

*Slobodan V. Vukčević **

ANALIZA PROPAGACIJE ZAGAĐENJA VODE U SPECIFIČNIM USLOVIMA STRUJANJA, SA PREDLOGOM OPTIMALNIH MJERA ZAŠTITE

I z v o d

Ovim radom obrađeno je sljedeće:

- Dat je opšti pregled zagađanja podzemnih voda u intergranularnoj poroznoj sredini. Pri čemu su dati opisi: mogućih izvora zagađanja (industrije, gradske otpadne vode, deponije čvrstog otpada, poljoprivredne aktivnosti, saobraćaj nice i drugo); i generalni mehanizmi kontaminacije podzemnih voda.

- Razvijen je matematički model strujanja podzemne vode za opšte, a potom i za specifične uslove, data su numerička rješenja za to.

- Urađen je matematički model prenosa zagađanja u podzemnim vodama, kao i posebno numeričko rješenje istog.

- Provjera navedenih modela na konkretnom primjeru izdani Čemovskog polja, na osnovu sprovedenih istražnih radova na terenu. Može se konstatovati, da dobiveni, sračunati, rezultati uz tolerantna odstupanja odgovaraju izmjerenim vrijednostima na terenu.

- Na osnovu urađenih modela sprovedena su istraživanja uticaja promjene prirodnih hidroloških uslova u cilju zaštite određenih područja (potencijalnih izvorišta vode) od zagađanja i povećanja mogućnosti

*Dr. Slobodan V. Vukčević, Institut za tehnička istraživanja, Podgorica

eksploatacije podzemne vode. Pritom se došlo do saznanja da su mjere zaštite, pri promijenjenom režimu mnogo jednostavnije, a samim time i efikasnije.

- Dat je predlog postupka, ekonomske analize kakvom bi se moglo doći do procjene troškova i dobiti od radova odnosno izgradnje i eksploatacije objekata, koje bi bilo potrebno i višestruko korisno izgraditi u cilju zaštite izvorišta podzemne vode ali i korišćenja drugih prirodnih resursa. Pri tome je ukazano na mogućnost da pojedini objekti, pored zaštite kvaliteta podzemnih voda mogu da imaju i drugu funkciju, odnosno namjenu (komunalna infrastruktura, korišćenje HE potencijala, regulacija rijeka, korišćenje građevinskog materijala, i drugo). Na taj način dolazi do raspodjele troškova na više korisnika, pa samim time udeo zaštite se svodi na prihvatljivu mjeru.

- Na kraju su proizišli određeni zaključci, iz kojih se vidi svrsishodnost, svega predhodno urađenog.

Ključne riječi: strujanje podzemne vode, modeliranje transporta zagađenja, traser, zaštita kvaliteta.

ANALYSIS OF WATER POLLUTION PROPAGATION IN SPECIFIC CONDITIONS OF FLOW WITH A PROPOSAL FOR OPTIMAL PROTECTIVE MEASURES

A b s t r a c t

Following is worked out in this paper:

- General survey on ground water pollution in intergranular porous environment is given. Descriptions are given for the possible pollution sources (industrial, city waste water, hard waste depo, agroactivities, lines of communications etc.); general mechanisms of ground water contaminations.

- Mathematical model of ground water flow is given for general and specific conditions as well as their numerical solutions;

- Mathematical model of ground water flow is given for general and specific conditions as well as their numerical solutions;

- Mathematical model of ground water pollution transmission with numerical solutions is given;

-Testing of models mentioned above is given for exact case of Čemovsko polje ground water and on the basis of undertaken field research works. It may be concluded that obtained and calculated results, with tolerant deviation, corresponds to the, on the field measured values;

- On the bases of these models, research of natural hydro conditions changes impact is conducted in order to protect certain areas (possible water spring area) from pollution and to increase possibility of ground water use. It is concluded that, with regime changed, protective measures are more simplified and accordingly more effective;

- Economic analysis action proposal is given that could bring us to the cost and profit estimate for the case of building and exploitation of objects that are necessary and complexly usefull to build, in order to protect ground water spring as well as to use other natural resources. It is also pointed out the possibility that certain objects, besides ground water quality protection could have and second function or purpose, (comunal infrastrukture, uses of hydro power potencial, river regulations, building material uses, etc.). On that way cost is divided on several users so ground water protection costs are lowered to the acceptable level;

- At the end, conclusions are made, from wich usefulness of all previously mentioned could be seen.

Key words: Ground water flow; pollutant transport modeling; one who marks out (traser); quality protection.

1. UVOD

Podzemna voda predstavlja vrlo bitan resurs, čija je namjena u prvom redu zadovoljavanje potreba za piće i druge higijensko - sanitarne zahtjeve ljudi, zatim za druge potrebe, pa zahtijeva ozbiljno prilaženje njenom izučavanju.

U posljednje vrijeme, kao posljedica osjećanja nedostatka vode uopšte, a posebno kvalitetne, u svijetu i kod nas su se izmijenila shvatanja o značaju i problemima izučavanja podzemnih voda. No i pored toga još uvijek postoji niz problema iz oblasti podzemnih voda koji se gotovo uopšte ne razmatraju ili se njihovom izučavanju prilazi uproštenim, neadekvatnim i zastarjelim metodama, pa je ovom problemu potrebno pokloniti punu pažnju, koja mu po složenosti, važnosti i aktuelnosti pripada.

Posebnu pažnju treba pokloniti racionalnoj eksploataciji površinskih i podzemnih voda i pritom treba imati na umu i njihovu zaštitu od zagađenja.

U prirodi je sve teže naći čistu vodu za narasle potrebe, jer se sve više iscrpljuju prirodne rezerve, često sa neracionalnom eksploatacijom, a sve veći dio voda se zagađuje, više puta i nepotrebno, i tako onesposobljava za dalju upotrebu. Problem zagađenja površinskih i podzemnih voda je opšti, pa je zato potrebno da svi akteri koji egzistiraju i rade na određenom prostoru imaju to na umu, jer je voda zajedničko dobro svih, neophodna za normalan život i razvoj materijalnog blagostanja.

Proučavanju problematike vezane za podzemne vode se u svijetu postavljaju sve kompleksniji i dalekosežniji zadaci, kako bi se ista mogla koristiti kako za vodosnabdijevanje tako i za potrebe korišćenja njihovih hemijskih i termodinamičkih osobina, a i za druge potrebe. Pritom se sagledavaju ogromni i različiti elementi: geološki, dinamički, hemijski, biološki, zdravstveni, privredni, i strateški, tako da se sve više širi saznanje o složenoj i raznolikoj prirodi pojava i korišćenja podzemnih voda.

Kod nas nijesu u dovoljnoj mjeri sagledane potrebe za vodom na bazi dugoročnog razvoja društva, pa se pitanje vodosnabdijevanja rješava na parče i usitnjeno. Potrebno je imati dugoročne planove razvoja, u kojima bi se sagledale potrebe u vodi sa jedne strane, i raspoloživi resursi sa druge; i na osnovu toga napraviti strategiju korišćenja voda, odnosno preraspodjelu po pojedinim potrošačima. Pored toga za sistematsko praćenje i izučavanje kretanja podzemnih voda u prirodi, kao i njihovog zagađenja, potrebni su obimni i složeni istražni radovi, koji usto traže znatna materijalna sredstva.

Ovi, a i niz drugih elemenata su doveli do toga da zagađenje okoline, pa i vode kao jednog njenog dijela, postaje veliki problem naše civilizacije.

Opasnost zagađenja podzemnih voda je latentna i prijeti sa raznih strana. Pored toga je prisutna činjenica da jedan put zagađene podzemne vode, odnosno podzemni rezervoarski prostor, ostaje dugo vremena van upotrebe, a u nekim slučajevima i stalno (kod radioaktivne kontaminacije).

Da bi se osigurala maksimalno moguća zaštita podzemnih voda potrebno je razvojnim planovima na pripadajućem slivnom području

regulisati odvijanje svih štetnih djelatnosti, koje je u uslovima postojećeg tehnološkog i društveno-ekonomskog razvoja moguće izbjeći i na taj način sačuvati područja od posebnog interesa s obzirom na snabdijevanje naselja pitkom vodom.

Problem očuvanja kvaliteta voda, zaokuplja u velikoj mjeri (negdje manje, negdje više) čitavo čovječanstvo na zemljinoj kugli. Zadržavanje željenog kvaliteta vode za podmirenje potreba čovječanstva, svakim danom postaje sve teže. Prve su na udaru površinske vode, koje su uglavnom recipijenti za otpadne vode naselja, industrije i drugih korisnika, koje se nakon upotrebe, a samim time i degradacije, vraćaju u prirodne tokove.

2. MATEMATIČKI MODEL STRUJANJA VODE U INTERGRANULARNOJ POROZNOJ SREDINI

U prirodnim uslovima, podzemne vode imaju relativno najbolji kvalitet. Međutim, danas su i one sve više izložene zagađivanju, pa je jedan od veoma značajnih zadataka njihova zaštita. U pojedinim oblastima raspolaže se velikim količinama spravne podzemne vode, ali su i one sve više ugrožene štetnim materijama iz naselja i industrije, koji zauzimaju sve veće prostore i čija se zagađenja umnožavaju, kao i poljoprivrede.

Danas se u cijelom svijetu radi na iznalaženju metoda proučavanja prenosa zagađenja podzemne vode i mjera zaštite. Svako izvoriste ima specifične uslove napajanja, oticanja, kao i izvore mogućih zagađivanja, zavisno od geometrijskih, geoloških uslova, i utvrđivanje mjera zaštite zaslužuje posebnu analizu.

Pod matematičkim modelima u hidraulici podrazumijevaju se osnovni zakoni mehanike fluida: održanja mase, količine kretanja, i energije; prilagođeni u ovom slučaju, specifičnim uslovima kretanja vode i prenosa zagađenja kroz porozne sredine. Tu se voda, kreće između zrna koja su raspoređena slučajano, što onemogućava definisanje geometrije granica oblasti strujanja vode kroz pore za bilo kakav realan problem, a samim time i rješavanje jednačina održanja količine kretanja i održanja mase. Zbog toga se ove jednačine moraju prilagoditi takvim granicama strujanja osrednjavanjem po nekoj referentnoj zapremini porozne sredine.

2.1 Osnovne jednačine strujanja vode

Programom doktorske teze je utvrđeno, da će se vršiti modeliranje strujanja podzemnih voda u određenim, konkretnim uslovima: za strujanje sa slobodnom površinom, za koje važi Darsy-ev zakon, nejednakost dubine izdani, nejednakost koeficijenata filtracije K , i koeficijenata vodoprovodnosti T , anizotropija prihranjivanje izdani vodom iz raznih izvorišta: infiltracija od padavina, površinskih rečnih tokova, podinskih slojeva, okolnog karstnog terena, okolnog izdanskog toka i jezera. Proticaj može biti pozitivan, kao doticaj, a može biti negativan, kao oticaj; nestacionarna i kvazistacionarna strujanja.

Za sve ove uslove je vrlo teško modelirati strujanje podzemnih voda, posebno kad je u pitanju nestacionarno i kvazistacionarno strujanje, pa se prišlo pojedinim pojednostavljenjima.

Osnovne jednačine koje su ovde uzete u razmatranje, su: - za slučaj strujanja pod pritiskom:

$$\frac{\partial}{\partial x}(T_X \frac{\partial \Pi}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(T_Y \frac{\partial \Pi}{\partial y}) + w = \frac{\partial \Pi}{\partial t} \quad (1)$$

- za slučaj strujanja sa slobodnom površinom podzemne vode

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial x}(K(x, y)(H(x, y) - B(x, y)) \frac{\partial H(x, y)}{\partial x}) + \\ & \frac{\partial}{\partial y}(K(x, y)(H(x, y) - B(x, y)) \frac{\partial H(x, y)}{\partial y}) = F(x, y) \end{aligned} \quad (2)$$

gdje je: $H(x, y)$ - nivo slobodne površine podzemne vode, $B(x, y)$ - kota podine izdani, K - koeficijent filtracije, H - debljina vodonosnog sloja, $T = K \times H$, w - infiltracija (parametar vertikalnog bilansa), koja je u opštem slučaju promenljiva veličina, $w = w(x, y)$, $F(x, y)$ - funkcija prostorne raspodeljenosti parametra vertikalnog bilansa.

Pojam efektivne poroznosti javlja se u slučaju nestacionarnog strujanja sa slobodnom površinom, gdje postoji pomjeranje granice zasićene i nezasićene zone, bilo u formi napredovanja ili povlačenja granice zasićene i nezasićene (aerisane) zone. Ova granica prati kretanje slobodne površine, ali se sa njom ne poklapa s obzirom na činjenicu što je slobodna površina definisana kao ravan sa atmosferskim pritiskom, a kod izvjesnih strujanja može da postoji i potpuno zasićena zona sa pritiskom manjim od atmosferskog (usled dejstva kapilarnih sila).

Za rješavanje ove jednačine potrebno je poznavati početne uslove, koji se daju u obliku piježometarskih pritisaka; granične uslove, koji se daju u obliku uslova Dirichlet-a : $-\Pi_g(x, y, t)$, ili uslova Neuman - a $[Q_g(x, y, t)]$ gdje je: $\Pi_g(x, y, t)$ - piježometrski nivo na granici oblasti, $Q_g(x, y, t)$ - proticaj na granici oblasti.

U slučajevima, kad se strujanje može smatrati stacionarnim ili kvazistacionarnim, u periodu malih promjena hidrodinamičkih veličina, jednačina (9), se može napisati u sljedećem obliku:

$$\frac{\partial}{\partial x}(T_X \frac{\partial \Pi}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(T_Y \frac{\partial \Pi}{\partial y}) + w = 0 \quad (3)$$

Kod strujanja koje se ovdje razmatra pretpostavlja se da su dimenzije u pravcu x i y mnogo veće nego u vertikalnom pravcu z . Prema tome, ovde je reč o takozvanoj neograničenoj izdani. A to je ona čije je rasprostiranje toliko da se uticaji promena na granicama, u posmatranom domenu njenog rasprostiranja, mogu zanemariti. Posmatra se izdan kod koje se nivo podzemne vode premješta translatorno, paralelno sebi. Nivo vode u izdani ima određeni pad.

Pri tome se pretpostavlja da je za strujanje sa slobodnim površinom zadovoljena hipoteza Dipuijea.

2.2 Problem kakav će se ovdje razmatrati i primijenjene hipoteze

„Istraživanje obuhvata strujanje podzemne vode i transport zagađenja u krupnozrnim, nehomogenim vodonosnim slojevima, sa slobodnim ogledalom i sa složenim konturnim uslovima”.

