



## BIOREMEDIJACIJA PODZEMNIH VODA NA LOKACIJI "NITEKS" U NIŠU BIOREMEDIATION OF GROUNDWATER AT THE LOCATION "NITEKS" IN NIŠ

### REZIME

U radu se razmatraju metode bioremedijacije kao pristup u rešavanju problema zagađivanja podzemnih voda naftnim ugljovodonicima. Uspešna primena ovih metoda u velikoj meri zavisi od uslova sredine, što ima za posledicu neophodnost multidisciplinarnog istraživanja lokacija od interesa. Kao deo istraživanja realizovanih na lokaciji fabrike "Niteks" u Nišu, uspešno je izvedena "in situ" bioremedijacija podzemnih voda zagađenih naftnim ugljovodonicima. Tretman je izveden bipolarnim modelom sa recirkulacijom podzemnih voda pomoću crpnih i upojnih bunara.

**Ključne reči:** podzemne vode, naftni ugljovodonici, bioremedijacija, bipolarni model

### ABSTRACT

This paper discusses the methods of bioremediation as an approach for remediation of groundwater contaminated by petroleum hydrocarbons. Successful application of these methods largely depends on the site conditions, which results in the necessity of multidisciplinary research at the locations of interest. As part of the research performed at the location of the factory "Niteks" in Niš, successful "in situ" bioremediation of groundwater contaminated by petroleum hydrocarbons was carried out. The treatment was performed by a bipolar model with groundwater recirculation, by combination of extraction and injection wells.

**Key words:** groundwater, petroleum hydrocarbons, bioremediation, bipolar model

## 1. UVOD

Podzemne vode čine oko 98% dostupne čiste vode na našoj planeti [1]. Značaj ovog resursa najbolje ilustruje njegova dominacija u javnom vodosnabdevanju u većini Evropskih zemalja. Slično ovim zemljama, udeo podzemnih voda u javnom vodosnabdevanju u Republici Srbiji iznosi oko 80%. [4]. Sa druge strane ovaj životni resurs je ugrožen prvenstveno antropogenim aktivnostima, među kojima su najznačajnije nadeksploatacija i zagađivanje. Kada je reč o zagađujućim materijama u podzemnim vodama, naftni ugljovodonici zauzimaju posebno mesto među njima. Intenzivna upotreba naftnih ugljovodonika kao goriva i industrijskih sirovina rezultirala je širokom zagađenošću tla i podzemnih voda ovom grupom jedinjenja [1]. Stoga se očekuje da će uloga bioremedijacije u prečišćavanju zemljišta i podzemnih voda zagađenih organskim jedinjenjima biti u stalnom porastu. Kao polazna osnova ovog rada biće prikazane teorijske osnove metoda bioremedijacije, koje su postale neizostavne kada je reč o zagađivanju naftnim ugljovodonicima. Ovaj deo će upravo pružiti uvid u

specifičnost primene ovih metoda. U drugom delu rada prikazana su istraživanja i rezultati remedijacionog tretmana podzemnih voda izvedenog tokom 2012. godine na lokaciji "Niteks" u Nišu.

## 2. TEORIJSKE OSNOVE METODA BIOREMEDIJACIJE

Korišćenje bioloških procesa u proizvodnji hrane datira od samog početka ljudske istorije. Razvojem tehnologije primena mikroorganizama se proširila i na industrijsku proizvodnju. Slično industrijskim procesima, glavni motiv za korišćenje mikroorganizama u cilju prečišćavanja životne sredine je takođe ekonomske prirode. Bioremedijacija je jedan od remedijacionih procesa-tretmana, u kojima se koriste mikroorganizmi koji se prirodno nalaze na zagađenim područjima, kako bi se štetne materije razgradile u manje štetne ili potpuno neškodljive [3]. Preciznije, bioremedijacija predstavlja proces smanjenja sadržaja zagađujućih materija u podzemnim vodama ili zemljištu, korišćenjem mikroorganizama koji za svoj rast i razmnožava-

Nenad MARIĆ<sup>1</sup>, Dr Ivan MATIĆ<sup>1</sup>, Dr Miroslav VRVIĆ<sup>2</sup>, Mr Srđan MILETIĆ<sup>3</sup>, Dr Mila ILIĆ<sup>3</sup>, Dr Vladimir BEŠKOSKI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departman za hidrogeologiju, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu, 11 000 Beograd, Đušina 7, Srbija

<sup>2</sup> Hemijski fakultet, Univerzitet u Beogradu, 11 158 Beograd, Studentski trg 16, Srbija

<sup>3</sup> Centar za remedijaciju, Institut za hemiju tehnologiju i metalurgiju, Univerzitet u Beogradu, 11 001 Beograd, Njegoševa 12, Srbija

