom redu industrije aluminijuma, KAP; zatim poljoprivrede; saobraćaja; komunalne infrastrukture, odvodnja otpadnih voda, kanalizacije. Zagađenje u podzemne vode može da dospije direktno i indirektno, preko površinskih tokova.

U cilju razjašnjenja problematike strujanja podzemnih voda kao i transporta zagađenja na ovom području, autor rada je na osnovu raspoloživih podloga, vršio njegovo dinamičko i matematičko modeliranje.

Pritom su korišćeni raspoloživi podaci o izvršenim istražnim radovima i to iz oblasti: topografije, geologije, hidrogeologije, hidrologije, hierodinamike, crpljenja na postojećim bunarima, osmatranja nivoa podzemnih voda, hemijskih analiza podzemnih i površinskih voda.

Ovim radom biće prikazana metodika rada, kao i rezultati do kojih je autor došao. Autor rada je definisao osnovne parametre podzemne izdani koji su bitni za strujanje podzemne vode kao (debljina podzemne izdani, visina podzemne vode, vektor brzine vode, strujnu mrežu: strujne i ekvipotencijalne linije, količinu protokle

vode i drugo) i elemente koji su osnov za transport zagađenja, (koeficijente dužne difuzije, niz strujnicu i poprečne difuzije, upravno na strujnicu).

Na osnovu prethodno izloženog moguće je prognozirati način ponašanja zagađenja u ovoj podzemnoj sredini (pravac i dužinu prostiranja kao i veličinu opadanja početne koncentracije). To je vrlo bitno, jer služi kao osnov za preduzimanja akcije očuvanja željenog potrebnog kvaliteta ovih voda.

Nije moguće, s obzirom na mehanizam strujanja podzemnih voda kao i kretanje zagađenja, a nije ni potrebno, očuvati cjelokupnu količinu vode, već samo jedan dio, što znači da je potrebno izvršiti zoniranje područja.

Takođe je pokazano da uz određene intervencije na strujnoj slici, odnosno infiltracijom određene količine vode na određenim lokalitetima, mjere zaštite postaju mnogo jednostavnije u tehničkom smislu, a samim tim i jeftinije.

Pored toga, mjere zaštite je moguće uklopiti u radove koji imaju i drugu namjeru: komunalna infrastruktura (vodovod i kanalizacija), hidrotehnika (regulacija vodnih tokova, melioracija zemljišta, korišćenje vodnih snaga), saobraćaja i drugi, čime se vrši raspodjela troškova. Samim tim se troškovi zaštite svode na minimum. Poljoprivredna aktivnost je prisutna na ovim prostorima, ona je u suprotnosti sa održavanjem kvaliteta podzemnih voda. Da bi se došlo do kompromisnih rješenja potrebno je povesti računa o odabiranju poljoprivrednih kultura koje će se gajiti na ovom području, načinu i količini đubrenja kao i količini i načinu navodnjavanja. Pojedine površine je potrebno isključiti iz poljoprivredne proizvodnje, kako bi se izvršilo zoniranje područja.

Vukčević V. Slobodan, M. A. graduate civil engineer

DYNAMICAL AND MATHEMATICAL MODELLING OF GROUNDWATER AND POLLUTION TRANSPORT IN THE SKADAR LAKE BASIN

Summary

Apart from the significant surface influx of water which arrives into the Skadar Lake through its tributaries the river Morača. there is present a groundwater flow, mainly coming from the north side, that is from region of Zetska ravnica, Čemovsko polje and further upstream.

Until recently water from this underground course was of exceptional quality and as such was used without any problems for drinking and other needs. Lately a degradation of its quality occurred as a result of the influence of a greater number of factors, primarily the aluminium industry, KAP, then agriculture, transport, public services foundation, taking away of waste waters, sewage system. Pollution can reach groundwater directly or indirectly through surface courses.

Aiming at the explanation of the problem of groundwater flow as means of transport of pollution in this region the author of the work has performed a dynamical and mathematical modelling of the problem, basing it on available information.

Available data on performed investigating work have been used from the following areas: topography, geology, hydrogeology, hidrology, hydrodynamics, drawing water from existing wells, observing the level of groundwater, chemical analysis of groundwater and surface waters.

This study will present the method of work as well as the results the author achieved. The author of the study defined the basic measures of aquifer which are relevant for the flow of groundwater (thickness of aquifer, height of groundwater, speed vector of water, flow net, flow and equipotential lines, quantity of flowing water and other) and elements which are the base of the pollution transport (coefficients of longitudinal dispersion the flow and transversal dispersion, vertically on the flow).

On the basis of the previous it is possible to forecast the behaviour of pollution in the underground environment (direction and longitude of extension as well as size of decrease of starting concentration). This is very important as it serves as base for undertaking action in preserving the desired quality of these waters.

Considering mechanism of groundwater flow as well as pollution movement it is neither possible nor necessary to preserve the total amount of water but just one part, which means that it is necessary to perform a zoning of the area.

It is also shown that through certain interventions on the flow picture, that is by infiltration of certain amounts of water on certain localities, protection measures become much simpler in a technical sense and at the same cheaper.

It is possible to fit protection measures into works which have other purpose: public service foundation (plumbing and sewage) hydrotechnics (regulation of water courses, ground meliorization, use of water power), transport and others, by means of which a distribution of expenses is performed. In such a way protection expenses are reduced to a minimum. Agricultural activity is present in this region and that is in opposition with the maintenance of the groundwater quality. In order to achieve a compromise solution it is necessary to consider the following: selection of agricultural crops which are to be raised in this region, the kind and amount of fertilizers as well as the amount and manner of irrigation. It is necessary to exclude certain areas from agricultural production and by doing this a zoning of the region is performed.