Ovi uslovi su nepravilan oblik podine kao i veza vodonosnog sloja sa otvorenim vodotocima a mjestimično i sa dubljim slojevima koji su najvećim delom pokriveni hidroizolatorima. Takođe se vodilo računa i o mogućem uticaju lokalne i nfiltracije od padavina. Strujanje vode i pronos zagađenja izučavani su u sljedećim specifičnim uslovima:

- Da je čvrsta faza kroz koju struji voda nehomogena i da se sastoji od: šljunka, pijesaka, pijeska malo šljunkovitog, pjeskovitih šljunkova, sitnozrnih pjeskova djelimično vezanih glinom, i konglomerata nastalog slepljivanjem pjeskova.

- Sloj u kojem se nalazi podzemna voda različite je debljine za pojedine mikrolokalitete, i da je samo djelimično ispunjen vodom. Da iznad vodonosnog sloja nema povlate, to će reći da isti ide do površine

terena. Prema tome, vode od padavina sa površine terena imaju neposrednu mogućnost da prodru u vodonosni sloj.

- Uzelo se u obzir da po površini terena iznad vodonosnog sloja, teče veći broj otvorenih vodnih tokova, formiranih u kvartarnim sedimentima (bočne strane korita izgrađuju konglomerati, a dna pjeskovi i šljunkovi). Prema tome postoje uslovi za cirkulaciju vode na potezu: otvoreni tok - podzemna izdan, u oba smjera, što će se uzeti u račun.

- Podina vodonosnog sloja je talasasta. Razlike u kotama, za pojedine tačke, kreću se na desetine metara. Podinu čine gornjokredni bankoviti krečnjaci i dolomiti, koji su u manjoj mjeri karstifikovani. Time je manje vodopropusna u odnosu na izdansku zonu. Uslovi tečenja vode u podinskom sloju razlikuju se od uslova u modeliranoj izdani, jer je ovdje u pitanju tečenje vode privilegovanim putevima, za razliku od intergranularnog tečenja u proučavanoj izdani.

- Kad je u pitanju izolacija između podinskog i izdanskog toka situacija je dvojaka: na nekim mjestima, u udubljenjima podine postoji izolacioni sloj u vidu sivožučkastih glina, debljine od nekoliko metara; ili ne postoji izolacioni sloj, što je karakteristično za „antiformne” oblike paleorel jefa. Prema tome na nekim mjestima ima uslova za cirkulaciju vode između dva sloja u oba smjera, dočim na drugim lokacijama ne postoje, (što se imalo u vidu prilikom modeliranja).

- Pretpostavljeno je da je okolni teren koji ovičava razmatrani izdanski tok takođe vodonosnik. Situacija je slična kao kod podinskog terena, jer su u pitanju kvartarni sedimenti, najčešće krečnjaci i dolomiti koji su u većoj mjeri karstifikovani, pa su prema tome i vodopropusni. Na kontaktu ovih terena sa izdanskim tokom ne postoji izolacioni materijal, što znači da je prisutna neposredna hidraulička veza, pa voda ide iz jednog u drugi vodonosnik ili obratno u zavisnosti od mikrolokacije, i vremenskog perioda u toku godine.

- Postoje velike visinske razlike (ΔH) pojedinih piježometarskih kota u podužnom smislu, što ima za posljedicu da je prisutan veliki podužni pad (J), koji uz prisustvo velikog koeficijenta vodopropusnosti (K) prouzrokuje veliku brzinu izdanskog toka, jer je, kako je poznato: $V = KJ$. Pošto strujanje vode u ovim specifičnim uslovima zavisi od velikog broja parametara, to dolazi do odstupanja od generalnog pravca toka, u pojedinim vremenskim periodima u toku godine.

- Sa nizvodne strane izdanskog toka nalazi se veliki vodeni bazen-

jezero, koji se ovdje javio, kao granični nizvodni uslov za donji dio izdanskog toka. Nivo jezera oscilira u opsegu od 5 metara, u toku godine.

Kako se iz naprijed napisanog vidi, ovdje razmatrani izdanski tok, je „OTVOREN” u velikoj mjeri. Postoje uslovi za kretanje vode, a samim time i zagađenja, kako u samom izdanskom toku, tako i u neposrednoj okolini, kao i između okoline i izdanskog toka u oba smjera.

Za strujanje važi Darsijev zakon otpora i Dipuijeva pretpostavka o paralelnosti strujnih linija i jednakoj veličini brzina u vertikalama koje predstavljaju izvodnice ekvipotencijalnih površi, van zona napajanja u vertikalnom pravcu.

Veliki francuski inženjer Darsi (Henri Darcy) je na osnovu brojnih eksperimentalnih radova formulisao zakon strujanja fluida u poroznoj sredini u obliku:

$$V = K \cdot J \text{ odnosno } Q = A \cdot K \cdot J \quad (4)$$

gdje je: V - filtraciona (Darsijeva) brzina, koja je izražena odnosom filtracionog proticaja i ukupne površine poprečnog presjeka strujnog toka (skelet i pore) (LT^{-1}), A - površina poprečnog presjeka strujnog toka (L^2), K - koeficijent filtracije (koeficijent proporcionalnosti), (LT^{-1}), J - hidraulički pad gubitka energije (gubitak energije jedinice težine tečnosti na jedinicu dužine strujnog toka) (-). Poremećaj linearnog zakona filtracije nastaje pod uslovima kada Rejnoldsov broj dospije do svoje gornje kritične vrijednosti ($Re = 3$). Ovaj broj se u hidraulici izražava zavisnošću:

$$Re = \frac{RV}{\nu} \quad (5)$$

gdje je: R - hidraulički radijus, jednak je količniku između poprečnog presjeka i okvašenog obima (L), V - srednja brzina toka u datom poprečnom presjeku (LT^{-1}), ν - kinematska viskoznost tečnosti, $\nu = \mu/\rho$, ρ - specifična masa, γ - specifična težina tečnosti, Re - Rejnoldsov broj je bez dimenzija (-).

Primenjujući Darsy-Weisbach-ovu formulu za otpore u laminarnom strujanju $J = \frac{\lambda}{D} \frac{V^2}{2g}$, gdje je $\lambda = \frac{64}{Re}$, i Kozenijevu funkciju za vrijednost K : $K = 8.1 \times 10^{-3} \frac{g}{\nu} \frac{n^3}{(1-n)^2} d^2$ dolazi se do izraza za Rejnoldsov broj u takvom obliku, jednačina (6), gdje ulaze samo veličine mjerene na terenu

$$Re = 0.51 \frac{Kd}{(1-n)\nu} \frac{dP}{dx} \quad (6)$$

gdje je: $f_1(n)$ - zavisnost koeficijenta filtracije (K), od poroznosti (n) ($-$), $f_1(n) = \frac{f^2(n)}{32}$, ν - Darsijeva brzina (LT^{-1}), V - brzina toka (LT^{-1}), koeficijent viskoznosti, d - karakteristični prečnik zrna (L), $D = f_1(n)d$. Izvršena transformacija izraza za Re , dobijena jednačina (6) je urađena u cilju sračunavanja istog preko parametara ($K, d, \frac{dP}{dx}, \nu$) koji su mjerljivi. Samim tim je jednostavnije sračunati Re , i provjeriti da li je u cijelom strujnom polju, ili bar u najvećem dijelu, ostvarena primenljivost Darsijevog zakona otpora.

Na osnovu Darsijevog zakona može se zaključiti da isti opisuje uslove laminarnog strujanja kod kojeg je brzina vode proporcionalna gubitku energije strujnog toka.

Nejednakost dubine toka i koeficijenta filtracije u pojedinim djelovima strujnog polja izražavaju se odgovarajućim vrijednostima transmisivnosti.

Vodopropusna sredina je krupnozrna i u njoj se ne očekuje značajna pojava zadržavanja zagađujućih sastojaka sorpcijom, izmenom jona ili drugim mehanizmima. Koncentracija rastvorenih sastojaka u vodi je dovoljno mala da ne utiče na dinamiku strujanja vode.

2.3 Primijenjeni matematički model strujanja vode

U ovom slučaju, istražuje se prenos mogućih zagađenja podzemne vode sa slobodnim ogledalom u krupnozrnoj sredini slabo zaštićenoj od zagađivanja sa površine terena, sa promjenljivom dubinom toka, usljed valovitog oblika podine kao i sa promjenljivom transmisivnošću, sa napajanjem iz obodnih planinskih masiva, difuzno i na pojedinim izolovanim tačkama, zatim iz vodotoka koji se nalaze u razmatranom području, kao i na pojedinim tačkama iz podine. Pri tome, oticanje se javlja u pojedinim periodima vremena u površinske vode, ali i mjestično putem crpljenja vode za privredne svrhe. Takođe, istražuje se uticaj vještačkih promena konturnih uslova na propagaciju zagađenja u cilju zaštite podzemne vode.

Nestacionarno strujanje podzemne vode sa slobodnom površinom je takvo strujanje kod kojeg se pojedine veličine mijenjaju tokom vremena:

$$\frac{\partial V}{\partial t} \neq 0; \frac{\partial \Pi(x, y, z)}{\partial t} \neq 0 \quad (7)$$

Nestacionarni karakter strujanja javlja se kod podzemnih voda samo usljed promjene na granicama, to će reći da se uslovi na granicama

mijenjaju u toku vremena.

Kod nestacionarnog strujanja sa slobodnom površinom, promjene na granici (spoljna voda) izazivaju i promjenu slobodne površine u toku vremena, dok u unutrašnjosti oblasti strujanja važi Laplasova jednačina.

Da bi se slobodna površina pomjerila potrebno je da se kod njenog napredovanja napune pore zemljišta, a kod njenog povlačenja pore isprazne. Karakteristika sredine koja definiše ovu pojavu naziva se efektivna poroznost, n_e .

Nestacionarna strujanja podzemnih voda dolaze u grupu veoma složenih pojava, za koje praktično ne postoje eksplicitna rješenja. Zato se uvode dopunske očitne pretpostavke, čime se pojednostavljuje model strujanja.

Metoda Dipuija važi kao i kod stacionarnog strujanja, samo za strujanja izdanskih tokova čiji su nagibi slobodne površine relativno mali ($\cos \alpha \cong 1$; $\sin \alpha \cong \operatorname{tg} \alpha$). Tada se može uzeti da su ekvipotencijalne (ekvipijezometarske) površi vertikalne, a brzina konstantna duž svake vertikale, dakle:

$$\frac{\partial \Pi}{\partial z} = 0; \frac{\partial V}{\partial z} = 0 \quad (8)$$

ili $V(x, y)$, to će reći nezavisno od z .

Uslovi od kojih se pošlo pri razvijanju matematičkog modela strujanja podzemne vode su: strujanje sa slobodnom površinom, površinsko strujanje, u pravcu x i y , strujanje u pravcu z se zanemaruje, što sledi iz predhodnog stava, problem se pojednostavljuje kvazistacionarnom analizom, uzimajući u račun pojedine vremenske trenutke u toku godine, napajanje izdani sa vodom (koje može biti pozitivno ili negativno) vrši se iz nekoliko izvora:

a) obodnih planinskih, karstnih masiva; odakle voda dolazi difuzno ili tačkasto,

b) vodotoka, koji teku iznad izdanskog toka, i gde je prisutna neposredna hidraulička veza,

c) atmosferske vode, koje padnu na površinu terena, imaju direktan put u izdanski tok, jer ne postoji povlatni sloj,

d) Ispod izdani egzistira vodeni kolektor, sa drugim uslovima tečenja. Između ova dva sloja, na nekim mjestima postoji glineni izolacioni materijal, dočim na drugim mjestima, zbog odsustva izolacionog materijala postoji neposredna hidraulička veza.

3. MATEMATIČKI MODEL PRONOSA ZAGAĐENJA

3.1 Procesi pronosa zagađenja

Kako je poznato otpadne, zagađene vode zavisno od svog porijekla: higijensko-sanitarne, raznih vrsta industrije, poljoprivrede i druge; sadrže u sebi različite hemijske materije i po pravilu predstavljaju složene rastvore, koji se odlikuju odgovarajućim fizičkim, hemijskim i biološkim svojstvima.

Situaciju još više komplikuje činjenica što je ovo mnogofazni sistem koji pored otpadnih voda u sebi sadrži karakteristike prirodnih voda kao i osobine stijenske mase, čvrste faze kroz koju se kreće prirodna, obično čista voda i zagađena voda. Pored toga, otežavajuća je okolnost što procesi koji se odvijaju u podzemnim vodama, nijesu vidljivi i ne postoji mogućnost njihovog diferenciranja, tj. da im se pojedinačno sagledaju uloga i uticaj svakog od njih. Zbog toga se takvi procesi razmatraju kao skup više procesa koji svojim djelovanjem izazivaju „rasipanje”, razblaženje zagađujućih sastojaka (molekularna difuzija, disperzija) ili „upijanje”, vezivanje za čestice sredine, komponenata koje su zagađena (adsorpcija, jonska izmjena, zadržavanje u slijepim porama, taloženje i drugo). Da bi se uspješno rasvijetlila problematika vezana za zagađenje podzemnih voda potrebno je odrediti: mineraloško-petrografske i fizičko hemijske osobine hidrogeološke sredine, brzinu vode i fluktuaciju brzine na datom lokalitetu, strujnu sliku, prirodni fon zagađenja i njegove promjene pri transportu, lokalnu koncentraciju zagađenja u vodi i tlu, po prostoru i vremenu, koeficijent adsorpcije i jonske izmene pojedinih zagađujućih sastojaka, i dr. Ovdje je dat kratak opis nekih od ovih procesa.

3.2 Procesi rasipanja

3.2.1 Difuzija i disperzija

Difuzija i disperzija su vrlo bitne kod kretanja zagađenja u podzemnim vodama. U slučaju injektiranja nekog zagađenja, u nekoj tački u mirnoj vodi, dolazi do širenja zagađenja oko nje, usled kretanja njegovih molekula. Pri tome je širenje istovjetno u svim pravcima, sve dok se molekuli zagađenja ne rasporede jednolično u okolnom prostoru.