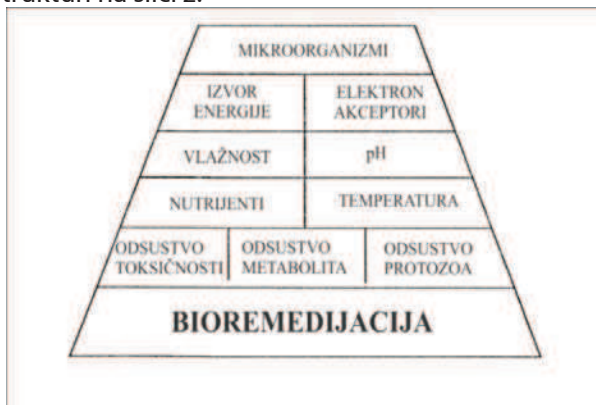


nje koriste organske supstance (slika 1).



**Slika 1.** Mehanizam biodegradacije [3]  
**Fig. 1** Biodegradation mechanism [3]

Metode bioremedijacije imaju nekoliko prednosti i ograničenja u odnosu na standardne remedijacione metode. Glavnu prednost generalno predstavlja niža cena koštanja i sposobnost da se zagađujuće materije eliminišu na licu mesta transformišući ih u neškodljive nusprodukte kao što su  $\text{CO}_2$  i  $\text{H}_2\text{O}$ . Ovo eliminiše potencijalne pasivne troškove vezane za transport i skladištenje opasnog otpada. Ipak bioremedijacija nije univerzalno primenjiva i može biti neznatno efikasna za "otporne" zagađujuće materije ili teške metale, ukoliko neophodan katabolički kapacitet nije prisutan ili izražen. Na primer, nepovoljni uslovi u prirodnom okruženju kao što su visoka pH vrednost, temperatura ili prisustvo teških metala u toksičnim koncentracijama mogu usporiti mikrobiološku aktivnost. Prema tome uspešna bioremedijacija zahteva razumevanje specifičnih ograničavajućih faktora određene lokacije. Uslovi neophodni za primenu metoda bioremedijacije su prikazani u piramidalnoj strukturi na slici 2.



**Slika 2.** Uslovi neophodni za primenu metoda bioremedijacije [1]

**Fig. 2** Requirements for the application of bioremediation methods [1]

Prvo mesto po značaju zauzimaju mikroorganizmi sa kapacitetom da sintetišu enzime koji mogu razložiti ciljane zagađujuće materije. Reč je prvenstveno o autohtonim mikroorganizmima, tj onim koji su već prisutni na datom području.

Zagađujuća materija ili podloga (supstrat) može služiti kao izvor energije koji nakon oksidacije predaje elektrone određenom elektron akceptoru (npr. kiseonik). Mnogi procesi razlaganja zagađujućih materija

uključuju upravo oksido-redukcione reakcije. Usled toga neophodno je postojanje jedinjenja koja primaju višak elektrona formiranih na račun degradacije (oksidacije) organske materije od strane mikroorganizama. Zato drugi nivo piramide pokazuje da je neophodno postojanje odgovarajućeg izvora energije (donor elektrona) i elektron akceptora.

Treći nivo pokazuje potrebu za dovoljnom količinom vlage i prihvatljivom pH vrednošću. Vlažnost mora biti prisutna u toj meri da obezbedi funkcionisanje mikroorganizama, a sa druge strane ne prevelika da bi smanjila prisustvo kiseonika u tlu. U terenskim uslovima to iznosi oko 45-48% od ukupnog kapaciteta zadržavanja [5]. Što se tiče pH vrednosti, kao parametra koji određuje kiselost ili baznost neke sredine, optimalne uslove predstavljaju neutralna do bazna sredina.

Četvrti nivo piramide ukazuje na značaj izbegavanja visokih temperatura i obezbeđenja neorganskih hranljivih materija-nutrijenata. Na niskim temperaturama dolazi do usporenog razvoja ili potpunog odumiranja mikroorganizama. Većina mikroorganizama koja je značajna za procese degradacije naftnih ugljovodonika je mezofilnog karaktera (25- 45 °C) [6]. Kada je reč o neorganskim hranljivim sastojcima, najčešće korišćeni nutrijenti od strane mikroorganizama su nitrati, fosfati, azot, kao i metali u tragovima.