Injektiranjem zagađenja u laminarnom toku dolazi do superponiranja kretanja fluida i kretanja zagađenja prouzrokovanog usljed mole-

kularne difuzije. Održavanje mase zagađenja u tom slučaju se može prikazati sa izrazom:

$$\int_S cu_p \cdot \hat{e}_n dS + \frac{\partial}{\partial t} \int_V cdV = \int_V IdV \quad (9)$$

gdje je: c - veličina koncentracije u tački injektiranja (masa u jedinici zapremine) (ML^{-3}), u_p - brzina čestica zagađenja (LT^{-1}), I - količina materije koja se injektira u jedinici zapremine ($ML^{-3}T^{-1}$), e_n - ort brzine u pravcu strujanja (LT^{-1}).

3.2.2 Postupak određivanja koeficijenta molekularne difuzije i hidrod disperzije

Postoje više načina određivanja koeficijenta molekularne difuzije i hidrod disperzije: - Kod laboratorijskog određivanja parametara, uzimaju se uzorci vodonosne sredine, stijenske mase uzetih iz bušotina ili raskopa. Posmatraju se uzorci, kod kojih nije došlo do degradacije. U laboratorijskim uslovima se na pomenutim uzorcima upušta određeni „zagađivač“, kao traser, i prati se njegovo kretanje kroz masu uzorka. Ovom ispitivanju prethodi određivanje osnovnih hidrodinamičkih parametara vodonosne sredine: granulometrijskog sastava, poroznost i, koeficijenta filtracije, specifične izdašnosti i drugo.

Metode za određivanje koeficijenta hidrod disperzije: metoda proračuna (D) po odvojenim tačkama krive $C = f(t)$, metoda linearizacije krive $C = f(t)$, metoda grafičke zavisnosti $Zt = f(t)$.

Kod terenskog određivanja, vrše se određena ispitivanja na terenu, odnosno na licu mjesta. Obično se u neku bušotinu ili bunar upušta određeni traser i prati njegovo kretanje, odnosno evidentira se vrijeme pojave na okolnim bunarima ili bušotinama.

Kao i kod prethodnog slučaja potrebno je prvo odrediti osnovne parametre izdanskog toka.

Terenske metode: metoda unošenja indikatora u postojeći tok podzemnih voda, metoda nalivanja trasera u bunar, metoda crpljenja vode iz osmatračkog bunara pri unošenju trasera u bunar.

Ova dva koeficijenta se posebno mogu odrediti u laboratorijskim uslovima na uzorcima materijala uzetog sa lica mjesta. Terenskim metodama se određuje zbirni koeficijent, koji se odnosi na istovremeno delovanje molekulske difuzije i hidrod disperzije.

Najefikasnija metoda terenskih ispitivanja traženih parametara, koja do sada ima široku primjenu zbog mogućnosti iznalaženja svih veličina u toku jednog eksperimenta je metoda kratkotrajnog („pakelnog“) ubacivanja indikatora u bušotinu, odnosno bunar, to će reći u podzemni tok.

Prednost ove metode nad svim ostalim terenskim istražnim radovima, ogleda se prije svega u velikoj tačnosti dobijenih parametara zagađenja podzemnih voda, što posebno dolazi do izražaja u naručenim uslovima toka podzemnih voda.

Eksperiment se izvodi tako što se u filterski dio bušotine kratkotrajno ubaci indikator, čije će se nailaženje pratiti na susjednim nizvodnim bušotinama (pijezometrima, bunarima). Pojavljivanje indikatora u osmatračkom bunaru može da se tretira kao pojava zagađenih podzemnih voda, koje su tokom filtracije kroz poroznu sredinu usled procesa „rasipanja“ i „upijanja“ doživjele određene promjene, koje se registruju konstrukcijom dijagrama $C = f(x, t)$.

Pošto su ova istraživanja vrlo skupa i dugotrajna, a u ovom slučaju se nije raspolagalo sa značajnim finansijskim sredstvima, prišlo se sljedećem.

Na osnovu velikog broja rezultata različitih istraživanja o izdankom toku: topografskih, geoloških, klimatoloških, hidroloških, hidrodinamičkih, o kvalitetu voda i drugih moguće je vršiti modeliranje, a samim time i određivanje pomenutih koeficijenata. Kako će se dalje pokazati dobijene vrijednosti zbirnog koeficijenta D su bile sasvim zadovoljavajuće.

3.3 Procesi „upijanja“

Ovdje spadaju: adsorpcija, jonska izmjena, stvaranje površinskih kompleksa, precipitacija, degradacija, zadržavanje u „slijepim porama“, difuzni odvod zagađenja u povlatu i podinu, razblaženje primarnog rastvora i drugo.

3.3.1 Adsorpcija

Dispergovane i koloidne čestice se mehanički zadržavaju u porama pri filtraciji. Ovo je ovdje izraženo i pored velikih dimenzija pora kroz koje voda prolazi. Isto potvrđuje

činjenica da mikroorganizmi budu adsorbovani na relativno kratkom odstojanju ($L = 50$ m). čvrsta faza kao ogroman rešetkasti sistem,

javlja se kao sito za čestice koje su krupnije od otvora pora. Naravno pored mehaničkog zagađenja, ovdje se javlja hemijsko i biološko adsorbovanje. Pored toga, veće frakcije koje su zaustavljene u otvorima prave sitnije sito, koje zadržava još sitnije frakcije. Zadržavanje zagađenja iz tečne faze rezultat je svih procesa, koji su naprijed pomenuti, koji se mogu izraziti empirijskom Freundlich-ovom izotermom ($T = \text{const}$)

$$N = AC^a \quad (10)$$

gdje je: N - koncentracija zagađenja u površinskom sloju čvrste faze (M/M), C - koncentracija zagađenja u tečnoj fazi u (ML^{-3}).

3.3.2 Jonska izmjena

Proces izmjene jona između zagađenih voda i nekih prirodnih minerala sadržanih u vodonosnoj sredini naziva se jonskom izmjenom. Proces jonske izmjene je praktično teško razgraničiti u prirodnim vodama od adsorpcije, i ako se svaki od njih može tačno definisati.

Proces jonske izmjene, u intergranularnoj poroznoj sredini ima izvanredno veliki značaj za uspješno prirodno prečišćavanje zagađenih podzemnih voda. U prirodnim uslovima, kao jonski izmjenjivači javljaju se prirodne zrnaste nerastvorljive čestice, koje su u stanju da bez vidljive promjene rastvorljivosti, izmijene pozitivne i negativne jone s odgovarajućim jonima iz zagađenih podzemnih voda. Tom prilikom se modifikuje jonski sastav zagađenih podzemnih voda, i ako ne dolazi do ukupne promjene ekvivalentne mase jona koje su zagađene podzemne vode sadržavale u početku procesa.

Uspostavljanje prirodnog kontakta između zagađenih podzemnih voda i hidrogeološke sredine, kao izmjenjivača, je često praćeno brzim uspostavljanjem ravnoteže.

3.3.3 Degradacija

Pri kretanju zagađenja u podzemnim vodama u konkretnim uslovima dolazi do degradacije koncentracije zagađenja. Može biti više vrsta degradacije: biološka degradacija zagađenja je posljedica rada mikroorganizama, hemijska degradacija zagađenja je prouzrokovana raznim hemijskim reakcijama koje se dešavaju u podzemnoj vodi i koje dovode do raspadanja ili neutralizacije hemijskih jedinjenja.

Brzina i obim ovih reakcija zavisi od bioloških, odnosno hemijskih uslova u razmatranoj sredini.

Degradacija radioaktivnih sastojaka odigrava se spontano.

3.3.4 Ostali procesi „upijanja”

Ovdje dolaze: gubitak količine zagađenja usljed zadržavanja u „slijepim” porama, difuzni odvod zagađenja u povlatu i podinu, pretakanje zagađenih voda u povlatu i podinu, razblaženje primarnog rastvora, ostale hemijske i biohemijske reakcije (oksidacija - redukcija, taloženje, rastvaranje i td.)

3.4 Osnovne jednačine kretanje zagađenja u vodonosnoj sredini

Kako je naprijed napomenuto, pri kretanju zagađene vode kroz poroznu sredinu mogu da se jave razni procesi: molekularno - difuzni, hidrodispersija, adsorpcija, desorpcija, rastvaranja, izmjena jona, prevođenje u talog, zadržavanje u slijepim porama, prodiranje iz podine i povlate i obratno. Difuzionom toku (Q_α) odgovara težinska brzina prenosa mase, a koja je definisana po zakonu Fick -a.

Uzimajući u obzir predhodno osnovna parcijalna diferencijalna jednačina migracije zagađenja u vodonosnoj sredini ima sljedeći oblik

$$D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - \frac{V \partial C}{\partial x} - \frac{C(\epsilon_1 - \epsilon_2)}{H} = n_0 \frac{\partial C}{\partial t} + w \quad (11)$$

gde su: D - koeficijent opšte hidrodispersije koji obuhvata molekularnu difuziju (D_m) i hidrodinamičku dispersiju D_h (L^2T^{-1}), C - koncentracija komponente koja ulazi u sastav rastvora to jest zagađenih podzemnih voda (ML^{-3}), n_0 - aktivna poroznost (-), ϵ_1, ϵ_2 - brzina priticanja vode kroz podinu i povlatu (LT^{-1}), w - sumarna količina pronosa i gubitaka komponenata koje su nosioci zagađenja u procesu filtracije, ($ML^{-3}T^{-1}$).

3.5 Hipoteze

Kod modeliranja prenosa zagađenja pošlo se od sljedećih pretpostavki: nepostojanja povlatnog sloja, tačkasti izvor zagađenja, prispjeće zagađenja konstantne količine tokom vremena, jednoliko strujanje, odnos H prema L je mali, ($H:L = 1:200$), što se tiče tečenja vode važe postavke u poglavlju 1.4., posmatra se zagađenje kod kojeg nema promene unutar mase zagađenja usled adsorpcije, izmjene jona, razgradnje, desorpcije, degradacije i drugo.

3.6 Primijenjeni matematički model prenosa zagađenja

Kako se vidi iz više tačaka ovog poglavlja (2), kada je u pitanju modeliranje prenosa zagađenja u podzemnim vodama, onda situacija postaje još više složena.

Stvar komplikuju parametri koji karakterišu zagađenja, kao i međusobne interakcije između vode, čvrste faze i zagađenja, o čemu je bilo više riječi u prethodnim tačkama ovog poglavlja, kao i predhodnog.

Modeliranje strujanja podzemne vode, ostaje kao osnovni polazni podatak pri modeliranju transporta zagađenja.

Kretanje zagađenja u podzemnim vodama se ostvaruje u različitim uslovima. Naravno modeliranje se vrši pri naznačenim hidrodinamičkim uslovima (vidi 2.5.), i sljedećim postavkama, vezanim za zagađenje: što se tiče strujanja podzemne vode, važe navedene postavke u poglavlju 1, kao traser se odabira natrijum (Na), infiltracija zagađenja se realizuje u tački (tačkasto zagađenje), infiltriranje se dešava u toku vremena sa konstantnom koncentracijom, određuje se koeficijent hidrodisperzije niz strujnicu D_1 , i koeficijent hidrodisperzije upravno na strujnicu D_2 .

4. NUMERIČKO RJEŠENJE STRUJANJA PODZEMNIH VODA

Metoda konačnih priraštaja predstavlja jednu od metoda numeričke integracije za rješenje problema iz oblasti strujanja podzemne vode, odnosno za rješavanje parcijalne diferencijalne jednačine (12), 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 ($\partial x \cong \Delta x$, $\partial y \cong \Delta y$, $\partial t \cong \Delta t$, itd.).

Jednačina strujanja podzemne vode (10), za opšti slučaj, se može napisati i u obliku:

$$\frac{T_X}{\partial x} \frac{\partial \Pi}{\partial x} + T_X \frac{\partial^2 \Pi}{\partial x^2} + \frac{T_Y}{\partial y} \frac{\partial \Pi}{\partial y} + T_Y \frac{\partial^2 \Pi}{\partial y^2} + w = 0 \quad (12)$$

Za slučaj strujanja podzemne vode sa slobodnim ogledalom jednačina (12) dobija oblik:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(T_X \frac{\partial \Pi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T_Y \frac{\partial \Pi}{\partial y} \right) + w = 0 \quad (13)$$

U cilju rješavanja postavljenog zadatka - problema, definisanja zakonitosti kretanja vode u poroznim sredinama sa slobodnom površinom koristi se metoda konačnih zapremina, sa korišćenjem programa „IZDAN” i „AKVIS”, razvijenim na Institutu za hidrotehniku Građevinskog fakulteta u Beogradu.

U programima figurišu sljedeći ulazni podaci: broj polja po X i Y koordinatama kojima je izvršena podjela istraživanog područja, koeficijent filtracije, k ote podine, pijeziometričke kote, proticaji, veličina polja, kodiranje polja, koeficijent nadrelaksacije, tačnost proračuna, broj iteracija, broj polja u kojem se traži pijeziometrički nivoi i koordinate (x, y) polja u kojem se traži pijeziometrički nivo. Područje se dijeli u pravcu x na N redova, a u pravcu y na M kolona. Dimenzije polja su $(x = y = L)$.

U cilju tariranja modela uzimaju se početni i granični uslovi: konture, K -koeficijent vodoprovodnosti, $P(x, y)$ za prvi i posljednji red, $Q(x, y)$ za kvadrate za koje postoje proticaji, posebno za konturna polja, polja preko kojih prelaze vodotoci, polja gdje postoji hidraulička veza između podine i akvifera. Provjera dobivenih rezultata vrši se preko nivoa vode $H(x, y)$, koji se evidentira mjerenjem u pijeziometri- ma na razmatranom području.

Podaci koji služe kao osnov treba da se slože u posebnu datoteku „fort 1” Za crtanje sračunatog koristi se AutoCAD 12. softverski paket firme Autodesk, Inc.

Svi podaci koji ulaze u proračun, imaju svog uticaja na rezultate proračuna. Pri tom je uticaj pojedinih podataka različit.

Promjene vrijednosti za pijeziometričke kote u prvom i posljednjem redu imaju bitnog odraza u drugom i pretposljednem redu, a dočim na ostale manje.

Male promjene proticaja, koje mogu biti pozitivne ili negativne, po konturnim i ostalim poljima imaju za posljedicu da dolazi do znatnih promjena sračunatih kota nivoa vode u neposrednoj blizini mjesta ulaska odnosno izlaska vode, da bi se na većim udaljenostima ovaj uticaj bitno smanjio.

Svaka promjena vrijednosti koeficijenta vodoprovodnosti T , ima svog bitnog uticaja na čitavom prostoru koji je obuhvaćen proračunom. Prema tome i male promjene T -a su značajne na rezultate sračunatih veličina.

Vrijednosti koeficijenta T su prethodno sračunate za svaku kocku

računskog polja, i za svaki nivo podzemne vode za koji je sproveden proračun, po poznatoj formuli ($T = K \times H$).

5. NUMERIČKO RJEŠENJE PRONOSA ZAGAĐENJA U INTERGRANULARNOJ POROZNOJ SREDINI

Mogućnost analitičkih metoda proračuna prenosa zagađenja je znatno ograničena, pa se pri rješavanju mnogih inženjerskih zadataka pribjegava korišćenju numeričkih metoda proračuna. Racionalnu metodu numeričkog modeliranja potrebno je razraditi na primjeni različitih tipova zagađenja, nastojeći da se pri tome iscrpno uzmu u obzir specifičnosti odvijanja fizike modeliranog procesa.

Velikom problemom numeričkog modeliranja transporta zagađenja, se javlja prostorno - vremenska diskretizacija. Pri prostornoj diskretizaciji izučavane oblasti se najčešće upotrebljavaju metoda konačnih razlika i metoda konačnih elemenata.

Jednačina koja definiše problem linijske disperzije duž strujnice (11) u praktičnoj primjeni se mora rješavati numeričkim metodama. Numeričko rješavanje se zasniva na metodi etapnog rješavanja i to: na bazi metode karakteristika za rješavanje konvektivnog člana i na bazi metode konačnih razlika za rješavanje disperzionog člana.

Pri tome u zavisnosti od odnosa parametara jednačine (srednja brzina, koeficijent disperzije) i parametara numeričkog modela (prirastaji po putu i vremenu) većina standardnih numeričkih šema generališu više ili manje oscilatorna rješenja u zoni fronta koncentracije, što se može izbjeći samo po cijenu tzv. numeričke difuzije, to jest rješenja koja odgovaraju često i za red veličine većim koeficijentima disperzije od onih sa kojima je računato.

Zbog toga je kao što su ispitivanja posljednjih godina i pokazala, neophodno primijeniti rješenja bazirana na metodi karakteristika. Jedna od najpoznatijih numeričkih šema ove vrste, je šema Holm-Preismanna. U radu su korišćene teorijske osnove ove šeme uz jedno poboljšanje kojim se, za razliku od originalne šeme, postižu stabilna rješenja nezavisno od veličine koeficijenta disperzije, odnosno koja bezuslovno eliminišu i numeričke oscilacije i numeričku disperziju.

Korišćena modifikovana verzija postupka sastoji se u tome da se izabere takva podjela duž strujnice, da vrijeme putovanja duž jednog elementa strujnice sa prosječnom brzinom za taj element bude jednaka za sve elemente strujnice, pri čemu se uzima da je brzina duž jednog

elementa strujnice jednaka i da iznosi:

$$u_i = \frac{u_{i-1} + u_{i+1}}{2} \quad (14)$$

a dužina elementarne strujnice

$$\Delta x_i = \frac{u_i + u_{i+1}}{2} \Delta t_i \quad (15)$$

Radi navedenih problema (numerička disperzija i difuzija), kod numeričkog rješavanja se razmatraju samo bezuslovno stabilne, implicitne šeme iz kojih se u zavisnosti od vrijednosti parametara m, ϵ, θ , može izdvojiti niz specijalnih slučajeva. Kada se jednačina (11) svede na sistem linearnih jednačina po nepoznatim i napiše za svaki element duž strujnice, onda sistem linearnih algebarskih jednačina može riješiti, kako je naprijed dato.

Rješavanje parcijalne diferencijalne jednačine (11) transporta zagađenja je vezano sa velikim poteškoćama. Kao i svaka diferencijalna jednačina i ova ima beskonačno rješenja, pa određivanje promjene koncentracije zagađenja $C(x, t)$, 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.

Kada se jednačine (11) svede na sistem linearnih jednačina po nepoznatim i napiše se za svaki element duž strujnice, onda se sistem linearnih algebarskih jednačina sa tridijagonalnom matricom koeficijentata sistema po nepoznatim jednostavno rješava primjenom sopstvenog PROGRAMA "1":

U PROGRAM "1", figurišu sljedeći ulazni podaci: broj elementarnih dužina, rastojanje tačaka od izvora zagađenja, efektivna brzina toka podzemne vode, geometrijski koeficijent disperzije, vremenski korak, broj vremenskih koraka, broj podataka s kojim je zadat ulazni polutogram, vremena i odgovarajuće koncentracije ulaznog polutograma, nivo vode, a u rezultatu se dobije raspored koncentracija u svakoj zadatoj tački od izvora zagađenja.

U cilju rješavanja postavljenog zadatka s obzirom na raspoložive podloge ovdje se moralo poći inverznim putem. Obzirom da su poznati: položaj bunara, geometrija; izmjerena koncentracija, išlo se ka izračunavanju D_x, D_y .

Analiza - određivanje vrednosti D_x - rađena je za dva stanja: minimalni nivo podzemnih i rečnih voda H_{min} i maksimalni nivo H_{max} .

Kao i kod numeričkog modela ustaljenog kretanja vode i ovdje je cilj da se etaloniranjem modela prenosa zagađivača utvrdi sposobnost modela da reprodukuje izmjerene i sračunate vrijednosti. U procesu etaloniranja modela za zadati ulazni polutogram se mijenja koeficijent geometrijske disperzije ($\alpha = D/u$) sa ciljem da se postigne zadovoljavajuće slaganje mjerenih i sračunatih koncentracije indikatora.

Obzirom da je koeficijent opšte disperzije određen na osnovu istraživanja na licu mjesta i da na eksperimentalnom poligonu prirodni fon „zagađenja” je neuporedivo manji ($C_0 = 4 \text{ mg/l}$), pristupilo se na bazi pretpostavljenog ulaznog polutograma, simulaciji prenosa zagađenja. Relativno visoka vrijednost ulazne koncentracije ($C_1 = 400 \text{ mg/l}$) olakšala je određivanje prenosa zagađenja duž strujnice.

Simulacija pronosa zagađivača je konceptirana tako da se u funkciji koeficijenta filtracije, efektivnih brzina toka podzemnih voda i koeficijenta disperzije donesu određeni zaključci o prenosu zagađenja na određenoj lokaciji, i na osnovu toga preduzmu mjere zaštite.

Transport zagađenja je ovdje modeliran na taj način što je uzeta u obzir grupa bunara (30), koji se nalaze nizvodno od bunara B-1, u kojem je Na, u koncentraciji od $C = 400 \text{ mg/l}$. Koncentracija se u početnom bunaru mijenja-povećava tokom vremena, za posmatrani vremenski period od 1979 -1990. god., da bi dostigla gornju datu vrijednost. Bunari imaju svoje koordinate u odnosu na početni $B - 1(x, y)$ u Dekartovom koordinatnom sistemu, gdje je koordinata x u pravcu strujnice, a kordinata y u pravcu upravnom na strujnicu.

Pomoću elemenata-podataka koji karakterišu izdanski tok, u prvom redu poroznosti i brzine vode koje su sračunate u predhodnom poglavlju, a na osnovu jednačine (10), prišlo se računanju koeficijenta podužne hidrodinamičke disperzije (D_x). Na osnovu izračunatih vrijednosti D_x , za svaki bunar, kao i ostalih parametara, moguće je sračunati vrijednosti, očekivane koncentracije $C(x, y, t)$, za pojedine tačke bunare $B - n$ ($n = 30$).

Vrijednosti D_x rastu sa povećanjem odstojanja, od početnog bunara, kao i sa povećanjem nivoa vode u izdanskom toku.

Svaka promjena ulaznog elementa ima svog odraza na sračunatu koncentraciju C_n , za pojedinu tačku, odnosno bunar koji ima svoje

kordinate x i y u odnosu na početni bunar u koji se unosi traser sa početnom koncentracijom C_0 . Najveći uticaj pritom imaju promjene lokalne brzine V_x, V_y , kao i veličina početne koncentracije C_0 , dok ostali elementi koji su naprijed dati imaju manjeg odraza na sračunatu koncentraciju C .

Da bi se računanje moglo izvršiti na računskim mašinama kompjuterima, urađen je poseban PROGRAM"1". Pored programa "1", korišćeni su pojedini paketi univerzalnog programa PC-MATLAB, koji se inače koristi u velikoj mjeri na Univerzitetu Crne Gore u Podgorici .

6. TARIRANJE MATEMATIČKOG MODELA STRUJANJA PODZEMNE VODE I PRONOSA ZAGAĐENJA

Tariranje matematičkih modela strujanja podzemnih voda i PRONOSA zagađenja sprovedno je na primjeru strujanja podzemnih voda na Čemovskom polju i pronosjenju zagađenja u oblasti deponije crvenog mulja KAP-a. Za ovo se raspolagalo velikim brojem osmatranja hidroloških veličina i kvaliteta podzemne vode u okolini deponije crvenog mulja, u dužim vremenskim intervalima. Takođe se raspolaze velikim brojem geoloških profila izvedenih bušotina, oko 500. U bunarima je izvršeno probno crpljenje (50), na osnovu čega su određeni koeficijenti filtracije.

Iz prethodnog izlaganja (poglavlje 2) se može zaključiti da za praktičnu primjenu matematičkih modela u hidraulici podzemnih voda, samo poznavanje postupka kojim se dolazi do rješenja modela nije dovoljno jer prije toga treba odrediti parametre koji ulaze u model. Rijetki su primjeri u kojima korisnik može da se osloni na prethodno iskustvo (na primjer: tabele sa koeficijentima filtracije). Zbog toga se parametri modela po pravilu određuju (identifikuju) indirektnim (inverznim) postupkom koji se naziva etaloniranje (kalibracija, tariranje) modela. Isto podrazumijeva mjerenje na terenu, na cijeloj izučavanoj oblasti: pijezometrijskih kota, proticaja, koeficijentata filtracije, koncentracije zagađenja i drugo; tako da se na osnovu izmjerenih veličina mogu odrediti one vrijednosti parametara koje treba unijeti u jednačine modela.

Međutim ovim se problem u potpunosti ne rješava jer se model ne primjenjuje za uslove pri kojima su izvršena mjerenja (tada bi mjerenja bila dovoljna i bez modela), već se ekstrapoluje za uslove koji će tek

nastupiti kao na primjer: povećanom koncentracijom zagađenja, dodatnom infiltracijom vode i dr. Ocjena primjenljivosti parametara određenih etaloniranjem u novim uslovima zavisi od niza faktora od kojih je najvažniji razumijevanje primijenjenog matematičkog modela. To znači, da postupak kojim se od osnovnih jednačina dolazi do jednačina modela, korisniku bude potpuno jasan.

U cilju provjere i prikaza postupka primjene naprijed određenih modela strujanja podzemnih voda u intergranularnoj sredini i transporta zagađenja (vidi poglavlja 1,2) izvršiće se u daljem tekstu njihovo etaloniranje, kalibracija i tariranje. Pritom se radi o konkretnom izdanskome toku koji egzistira u prirodi i čije će se specifičnosti, i karakteristike dati u nastavku.

Kako je zaštita izvorišta, uopšte uzev, glavni cilj svake hidrodinamičke analize i analize prenosa zagađenja, rad obuhvata i razmatranje mogućih mjera zaštite jednog dijela ove izdani, kao prikaz mogućnosti korišćenja naprijed prikazanih teorijskih razmatranja na rješavanje konkretnih problema.

6.1 Karakteristike posmatrane izdani

6.1.1 Geografski položaj

Izdan, koja je ovdje poslužila kao primjer za provjeru matematičkih modela, obuhvata značajno ravno područje, koje se nalazi od Zlatice sjeverno od Podgorice, pa do Skadarskog jezera. Ovdje je u prvom redu obuhvaćeno Čemovsko polje, sa obodnim manjim poljima: (Zagoričko, Dinoško, Tološko, Lješkopolje i dr.). Treba napomenuti da je izdanski tok na ovom prostoru neprekidan.

Razmatrana izdan je ograničena:

- Sa sjevera: obuhvativši područje Zagoriča, rijekom Moračom, od ušća Zete do Vezirova mosta, podnožjem Malog i Veljeg brda, obuhvatajući područja naselja: Momišiće, Vranići i Tološe.

- Sa zapada: brdima Zelenika, Mihinja, Farmačkom stranom, Stojanovom gredom, Miranglavicom; obuhvatajućipritom naselja: Beri, Farmaci, Lekići, Botun i Grbavce.

- Sa istoka: obroncima Kakaricke gore, čime je obuhvaćeno Doljansko polje i naselja: Masline, Konik, Omer-božovići, Dinoši; obroncima Dečića, obuhvatajući naselja: Mileši, Tuzi i Vuksanlekiće.

- Sa juga: izdanski tok je analiziran do pravca Vuksanlekići - Grbav-

ci. Ovo iz razloga što dalje nije bilo interesantno ići: (jednostavni-ja strujna slika, veliki procenat površina pod poljoprivrednom proizvodnjom, ispod kojih je neizostavno štititi podzemne vode).

Posebno je obrađeno područje koje zahvata prostor KAP -a (Kombinat aluminijuma Podgorica) i nizvodno od njega, u cilju provjere valjanosti modela transporta zagađenja.

Površina razmatranog područja iznosi $P = 158 \text{ km}^2$. Teren ovog područja, izuzimajući pojedina usamljena brda je uglavnom ravan i u blagom nagibu od sjevera prema jugu. Oblik i veličina razmatranog područja može se vidjeti na datim situacijama.

6.1.2 Hidrološke odlike terena

Preko obrađivanog područja teče veći broj rijeka: Morača, Zeta, Ribnica, Cijevna, Lješkopoljski kanal, Trešenica, i Matica, koja nastavlja kao Sitnica. Morača, kao glavni vodotok, skuplja vode svojih pritoka, i iste odvodi u Skadarsko jezero. Morača i Sitnica teku po uzdužnoj osi polja u pravcu sjever -jug, a Cijevna i Ribnica ga sijeku poprečno pravcem sjeveroistok- jugozapad. Morača kao glavni vodotok na ovom prostoru ($Q_{sr} = 202 \text{ m}^3/\text{s}$) ima najveći uticaj na kretanje vode u obrađivanoj izdani.