Samu osnovu piramide čine tri uslova koja se odnose na životnu sredinu čija ispunjenost je neophodna za održivost bioremedijacije: odsustvo visokih koncentracija supstanci koje su toksične za mikroorganizme, odsustvo metabolita koji mogu usporiti mikrobiološku aktivnost (npr. drugih članova mikrobiološke zajednice), kao i odsustvo visokih koncentracija protozoa koje se ponašaju kao predatori na bakterije koje vrše degradaciju zagađujućih materija. Sve u svemu, neophodno je zadovoljiti fiziološke i nutritivne potrebe mikroorganizama koji vrše degradaciju kako bi se obezbedili optimalni uslovi za odvijanje procesa.

U zavisnosti od mesta primene bioremedijacija se može podeliti na:

- "In situ" (primena na samoj lokaciji koja je zagađena)
- "Ex situ" (primena na mestu udaljenom od lokacije koja je zagađena)

Sama metoda bioremedijacije može biti primenjena kao stimulisani (pospešen) ili pasivan remedijacioni postupak.

Stimulisana bioremedijacija podrazumeva:

- biostimulaciju (poboljšanje uslova sredine)
- bioaugmentaciju (dodavanje mikroorganizama)

Kao što se može videti, postoji više uslova koje je neophodno ispuniti za primenu ovih metoda. Pored prisustva mikroorganizama sa kapacitetom da sintetišu

enzime koji mogu razložiti zagađujuće materije, neophodno je da i sama sredina bude pogodna za njihov razvoj.

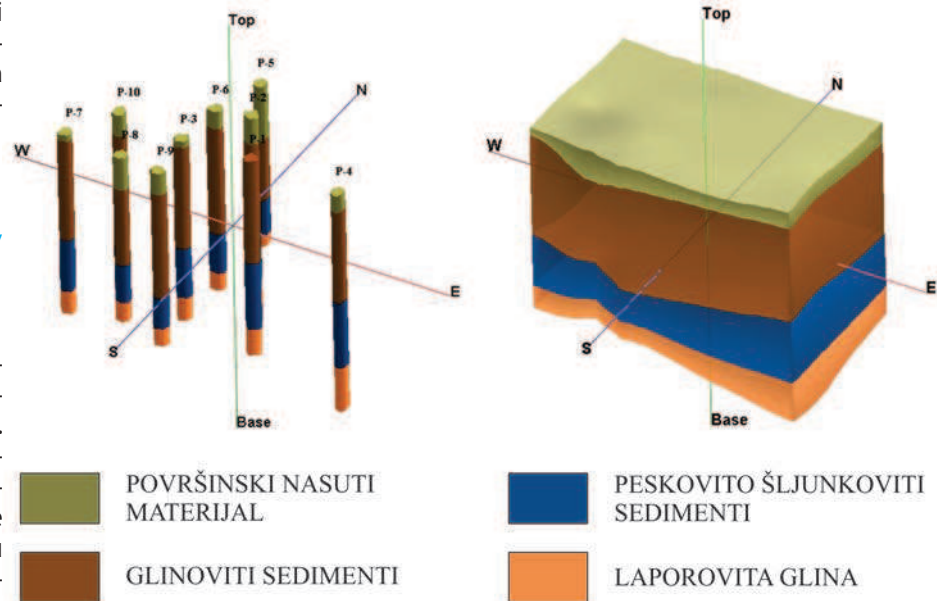
### 3. ISTRAŽIVANJA NA LOKACIJI "NITEKS" U NIŠU

Istraživanja u kompleksu fabrike "Niteks" u Nišu izvedena su tokom 2011 i 2012. godine, u okviru restrukturiranja ovog preduzeća i prelaska u vlasništvo kompanije Benetton. Istražni radovi su izvedeni sa ciljem ocene stepena zagađenosti lokacije, kao i izvođenja eventualne remedijacije pre prelaska u vlasništvo italijanske kompanije. U istražnim radovima učestvovali su: Studio Geotecnico dott. Luciano Baratti iz Milana, Gradski Zavod za Javno Zdravlje iz Beograda, BREM GROUP i Rudarsko-geološki fakultet iz Beograda. Područje istraživanja (kompleks fabrike "Niteks" - slika 3) pripada rečnoj terasi uz čiju južnu granicu protiče reka Nišava, sa koritom nižim za oko 7-8 m u odnosu na ispitivanu zonu. U ovoj zoni postoje ostaci rečne geneze, sa bočnim kontaktom sa aluvijalnim naslagama. Faznim izvođenjem istražnih radova kao posebno ugrožene (zagađene naftnim ugljovodonicima) izdvojene su dve zone - lokacije L1 i L2 (slika 3).