Na ovom području postoje dvije vodomjerne stanice Podgorica i Botun, a samim time i podaci o osmatranju nivoa vode (H) i proticaja (Q). Morača i njene pritoke imaju karakteristike vodotoka koji se formiraju na karstu, što će reći sa velikim oscilacijama vodostaja odnosno proticaja u toku godine. Zimi i ljeti, sve pritoke, u jednom vremenskom periodu presušuju, a i sama Morača spadne na $Q = 10 \text{ m}^3/\text{s}$, a pri ušću se prosto gubi u šljunku. Na osnovu raspoloživih hidrometrijskih podataka: H. S. Podgorica $Q_{sr} = 170 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{max} = 1800 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{min} = 8,3 \text{ m}^3/\text{s}$, H. S. Botun: $Q_{sr} = 169 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{max} = 2100 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{min} = 7,8 \text{ m}^3/\text{s}$. U toku godine uticaj rijeke Morače je različit. U jednom periodu prihranjuje izdan, pri niskim vodostajima u izdani; dok pri visokim vodostajima, odnosno proticajima drenira. Ova fenomen je uzet u obzir prilikom proračuna bilansa voda.

Zeta kao najveća pritoka Morače, čak sa većim proticajem prije njihovog sastava ($Q_{M.sr} = 67,1 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{Z.sr} = 99,6 \text{ m}^3/\text{s}$), se javlja samo na manjem gornjem, sjevernom dijelu razmatranog područja. Samim time njen uticaj je osjetan samo na tom dijelu područja (Zagorič). Neizostavno je strana što rijeka Zeta spira zagađenje sa područja SO

Nikšić i SO Danilovgrad, i donosi ga u rijeku Moraču, a samim time jednim dijelom i u podzemnu izdan.

Sa južne i jugozapadne strane Kakaricke gore postoji niz izvora koji se zovu Ribnička vrela, čije vode čine rijeku Ribnicu, koja se uliva u Moraču kod Nemanjića grada. Ove izvore su na površinu izbacili bituminozni krečnjaci i dolomiti nižih horizonata donje krede. Ovi izvori su po svojoj izdašnosti jako varijabilni, a preko ljeta presuše. Ribnička vrela u maksimumu daju oko $Q_{max} = 50,00 \text{ m}^3/\text{s}$. Vode u velikom obimu poniru u samom koritu i na neki način vrlo brzo dospijevaju u podzemnu izdan. Dužina toka Ribnice je oko 2,0 km.

Rijeka Cijevna izvire na području Prokletija u NR Albaniji. Nakon ulaska u našu zemlju teče kao planinska rijeka kanjonskom dolinom, na kom potezu je stalan tok do Trgaja. Nizvodno dalje do njenog uliva u Moraču, Cijevna je povremeni tok. Nakon ulaska u Čemovsko polje korito joj je usješeno u čvrstim konglomera tima. Na izlazu iz kanjona vidni su ponori u krečnjacima na obodu polja. Cijevna u znatnom obimu gubi vodu, na kratkom potezu nakon njenog ulaska u polje (ravan teren), koji u donjem dijelu presušuje i po 6 mjeseci. Drugi dio te vode izbija na izvoru Ribnice- Ribnička vrela. Da bi treći dio od ove vode izbio na izvoru rijeke Rujele. Ove pojave su utvrđene bojenjima na licu mjesta.

Na Cijevni postoji samo jedna stalna vodomjerna stanica „Trgaj”. $Q_{sr} = 26,00 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{max} = 434 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{min} = 0,8 \text{ m}^3/\text{s}$. Pored toga postoje podaci o izvršenim povremenim mjerenjima vodostaja, odnosno proticaja, na profilima: Rakića kuće i Mahala (ušće).

Na sjeverozapadnom obodu posmatranog područja javljaju se značajni izvori Mareze, na kontaktu limnoglacialnih sedimenata Lješko-poljskog luga na jugozapadu i gornjokrednih krečnjaka Veljeg brda na sjeveroistoku. Ima ih 29, poređanih u nizu dužine oko 2,00km. Izdašnost im se kreće od $Q_{min} = 2,00 \text{ m}^3/\text{s}$, do $Q_{max} = 10,00 \text{ m}^3/\text{s}$, a srednje vode se kreću oko $Q_{sr} = 6,00 \text{ m}^3/\text{s}$. Do sada nije pouzdano utvrđeno slivno područje sa kojeg voda gravitira ovom izvorištu. Ali se može kons tatovati da je ono značajno po površini i dosta udaljeno, obzirom na male oscilacije proticaja. Dio voda ovog izvorišta je zahvaćen za potrebe vodosnabdijevanja gradskog područja Podgorice $Q = 550 \text{ l/s}$, a ide se na to da se ova količina poveća na $Q = 800 \text{ l/s}$. Dio voda ovih izvora je zahvaćen ($Q = 2,00 \text{ m}^3/\text{s}$) i betonskim kanalom (Lješko-

poljski kanal) odveden direktno u Moraču. Preostale prelivne vode, idu rijekom Trešenicom, i ulivaju se u Maticu, u istu se ulivaju.

Počev od Donjeg Zagarča pa dalje na jugoistok ispod Komana preko Čafe do Bera postoji čitav niz vrela kao što su: Vučji studenac, čista jama, Pogana jama i drugi. Od voda koje izvire na ovim izvorima formira se vodotok Matica. Na vodotoku ne postoji ni jedna stalna vodomjerna stanica, već su vršena samo povremena mjerenja vodostaja i proticaja na profilima Komanski most i ušće Sitnice u Moraču. Vode Matice poniru u ponorskoj zoni „Matičko oko”, teku kroz karst koji se nalazi po obodu akvifera, da bi se ponovo javile u vidu izvora: Golač, Lisica, Šutinska jama i drugi. Ovi izvori u maksimumu daju po nekoliko m^3/sec . Od izvora Golač formira se Golački potok, koji se uliva u Sitnicu.

Prema tome, kroz karstne terene sa zapadne strane akifera postoji podzemni tok znatnog kapaciteta ($Q = 5,0 - 10,00 \text{ m}^3/\text{s}$). U periodu velikih kiša, kada karsni tok ne može da prihvati nadošlu vodu dolazi do njenog preliivanja u pravcu akvifera. Kao posljedica ove pojave, oscilacije nivoa vode na osmatranim pijezometrima po obodu polja su znatne (6,00 - 8,00 m).

Treba napomenuti da ovaj tok kroz karst u izvjesnom vremenskom periodu hrani sa vodom izdanski tok, kada se i javljaju prelivni izvori, dočim u drugim vremenskim periodima u toku godine se javlja kao drijen.

Slična je situacija i sa istočne strane izdanskog toka. Dio voda Cijevne, koje poniru u području Trgaja, kao i vode koje se slivaju sa ogranaka Prokletija, teku kroz karstni teren po obodu polja. Kao posljedica toga imamo pojavu povremenog izvora Krevenica i stalnog izvora Vitoja. Mehanizam strujanja ovih voda je sličan kao na zapadnom obodu.

Zona Skadarskog jezera sa sjeverne strane obiluje sa mnoštvom prirodnih tokova, koji na kratkom potezu teku od sjevera na jug i ulivaju se u jezero. Važniji od njih idući od zapada prema istoku su: Plavnička rijeka, Zetica, Gostiljska rijeka, Pijavnik, Svijenač, Mala mrka, Velika mrka, Zbelj i Urjela. Sem Urjele koja izvire u području Milješa, sve ove rječice imaju svoje izvorne čelenke u samom izdanskom toku. To će reći da dobijaju vodu iz izdanskog toka proceđivanjem. Ukupna njihova izdašnost se kreće od $Q_{min} = 1,00 \text{ m}^3/\text{s}$ do Q_{max}

$=10,00 \text{ m}^3/\text{s}$. Svi podaci koji se odnose na površinske vode uzeti su iz fondovske dokumentacije Republičkog hidrometeorološkog zavoda Crne Gore, kao i obrade koje su izvršene od strane RHMZ-a. Hidrološki podaci koji su ovde dati odnose se na osnovu mjerenja, kao i obrade istih: prije, za vrijeme i posle perioda za koji su vršeni proračuni strujanja podzemne vode i transport zagađenja.

6.3 Postupak tariranja modela strujanja vode

Na osnovu obimne građe, odnosno rezultata sprovedenih istražnih radova izvršena je provera matematičkog modela strujanja vode i prognošenja zagađenja u poroznoj sredini.

Prvi problem na koji se naišlo sastojao se u tome da se sakupe rezultati istražnih radova, jer su se podaci o istim nalazili kod većeg broja institucija i pojedinaca. Iako su izvedeni istražni radovi bili veoma obimni, obzirom da nijesu rađeni za ovu namjenu, nego za različite druge potrebe, podaci nijesu bili sistematizovani odnosno sređeni. Zato je uložan veliki napor da se reintepretiraju i sistematizuju za ovu namjenu. U čemu se u velikoj mjeri i uspjelo.

Kao polazno, na osnovu raspoloživih geodetskih karata, definisana je kontura izdanskog toka na kojem će biti vršena provjera matematskih modela.

Na terenu je izvršen veliki broj geoloških bušotina (500). Sa istih se vidi da su bušotine prošle kroz vodonosni sloj i zašle u podinu. Na osnovu njih se definisao vodonosni sloj u visinskom pogledu, i uradila situacija kota hidrauličke podine.

Vodonosni sloj, u vertikalnom pravcu ide od podine do površine terena, stin što nije u potpunosti ispunjen vodom. Prema tome je definisana njegova geometrija kao jedna od najbitnijih njegovih karakteristika.

U elaboratima za bušotine koji su brojni postoje granulometrijske krive za uzorke sa određenih visina, i podaci o poroznostima, koje su znatne, za iste uzorke, i koji su određeni laboratorijskim putem.

Na ovom prostoru je izgrađeno oko 50 cijevnih bunara. Nakon toga vršeno je probno crpljenje. Na osnovu čega su određene karakteristike vodonosnog sloja na mikrolokacijama bunara; pored ostalih, koeficijent filtracije K i koeficijent vodoprovodnosti T . Pritom je korišćena metoda $S = f(\log t)$, za određivanje koeficijenta filtracije K .

Obzirom na položaj pojedinih bunara, kao i dobijenih vrijednosti

koeficijenta filtracije, definisao se koeficijent K za svako računsko polje, u kojem se bunar nalazi.

Kada su na osnovu jednačine 13. sračunate vrijednosti Reynoldsovog broja Re , uzimajući u obzir karakteristike ovog izdanskog toka, što je urađeno za 50 tačaka računskog polja, dobiveni su rezultati, da je uvek $Re < 3$, to će reći da je u pitanju laminarno tečenje vode. Samim time je moguće na ovom izdanskom toku proveriti urađene modele sa naprijed datim pretpostavkama.

Na osnovu prethodnog je vršen proračun ekvipotencijalnih linija. Proračuni su vršeni za određeni datum, za koji postoje podaci o osmatranju nivoa vode. Na osnovu proračuna su dobijeni rezultati za pojedina polja. Na osnovu podataka o osmatranju nivoa vode u piježometrima moguće je bilo izvršiti provjeru sračunatih vrijednosti, što je i urađeno za svaki konkretni slušaj i za određeni datum.

Prorašuni su vršeni za H_{min} , H_{max} , H_{sr} , i za neke druge datume, čije se vrijednosti nivoa vode nalaze na polovini između navedenih.

Na osnovu ulaznih podataka, sračunate su kote nivoa vode za svako računsko polje, za pojedine slučajeve. Za polja na kojima postoje piježometri izvršena je kontrola dobijenih rezultata. Za računsko polje koja se nalaze unutar izdanskog toka postoji veliko slaganje sračunatih i izmjerenih vrijednosti nivoa vode. Za polja koja se nalaze na periferiji računatog područja, i kod kojih je debljina vodonosnog sloja manja, postoje nešto veća odstupanja, što dolazi od naglih promena dotoka vode iz karsta.

Sračunate vrijednosti nivoa podzemne vode se u velikoj mjeri slažu sa izmjerenim vrijednostima u istim računskim kvadratima. Odstupanja se kreću ± 0.30 m, dočim na nekim računskim kvadratima po obodu računskog polja odstupanja kreću i do ± 1.50 m. Povoljna je okolnost što je broj ovih polja mali (4), nalaze se na periferiji računskog poligona i idući ka unutrašnjosti istog ova odstupanja iščezavaju. Navedena odstupanja su posljedica prisustva moćnog karstnog toka u neposrednoj blizini, koji ima sasvim drugačiji režim od toka podzemnih voda.

Na osnovu naprijed izloženog, može se konstatovati, da je ovdje urađeni model strujanja podzemne vode ispravan, da može da služi svojoj namjeni, proračunu strujanja podzemnih voda.

6.4 Tariranje modela prenosa zagađenja

Laboratorijska obrada uzoraka voda se odnosila na definisanje fizi-

čkih, hemijskih i bakterioloških parametara kvaliteta. Fizičko-hemijske analize obuhvatile su određivanje: temperaturu re vode, ukusa, boje, mutnoće, pH - vrijednosti, elektroprovodljivosti, ugljendioksida, rastvorenog kiseonika, ukupne karbonatne i nekarbonatne tvrdoće, kalcijuma, kalijuma, magnezijuma, hlorida, sulfata, natrijuma, fluorida, fosfata, slobodnog i albuminoidnog amonijaka, nitrita, nitrata, suspendovane materije, željeza, cinka, silicijuma, bakra, hroma, kadijuma, žive, aluminijuma, cijanida, olova, mangana, utroška $KMnO_4$, deterdženata, fenola, mineralnih ulja, ukupnih ulja i masti, arsena i drugih parametara.

Bakteriološke analize su obuhvatile sljedeće parametre: ukupan broj heterotrofnih bakterija (psihrofilne i mezofilne), ukupan broj koliformnih bakterija, prisustvo koliformnih bakterija fekalnog karaktera, ostale indikatore fekalnog onečišćenja (*Streptococcus faecalis*, *Proteus sp.*, *Pseudomonas aeruginosa* i *Clostridium sp.*).

Ovdje su za proučavanje transporta zagađenja naročito korišćeni rezultati analiza na natrijum (Na), koji je karakterističan za industriju aluminijuma, kao traser, prilikom provjere numeričkog rješenja jednačina kretanja zagađenja. Naravno da se pored nađene koncentracije C za pojedini bunar, uzet u obzir položaj, kordinate (x, y, z) za pojedine bunare, koje su dobivene geodetskim snimanjem na terenu to će reći na licu mjesta. Brzine kretanja vode (V_x, V_y) su uzete, kao polazni podaci, iz prethodnog proračuna strujanja podzemnih voda, pri čemu su uzete u račun stvarne brzine vode. Pored toga su uzeti podaci o granulometrijskom sastavu (d_k) poroznost (n) i dr.

Prema tome u svim proračunima su se u najvećoj mogućoj mjeri koristili egzaktni podaci koji su dobijeni sa lica mjesta i isti su karakteristični za posmatranu izdan.

Provjera, tariranje modela transporta zagađenja je sprovedeno na osnovu parametra izdanskog toka, koji je ovdje uzet kao opitni poligon.

Kako se vidi, zagađenje nakon svog prispjeća u podzemnu vodu prilikom prenosa kroz vodonosnu sredinu, podliježe određenim promjenama, pa je jedan od osnovnih zadataka koji se u ovoj vrsti istraživanja postavlja, upravo kvantitativno sagledavanje tih promjena.

S jedne strane promjene su izazvane procesima koji dovode do disperzije zagađujuće materije, odnosno procesa „rasipanja”, dok drugi procesi „upijanja” dovode do izmjene zagađujuće materije između

tečne i čvrste faze. U slučaju KAP-a, tj. Na jona, i krupnozrne sredine, primaran je proces rasipanja.

Krajni cilj ovakvih promjena je „samoprečišćavanje” ukoliko je postignuta ravnoteža između procesa transformacije kvaliteta voda i intenziteta zagađenja, odnosno ako nije došlo do intenzivnog i neprekidnog zagađivanja pri čemu se hidrogeološka sredina dovodi do iscrpljenja. Prema tome, za neki izdanski tok potrebno je sračunati odnosno odrediti proces „samoprečišćavanja”, koristiti ga u prihvatljivim granicama.

U dosadašnjoj praksi analiza moći „samoprečišćavanja” podzemnih voda se obično bazirala samo na evidentiranju razlike u kvalitetu podzemnih voda neposredno u zoni unošenja zagađenja i u udaljenim zonama podzemne vode. Međutim, saznanja koja bi nas dovela do utvrđivanja zakonitosti „samoprečišćavanja” treba bazirati na eksperimentalnim iskustvima, odnosno istraživanjima u terenskim i laboratorijskim uslovima.

Dati model prenosa zagađenja može da posluži kao polazna osnova, za uslove koji su isti ili slični naprijed datim, naravno uz uvršćavanje u račun specifičnih karakteristika (K, T, V, n_0, C_0 i drugih), koje treba uzeti za konkretan izdanski tok i konkretno zagađenje.

Kako je za formiranje hidrodinamičkog modela i modela prenosa zagađenja bilo potrebno: određivanje granica, graničnih uslova i tipa akvifera, definisanje granice podinskog sloja, utvrđivanje vertikalnog bilansa podzemnih voda (padavine i isparavanje), određivanje graničnih uslova (rad bunara, infiltracija iz rečnih tokova i obratno), utvrđivanje kvaliteta površinskih i podzemnih voda, definisanje izvora zagađenja; to se u ovom poglavlju (V) date karakteristike: hidrogeološke, klimatske, hidrološke, režima podzemnih voda, izvori zagađenja koji gravitiraju eksperimentalnom poligonu.

7. ZAŠTITA DIJELA PODZEMNIH VODA ĆEMOVSKOG POLJA OD ZAGAĐENJA U CILJU POVEĆANJA MOGUĆNOSTI EKSPLOATACIJE VODE PROMJENOM PRIRODNIH HIDROLOŠKIH USLOVA

U savremenoj etapi razvoja industrijskih i drugih privrednih kapaciteta, te intenzivne urbanizacije, problem vodosnadbijevanja izlazi iz okvira tehničko-ekonomskog sagledavanja. To je ustvari kompleksan

ekološko-tehničko-ekonomski problem, koji je sastavni dio opšteg problema racionalnog korišćenja prirodnih resursa. Njegovo rješenje treba tražiti ne samo kroz ekonomske ciljeve, nego i kroz naučna razmatranja i razrađene mjere, usmjerene ka povećanju efektivnosti upravljanja zaštitom životne sredine, pa i vodnim resursima kao bitnom podsisitemu biosfere.

Upravljanje i gazdovanje vodama, kao cjelovit i sveobuhvatan odnos čovjeka prema vodama, jedna je od značajnih aktivnosti svakog društva.

čovek je u cijelom svom vijeku postojanja u dodiru sa vodom; gradi je i gradi svoj odnos prema njoj ovisno o željama i potrebama, svojim mogućnostima, te ovisno od njenih karakteristika i pojava u prirodi.

U početku kada su želje i potrebe za vodom bile skromne, u izgradnji odnosa čovjek - voda dominirala je voda, njene karakteristike i pojave u prirodi, dakle prirodni procesi. Karakteristike i pojave vode se značajnije ne mijenjaju, a živi svijet u vodi i oko nje prilagođava se nastalim promjenama.

Sa porastom želja i potreba, promene postaju sve intenzivnije, dešavaju se u sve kraćem vremenu, te na taj način u izgradnji odnosa čovjek - voda sve više dominira čovjek sa svojim željama i potrebama. Sve se više mijenjaju prvenstveno karakteristike voda, a dijelom i pojave voda, te se živi svijet u vodi i oko nje ponekad potpuno mijenja - jedan odumire a novi nastaje.

Danas je očigledan nesklad u odnosu želja, potreba i mogućnosti čovjeka, s jedne strane, te prirodnih procesa sa druge strane uopšte pa i u području voda. Taj nesklad postaje sve veći, te se spoznajući taj trend kao prvo nameće potreba da se on zaustavi, a zatim da se smanji uočeni nesklad, te uspostavi i održava ravnotežno stanje.

Djelatnost uspostavljanja i održavanja ravnotežnog stanja uopšte, podrazumijeva upravljanje i gazdovanje, a u oblasti voda upravljanje i gazdovanje vodama. Pri tome je očigledno da nema jednog i konačnog rješenja, nego je upravljanje i gazdovanje kompleksan proces koji traži trajno rješavanje nesklada u odnosu čovjeka i prirode uopšte.

U oblasti podzemnih voda posebno treba insistirati na racionalnoj eksploataciji podzemnih voda, u sklopu čega spada i njihova zaštita od zagađenja, odnosno uspostavljanja mjera za očuvanje kvaliteta voda, odnosno organizovanje službe kontrole i prognoze zagađenja životne

sredine od strane industrijskih objekata i drugih zagađivača. Ovakvo postavljeni cilj znači stalno osiguravanje ravnoteže između aktivnosti čovjeka i procesa u sredini u kojoj se te aktivnosti provode, između čoveka i procesa u prirodi. Prema tome mjere zaštite podzemnih voda su skup brojnih aktivnosti koje treba sprovest na licu mjesta, i uglavnom zavise od dvije grupe činioca: prirodni faktori, faktori koji zavise od uticaja čovjeka.

Nemoguće je sačuvati prirodni kvalitet čitave količine vode koja protiče kroz ovu izdan. Optimalno bi bilo sačuvati imajući u vidu potrebe za vodom, na ovom području, kao i troškove očuvanja, količinu vode u obimu od $Q = 4,00 \text{ m}^3/\text{s}$.

7.1 Predlog mjera zaštite dijela podzemne izdani uz postizanje i drugih privrednih koristi

U cilju postizanja zaštite, potrebno je preduzeti obimne, značajne radove. Da ne bi svi radovi odnosno finasijska sredstva pala na teret zaštite, treba težiti cilju da pojedini radovi, odnosno objekti, pored mjera zaštite, imaju i neku drugu funkciju, što je u suštini moguće.

Ovdje se misli na potrebe: komunalne infrastrukture grada Podgorice (vodosnabdijevanje, odvođenje otpadnih voda, gradske saobraćajnice, odvoz i deponija smeća i drugo), međumjesnog saobraćaja, hidroenergetike-korišćenja vodnih snaga, industrije i drugo. Na osnovu postojećih planova razvoja, (Prostorni plan Crne Gore, Prostorni plan opštine Podgorica), na ovom prostoru se planira izgradnja znatnog broja značajnih objekata. Treba težiti da se prilikom izgradnje ovih objekata imaju na umu problemi zagađenja voda, i da se ugrade potrebne mjere zaštite. Pritom će se desiti da se isti objekti, sa smišljenom izgradnjom podignu, maltene uz iste troškove. Ukoliko je potrebno utrošiti, za potrebe zaštite, i nešto dodatnih sredstava, to će u svakom slučaju biti manje, nego da se nanovo, posebno grade objekti za potrebe zaštite.

Pritom će se ukazati na neke objekte, odnosno aktivnosti, koji su potrebni kao objekti zaštite, a pored toga imaju i neku drugu svoju namjenu, funkciju.

Kao jedna od bitnih mjera očuvanja kvaliteta voda je infiltriranje, usmjerenje u podzemnu izdan dio voda rijeke Cijevne, vode koje su izuzetnog kvaliteta. Ovim se povećavaju dinamičke i statičke rezerve čiste kvalitetne vode u težištu područja, gdje bi se stvorila zona sa

višim nivoima podzemne vode, što bi hidraulički spriječilo dotok vode nižeg degradiranog kvaliteta. Na ovaj način dolazi do transformacije-izmjene prirodne-postojeće strujne slike. Pritom se dobija strujna slika „poremećeno stanje”. Pri novonastaloj situaciji došlo bi do podjele izdanskog toka na dva dijela: područje čiste vode, područje zagađene vode.

Područje čiste vode mnogo je veće od područja u kojem se nalazi onečišćena voda. Potrebne količine vode za ovu svrhu relativno su male $Q \ll 5,00 \text{ m}^3/\text{s}$, što je tehnički izvodljivo na relativno jednostavan način. Na taj način uložila bi se finasijska sredstva manjeg obima što se ne smije zanemariti.

U tu svrhu je potrebno preduzeti sljedeće korake:

7.1.1 Infiltracija voda rijeke Cijevne

Nakon dobijanja ekvipotencijalnih i strujnih linija razmatranog područja, za postojeće stanje, na koje su strujne linije upravne, vršene su određene ekstrapolacije. Htjelo se saznati šta se dešava sa strujnom slikom, ako se na određenom dijelu strujnog polja infiltrira (ubaci) određena količina čiste vode. Pored toga su se zadale određene kote vode u reičnom toku Cijevne. Sve ovo je urađeno za slučaj maksimalnih i minimalnih voda u području, H_{max} i H_{min} . Došlo se do interesantnih pokazatelja.

Na velikom dijelu obrađivanog područja stvoreno je polje visokih pontencijala čiste vode. Na taj način čiste vode bi tekle u pravcu najvećeg zagađenja (rijeka Morača, KAP-a), pa bi se prema tome javile kao hidraulička barijera za zagađene vode.

Na taj način dolazi do rejonizacije područja: područje čiste, pijaće vode; - područje zagađene vode. Na velikom dijelu postoje uslovi, da se pored sadašnje eksploatacije, dobije još dodatno znatna količina vode ($Q = 4.00 \text{ m}^3/\text{s}$).

Kao jedna grupa mjera predlaže se:

- U kanjonskom dijelu rečnog korita Cijevne, prije njenog ulaska u polje na profilu Trgaj izgraditi branu, odnosno formirati akumulaciju, za što postoje uslovi na terenu. Preko evakuacionih objekata na brani (prelivi, ispusti) moguće je vode Cijevne ispustiti po želji, odnosno moguće je vršiti izravnavanje proticaja po vremenu u toku godine.

- Izgraditi male brane, pregrade, u koritu Cijevne u Čemovskom polju kojima bi se vode usporile i prinudile da u većoj mjeri poniru u

izdan. Ovim bi se povećale dinamičke i statičke rezerve čiste-kvalitetne vode u težištu područja gdje bi se stvorila zona sa višim nivoima podzemne vode.

Pregrade mogu imati i druge namjene: saobraćaj, objekti za rekreaciju i drugo.

- Dio voda rijeke Cijevne derivacionim kanalom dužine 1,2 km prebaciti u korito rijeke Ribnice, kroz koji bi ta voda mogla teći, imajući u vidu kote nivoa vode na mjestu zahvata, profil Dinoša, i kote nivoa vode na Ribničkim vrelima. Kanal ne treba oblagati vodonepropusnom oblogom, da bi se voda mogla infiltrirati u izdan. Prebacivanjem dijela voda Cijevne u korito Ribnice omogućio bi se njen stalan tok u toku godine, čime se povećava infiltracija čistije vode iz korita Ribnice u izdan, posebno u sušnom malovodnom periodu.

Sve ovo stvara uslove za raspodjelu troškova.

7.1.2 Uređenje korita rijeke Morače

Rijeka Morača od Botuna do njenog ušća u Skadarsko jezero kod Vranjine, ima široko korito (500 m), koje meandrira. Za vrijeme povodnja, plavi okolno plodno obradivo zemljište, jer nema izraženih obala. Pored toga ugrožava stambene objekte na potezu Botun - Miranglavica, prugu Beograd - Bar i druge saobraćajnice.

Rijeka; u ovo područje, donosi iz gornjeg dijela toka znatne količine pijeska i šljunka, zbog izražene erozije u gornjem dijelu sliva i velike transportne moći. Tu se nalaze značajne količine kvalitetnog građevinskog materijala (pijeska i šljunka), koja se procenjuje na oko $250 \times 10^6 m^3$. Nakon izgradnje projektovanih objekata (HE, brane, akumulacija), prinos materijala biće umanjen.

Na naznačenom dijelu rijeke je moguće vršiti eksploataciju pijeska i šljunka, uz eventualno neke druge radove, čime bi se postiglo nekoliko značajnih efekata.

Kao druga grupa radova vezana za zaštitu izdani i druge koristi predlaže se:

- Snižanjem nivoa Morače za nekoliko metara, stvaraju se sasvim novi uslovi tečenja vode na potezu rječni tok - okolna podzemna izdan. U tom slučaju Morača ne bi vršila prihranjivanje izdani, već postaje samo drijen za vodu iz okolnog terena, što je vrlo bitna činjenica. Ovo iz razloga, što rijeka Morača, obzirom na zagađenje koje joj gravitira sa područja triju opština: Nikšić, Danilovgrad, Podgorica, ni u kom

slučaju neće ostati čista nezagađena rijeka. Pri sadašnjim uslovima nivoa vode u rijeci i podzemlju, u određenim vremenskim periodima u toku godine Morača prihranjuje izdan.

U isto vrijeme postižu se dodatni korisni efekti, čime se finasijski teret zaštite vode dijelom anulira, a dijelom raspodjeljuje i na druge korisnike:

- Dobija se kvalitetan građevinski materijal (pijesak i šljunak). Izvršila bi se regulacija rječnog toka, uz dodatne regulacione radove, što bi imalo za posljedicu, sprečavanje plavljenja okolnog plodnog zemljišta i ostalih dobara (željezničke pruge Beograd - Bar, lokalnih puteva, kuća za stanovanje i drugo).

- Ovaj dio rječnog toka, na potezu Vranjina - Botun, pretvorio bi se u plovni put, što bi bilo od velike koristi, jer se na kraju istog nalazi KAP, koji ima potrebu za transportom masovnih tereta.

- Regulacijom rječnog toka, postiže se sniženje nivoa donje vode kod profila buduće brane HE „Botun”, čija je izgradnja u perspektivi, čime dolazi do koncentracije pada na HE, čime se povećava njena snaga, odnosno proizvodnja električne energije.

7.1.3 Rješenje industrijskog zagađenja

Kako je uočljivo, latentna opasnost po kvalitet podzemnih voda prijeto sa više strana, kada je u pitanju industrijska proizvodnja, a najviše od strane KAP-a i Agrokombinata „13 jul”. Da bi se negativno dejstvo industrije aluminijuma i drugih prisutnih zagađivača smanjilo, odnosno dovelo u razumne okvire, potrebno je primeniti sljedeću treću grupu radova:

- Dovršiti projektovani tehnološki postupak deponovanja crvenog mulja. Mulj iz kojeg bi se odstranio NaOH do procenta 0,4 % uz prisustvo vode od 48 %, transportovati u novoizgrađeni bazen, suvim putem, bez dodatka vode, a ne kako se sada radi hidrauličkim putem.

- Spriječiti ekcesne pojave, koje nijesu tako rijetke, kada sa rashladnim vodama KAP-a, preko odvodnog kanala, dospijevaju u korito rijeke Morače crveni mulj i drugo onečišćenje.

- Količinu fluorida i drugih toksičnih gasova koji idu u atmosferu treba bitno smanjiti, što je tehnički moguće, jer je njihov put iz atmosfere do podzemnih voda vrlo kratak.

Finasijska sredstva koja su potrebna za ove zahvate treba da padnu na teret KAP-a.

7.1.4 Rješenje komunalnih problema

Četvrta grupa radova bila bi:

- Proširiti fekalnu kanalsku gradsku mrežu Podgorice i na okolna naselja da bi se priključilo što je moguće više korisnika.

- Postojeće uređaje za prečišćavanje gradskih otpadnih voda proširiti, dograditi, odnosno staviti u funkciju.

- Posebno je potrebno uređaje za tretman otpadnih voda industrija, koje se priključuju na pomenuti sistem, osposobiti da vrše predtretman svojih voda, prije priključenja na gradsku kanalsku mrežu, do onog stepena, da ne prave smetnje radu gradskog uređaja.

- Za naselja, koja nije moguće povezati na ovaj kanalski sistem, treba graditi posebne kanalske sisteme sa adekvatnim uređajima za prečišćavanje fekalnih otpadnih voda. Ovo se posebno odnosi na naselja: Cijevna, Tuzi, Golubovci. Za pojedine objekte koji neće biti priključeni na kanalske sisteme, pojedinačno rješavati problem: sakupljanja, odvodnje, prečišćavanja i ispuštanja otpadnih voda.

- Zagađivači voda sa područja Nikšića treba da pristupe prečišćavanju svojih otpadnih voda koje rijekom Zetom i Moračom dopijevaju na ovo područje.

U prvom redu treba rekonstruisati i dograditi postojeći gradski uređaj za tretman otpadnih voda Nikšića.

- Pri izgradnji budućih saobraćajnica treba nastojati da one zaobiđu branjeno područje, potencijalno izvorište, a ukoliko to nije moguće, uz njihovu izgradnju predvidjeti i mjere zaštite. Korisno bi bilo ispitati što se može učiniti u pogledu zaštite pored postojećih saobraćajnica koje su brojne na ovom području.

- U sadašnjim uslovima, na periferiji gradskog područja Podgorice, pored naselja Konik i Stari aerodrom egzistira neuređena deponija smeća, krutog otpada. Na ovoj deponiji treba prestati sa dovozom i odlaganjem smeća; odlaganje odnosno deponovanje gradskog smeća treba obavezno prebaciti na drugu lokaciju, a postojeće stanje sanirati, urediti u cilju očuvanja kvaliteta podzemnih voda, pored ostalih razloga.

Kao i kod slučaja modela strujanja podzemnih voda, ako se uzmu u obzir karakteristike izdanskog toka na lokaciji gradske deponije i nizvodno ispod nje dobijaju se nešto uvećane vrijednosti (približno 10 %) za sračunatu koncentraciju C_n , nešto uvećane u odnosu na one

TABELARNI PRIKAZ KONCENTRACIJE Na ZA H min

| | Koordinata x | Koordinata y | Mjerena vrij. C | Računato C |
|------|--------------|--------------|-----------------|------------|
| P-56 | 0 | 0 | 400 | 355.0335 |
| P-41 | 100 | 175 | 300 | 245.6454 |
| P-42 | 125 | 20 | 380 | 308.8110 |
| P-43 | 200 | -105 | 280 | 300.0812 |
| P-44 | 295 | -225 | 230 | 269.9917 |
| P-45 | 380 | -350 | 290 | 276.4862 |
| P-48 | 700 | -5 | 340 | 342.6406 |
| P-47 | 750 | 200 | 300 | 339.7158 |
| B-15 | 775 | 490 | 240 | 295.3189 |
| B-16 | 825 | 410 | 340 | 279.2708 |
| B-18 | 930 | 470 | 260 | 263.0888 |
| B-17 | 962 | 400 | 270 | 288.4841 |
| B-19 | 1025 | 400 | 240 | 272.7390 |
| B-21 | 1055 | -150 | 290 | 276.4762 |
| B-20 | 1080 | 300 | 260 | 214.9516 |
| B-49 | 1150 | -75 | 300 | 290.0983 |
| P-50 | 1150 | 0 | 310 | 333.1598 |
| B-51 | 1155 | 130 | 290 | 300.3213 |
| B-32 | 1200 | -850 | 100 | 187.2175 |
| B-63 | 1225 | -825 | 110 | 175.2313 |
| B-22 | 1280 | -75 | 295 | 298.1776 |
| B-23 | 1350 | -10 | 245 | 205.0126 |
| B-31 | 1400 | -700 | 120 | 157.3881 |
| B-62 | 1460 | -752 | 90 | 132.9760 |
| B-24 | 1500 | -50 | 210 | 226.9000 |
| B-30 | 1600 | -770 | 230 | 267.7495 |
| B-29 | 1650 | -375 | 215 | 237.5490 |
| B-25 | 1720 | -135 | 230 | 208.1457 |
| B-26 | 1720 | -220 | 225 | 194.2718 |
| B-27 | 1730 | -185 | 200 | 218.8866 |
| B-28 | 1750 | -125 | 220 | 204.8846 |

Sračunate vrijednosti po formuli

$$c(x, y, t) = \sqrt{\frac{r_0}{r}} \exp \frac{0,5}{D(x, t)/n_0} (v_x x + v_y y - v_r r)$$

gdje je $r_0 = 2m$; $r = \sqrt{x^2 + y^2}$; $v_r = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$. Da bi se nacrtale izolinerije koncentracije izvršena je interpolacija rezultata u čitavom području za x od 0 m do 1750 m i y od -890 m do 450 m.

REJONIZACIJA PODRUČJA



nizvodno od KAP-a, za istu polaznu koncentraciju C_0 , natrijuma Na, što je posljedica promjena lokalnih efektivnih brzina kao posljedica promjena uslova tečenja vode.

Pri odabiranju nove lokacije za deponiju, kao i prilikom njenog uređenja, moraju se uzeti u obzir hidrogeološki uslovi koji su prisutni u okolnom karstnom terenu: velika poroznost, veliki vodopropusnost.

Pored efekata zaštite voda postižu se i dodatni, kao uređenje prostora, jer se postojeća deponija nalazi na vrlo atraktivnoj lokaciji kada se posmatra urbanističko uređenje prostora.

Troškove, odnosno finasijska sretstva koja su potrebna za ovu svrhu, komunalna privreda treba da raspodijeli na više svojih djelatnosti: zaštitu izvorišta pitke vode; sakupljanje, tretman i ispuštanje otpadnih voda; sakupljanje, transport i odlaganje krutog otpada.

7.1.5 Zaštita od poljoprivrede

Ćemovsko polje treba aktivirati u poljoprivredne svrhe, jer za to postoje povoljni uslovi, što se i sada koristi. Ovdje se misli na površine koje se i sada koriste od strane Agrokombinata „13 jul” i od privatnih posjednika. Ovo je u suprotnosti sa težnjom za očuvanjem kvaliteta voda u podzemlju, što treba usaglasiti. Pri postojećem strujanju podzemne vode i korišćenju $Q = 4.00m^3/s$ na predviđenom izvorištu, bilo bi potrebno da se za zaštitnu zonu uzme oko 1.100 ha. Ako se primijene naprijed predložene mjere prihranjivanja izdani ova površina se može smanjiti na oko 600 ha. Izmjenom hidrodinamičkih uslova, koja se predlaže, očekuje se smanjenje oblasti ugrožene zagađenjem od poljoprivrede. Time se povećavaju površine koje se mogu koristiti za poljoprivredne svrhe.

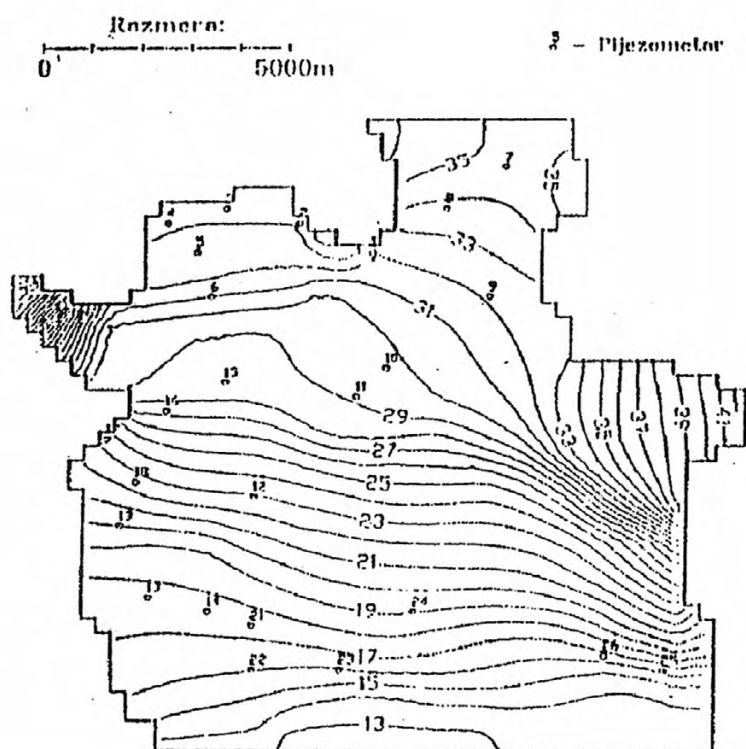
8. Z A K L J U Č C I

Na kraju, na osnovu svega predhodno urađenog može se konstatovati sljedeće:

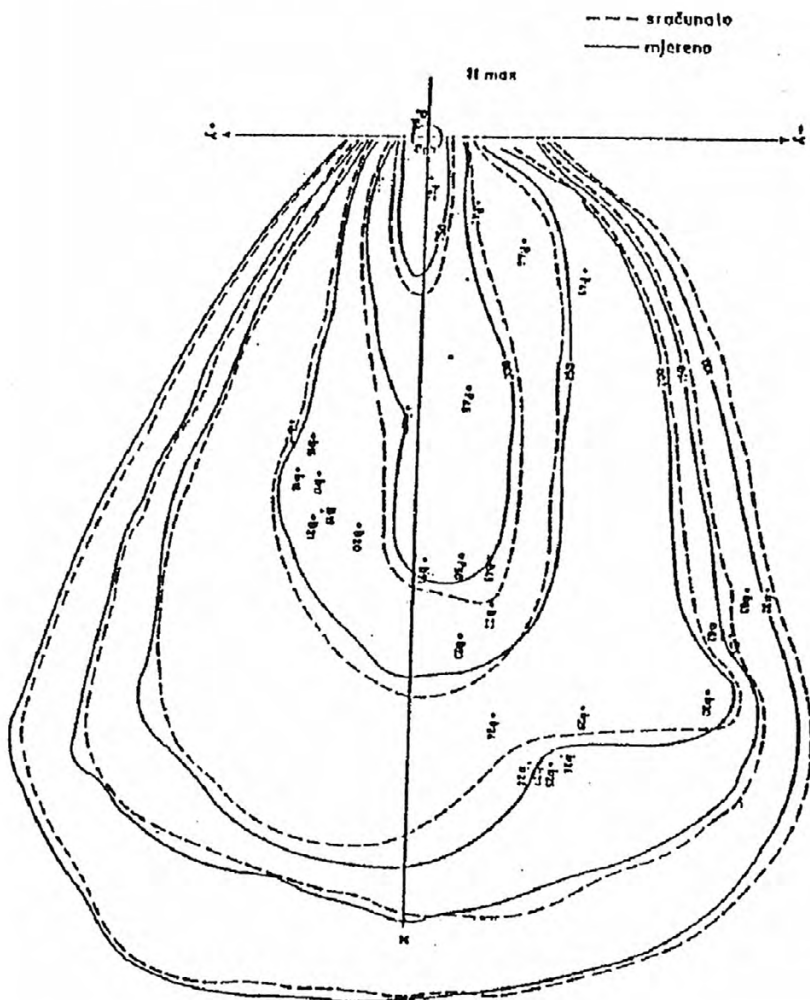
1. Očuvanje kvaliteta voda na zemljinoj kugli postavlja se, za čovječanstvo, kao pitanje opstanka života. Potrebno je u što je moguće većoj mjeri sačuvati prirodni kvalitet svih voda, a posebno podzemnih. Ovo iz razloga što se sve više koriste za piće i druge higijensko sanitarne potrebe. Pored toga, kada jedanput dođe do degradacije kvaliteta podzemnih voda vrlo je teško u dogledno vrijeme vratiti ih u prvobitno stanje. Nekada, kada je u pitanju radiološka kontaminacija to prakti-

PIJEZOMETRIJSKE KOTE PODRUČJA

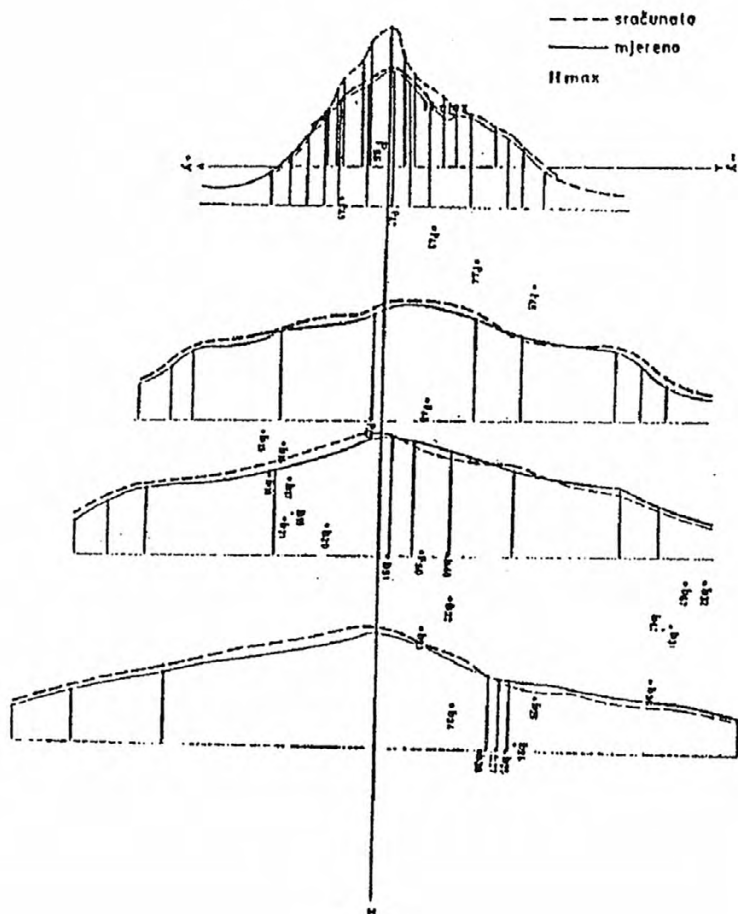
Maksimalni nivo



IZOLINIJE KONCENTRACIJE Na ZA 1990. god. PRI Hmax

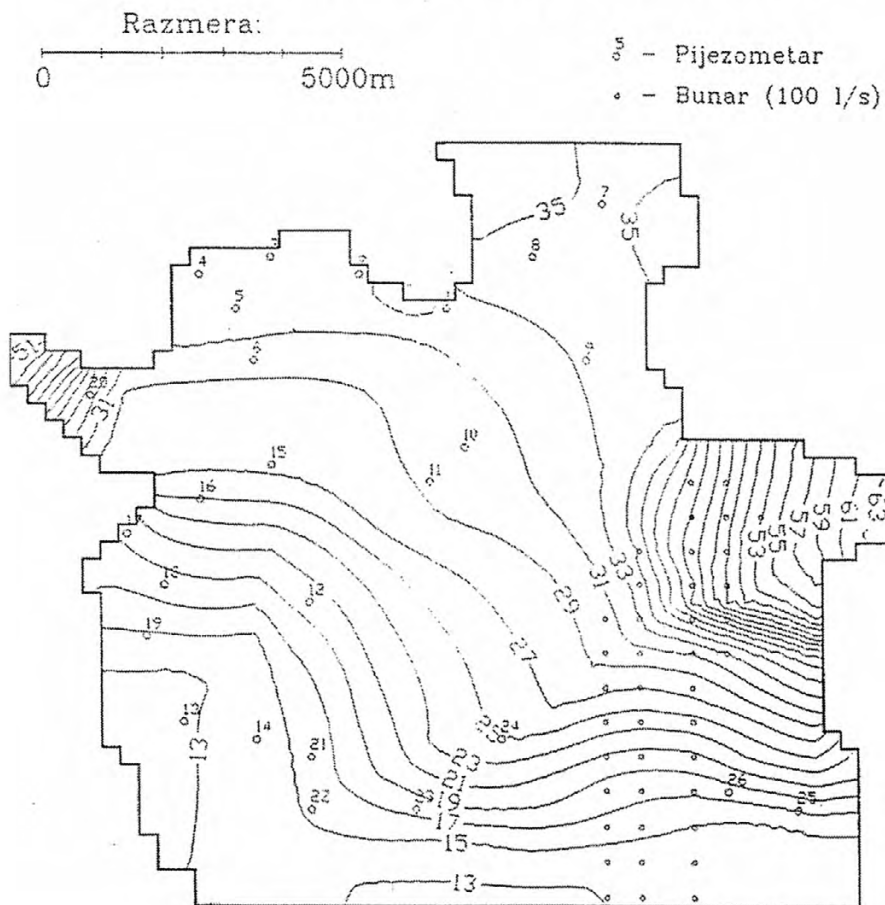


KONCENTRACIJA Na ZA 1990. god.



PIJEZOMETARSKE KOTE PODRUČJA

Poremećeno stanje I
 pri maksimalnom nivou 10.04.1958.
 uz eksploataciju vode $Q=4000$ l/s



čno uopšte više nije moguće.

2. Aktivnosti za očuvanje kvaliteta podzemnih voda su sastavni dio aktivnosti za očuvanje cjelokupne prirodne okoline. Kontrola kvaliteta stanja podzemnih voda treba da je tijesno povezana sa kontrolom stanja prirodne okoline.

3. Mnogi procesi transformacije kvaliteta voda u intergranularnoj poroznoj sredini ne mogu na terenu uvijek da se diferenciraju. Zbog toga se oni sagledavaju uopšteno, kao skup više procesa koji svojim djelovanjem izazivaju „rasipanje” (razblaženje) zagađenja ili „upijanje” (vezivanje) za čestice hidrogeološke sredine komponenata koje su nosioci zagađenja. Postoje laboratorijske metode za proučavanje svih pomenutih procesa na uzorcima zemljišta sa terena.

4. Zagađenje nije izotropno, ni u izotropnoj sredini. Disperzija u pravcu glavnog toka je veća a poprečna disperzija je manja.

5. U materijalima sa velikim prečnicima pora i šupljina i male specifične površine kontakta vode i sredine, kao što su ispucale i karstifikovane stijene, a takođe i krupnozrni šljunkoviti sedimenti adsorpcija je mala.

U ovakvim slučajevima pri zaštiti podzemnih voda od hemijskog zagađenja treba uzimati u obzir samo procese „rasipanja”, a od bakteriološkog zagađenja samo vrijeme življenja mikroorganizama, pri čemu zanemarivanje procesa „upijanja” u proračunima predstavlja rezervnu sigurnost.

6. Određeni prirodni procesi (površinska i podzemna erozija, hemijska erozija) mogu da imaju negativnog uticaja na kvalitet podzemnih voda. Zagađenje ove vrste treba posmatrati na isti način kao i ono koje potiče od uticaja čovjeka.

7. Da bi se riješile osnovne parcijalne jednačine, koje definišu strujanje podzemnih voda kao i pronos zagađenja potrebno je definisati konturne uslove (početne i granične). Uz postojanje ovih uslova parcijalne diferencijalne jednačine je moguće rješavati numeričkim metodama, što omogućava sprovođenje proračuna na računskim mašinama (kompjuterima).

8. Za uspješno rješavanje jednačine pronosa zagađenja u podzemnoj vodi potrebno je odrediti karakteristike: strukturno-litološki i granulometrijski sastav, hidrodinamička svojstva, (uslove toka i pronosne karakteristike podzemnih voda), klimatske karakteristike, vrstu, tip,

izvor, intezitet, porijeklo zagađenja (fizičko, hemijsko, bakteriološko, radiološko i dr.), aktivnost, i položaj zagađivača, fizičko-hemijske parametre zagađenja podzemnih voda, način kretanja zagađenja u podzemnim vodama, i zadržavanja u tlu.

9. U naprijed datim specifičnim uslovima moguće je modelirati strujanje podzemnih voda, iako ono zavisi od velikog broja činilaca, te je veoma kompleksno i komplikovano.

10. Kretanje zagađenja u podzemnim vodama je takođe moguće modelirati, što je još komplikovanije, jer pored navedene dvije grupe elemenata koji karakterišu čvrstu i tečnu fazu, javljaju se elementi koji su karakteristični za zagađenje. Pritom se između ove tri sredine javljaju brojni procesi, (fizički, hemijski, biološki i kombinovani).

11. S aspekta zaštite kvaliteta podzemnih voda, određivanje fizičko-hemijskih parametara zagađenja treba da bude usmjereno na one lokalitete gde se očekuje potencijalno zagađenje podzemnih voda.

12. Kroz prezentaciju predloženog analitičkog rješenja transporta zagađenja ukazano je na jedan od mogućih pravaca određivanje koeficijenta disperzije (razmatrano ponašanje Na jona). Za rješavanje jednačina koje definišu transport zagađenja korišćen je sopstveni softver "PROGRAM 1", a za grafički prikaz program PC -MATLAB.

Rješenje se odnosi na disperziju trasera u prirodnim materijalima intergranularne poroznosti, hidrodinamičkim uslovima kada važi Darsijev zakon filtracije ($Re < 3$).

13. Tariranje matematičkog modela strujanja vode pri datim terenskim uslovima je pokazalo da je moguće vršiti modeliranja strujanja vode, za uslove, kao ravansko, kvazistacionarno strujanje, uz korišćenje Darsijevog zakona, i Dupiejeove pretpostavke o paralelnosti strujnica.

Za numeričko rješenje jednačine strujanja podzemne vode sa slobodnom površinom, odnosno za računanje ekvipotencijalnih linija korišćeni su postojeći softveri "IZDAN" i "AKVIS", a za računanje strujnih linija program "AKVICAD". Za grafički prikaz ekvipotencijalnih i strujnih linija korišćen je postojeći program "AutoCAD12".

14. Tariranje hidrodinamičkog modela pronosa zagađenja je izvršeno na konkretnom primjeru izdani Čemovskog polja, na mikrolokaciji KAP-a sa Na -jonom kao traserom. Pokazalo se da sračunate vrijednosti prate u prihvatljivom obimu izmerene vrijednosti na terenu (+ 5-7 %). Isti model je prihvatljiv i za ostale lokacije, s tim što se moraju

uzeti u račun lokalne karakteristike izdanskog toka.

15. Ispitivani kvalitet površinskih i podzemnih voda, na obrađivačkom području, pokazuje uticaj pojedinih zagađivača. Preventivne mjere zaštite treba da budu kompleksne i da zahtijevaju kontrolu izgradnje novih objekata i proizvodnje postojećih i novih proizvođača i raznih zagađivača.

16. S obzirom na složenost problema zaštite podzemnih voda, i na posljedice koje mogu nastati ako dođe do kontaminacije (gubitak tih voda za duži period ili za stalno), proizilazi da je za rješavanje problema potrebno pristupiti sveobuhvatno i cjelovito. To se postiže timskim radom učesnika različitih profesija:

- hidrotehničar treba da pripremi program istražnih radova, i obradu rezultata,

- podatke prikupljaju: geolog, hidrogeolog, geofizičar, geohemičar, sanitarni inženjer, hidrotehničar, tehnolog, hemičar, biolog, pedolog.

- obradu treba da urade hidrotehničar, urbanista, ekonomista i drugi.

17. Posebno se ističe potreba uspostavljanja stalnog prikupljanja, prenošenja i obrade informacija, te sistema upozorenja na eksczesne pojave i sisteme intervencija u eksczesnim slučajevima zagađenja izvorišta podzemnih voda u blizini urbanih reona. U sklopu informacionog sistema potrebno je formirati operativni hidrodinamički model neustaljenog strujanja toka podzemnih voda i model transporta zagađenja, pri čemu se može koristiti predloženi matematički model transporta zagađenja, kao polazni.

18. U principu očuvanje prirodnog kvaliteta svih količina vode u nekom prostoru, uz prisustvo brojnih zagađivača nije cjelishodno, već je potrebno zaštititi samo jedan dio. Znači da je potrebno izvršiti rejonizaciju, odnosno izvršiti razgraničenje područja koje se štiti od onog koje nije cjelishodno štititi.

19. Pri prirodnim uslovima tečenja vode i kretanja zagađenja u istoj moguće je preduzeti mjere očuvanja prirodnog kvaliteta podzemnih voda. Pri tome modeli strujanja podzemne vode i pronosa zagađenja treba da predstavljaju osnov za plan akcije zaštite vode.

20. Potreba za korišćenjem prostora za razne namjene je sve veća, koja je često puta u koaliciji sa očuvanjem kvaliteta podzemnih voda. Zato je potrebno uspostaviti kompromis između ove dvije suprotnosti,

odnosno napraviti smišljeni optimalni plan akcije. U tom cilju je potrebno odrediti količine vode koje će se očuvati i u kom stepenu, a samim time će se definisati obim mjera zaštite po: prostoru, vremenu i finansijama.

21. Mjere zaštite podzemnih voda treba sprovesti u sklopu radova koji se planiraju na prostoru iznad podzemne izdani. Ovdje se misli na radove infrastrukture: vodovoda, kanalizacije, saobraćaja, odvoz i deponovanja smeća; vodoprivrede: energetska korišćenje vodnih snaga, regulacije rijeka, melioracije zemljišta, uređenje bujica - sprečavanje erozije; industrije i drugo. Faznost izgradnje svih potrebnih objekata može biti od značajne koristi u cilju uštede odnosno povoljnije raspodjele potrošnje sredstava.

Literatura

1. Bear J., *Hidraulics of groundwater*, McGraw - Hill Comp.,p. 569, 1979.
2. Bešić Z., *Geologija Crne Gore*, Crnogorska akademija nauke i umjetnosti, Titograd, 1980.
3. Boreli M., *Hidrodinamički aspekti zagađenja i zaštite podzemnih voda i njihovog prečišćavanja filtracijom*, Akademija nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine, Sarajevo, 1981.
4. Degremont, *Momento technique de l' eau*, Paris, 1978.
5. Frid J. J., *Grundwater polution*, Amsterdam - Oxsford - New York
6. Milojević M., *Snabdijevanje sa vodom i kanalisanje naselja*, Građevinski fakultet, Beograd, 1981.
7. Radojković M. Klem N., *Primena računara u hidraulici*, Građevinski fakultet, Beograd, 1987.
8. Stanković Lj., Uskoković Z., *PC MATLAB sa elementima DOS-a Epsilon Montex Titograd - Nikšić*, 1991.
9. Vukčević S., *Analiza propagacije zagađenja podzemne vopde u specifičnim uslovima strujanjima sa predlogom optimalnih mjera zaštite*, doktorska disertacija, Građevinski fakultet, Niš, 1997.