**Slika 3.** Fabrika "Niteks" u Nišu sa izdvojenim zonama za remedijaciju (lokacije L1 i L2)

**Fig. 3** Factory "Niteks" in Niš with remediation areas (site L1 and L2)



**Slika 4.** Prikaz istražnih bušotina i litološki sastav na lokaciji L2

**Fig. 4** Preview of drill holes and lithological composition at the site L2

Istražnim bušenjem detaljno je određena litološka građa, konstatovano je postojanje identičnih litoloških članova na obe lokacije. Litološka građa lokacije L2 koja se može smatrati reprezentativnom za obe lokacije date je na slici 4. U okviru aluvijalnih peskovito-šljunkovitih naslaga konstatovan je zbijeni tip izdani sa slobodnim nivoom na dubini od oko 5 m. Podinu ovih naslaga čine glinovito laporovite naslage pliocenske starosti. Pravac kretanja podzemnih voda je prema reci Nišavi, tačnije u smeru severoistok-jugo-zapad. Izdan je u hidrauličkoj vezi sa rekam, dok njihov međusobni odnos zavisi kako od nivoa reke tako i sezonskog režima izdani.

Na osnovu rezultata izvedenih istraživanja konstatovana je neophodnost remedijacije kako sedimenata tako i podzemnih voda sa lokacija L1 i L2. Tretmanu podzemnih voda prethodilo je iskopavanje i odvoženje zagađenih sedimenata ("ex situ" bioremedijacija), uklanjanje slobodne faze

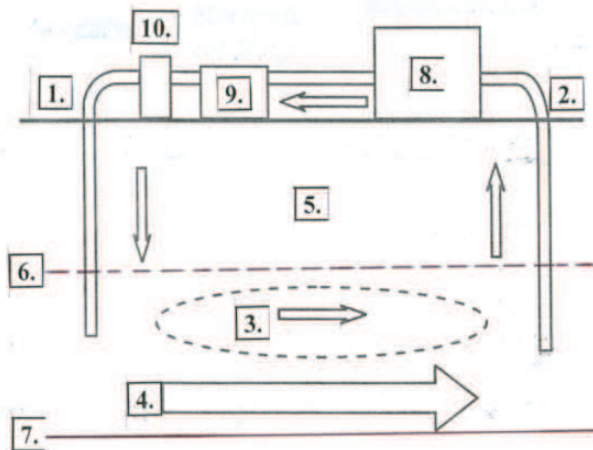
nafta sa površine izdani pomoću sorbenta i nasipanje inertnim materijalom (šljunkom). Tek nakon završetka pomenutih radova pristupilo se izvođenju bunara za bioremedijaciju.





#### 4. PRIKAZ BIOREMEDIJACIONOG TRETMANA PODZEMNIH VODA

Za remedijaciju podzemnih voda na obe lokacije primenjen je "in situ" tretman bipolarnim modelom, tačnije uspostavljanjem recirkulacije kombinacijom crpnih i upojnih bunara. Ovaj tretman koristi hemijsku i biološku stimulaciju (aeraciju i augmentaciju) u zatvorenom "bipolarnom" sistemu, sa mogućom adsorpcijom u "spoljnoj jedinici". Pomenuti model predstavlja deo idejnog rešenja "BREM GROUP" za jedan slučaj zagađenja sirovom naftom, čiji je šematski prikaz dat na slici 5.

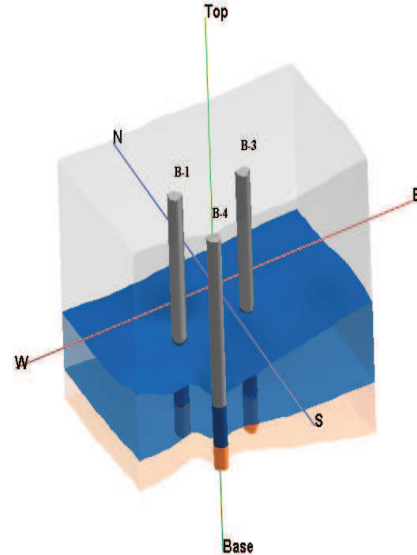


**Slika 5.** Šematski prikaz bipolarnog modela [2]  
**Fig. 5** Schematic preview of bipolar model [2]

Kroz nalivni-injekcioni bunar (1) se iz rezervoara (9) u tok zagađenih podzemnih voda (3) unosi rastvor sa mikroorganizmima (bioaugmentacija) i hranljivim komponentama (biostimulacija) i aeriše pomoću kompresora ili dodavanjem hemijskih generatora molekulskog kiseonika (bioaeracija) uređajem (10), čime se započinje bioremedijacioni ciklus podzemnih voda. Pumpom u crpnom bunaru (2) podzemne vode se transportuju u prihvatni rezervoar (8), koji ima ulogu separacionog suda (odvajanje eventualno ispumpane nafte), pufer tanka i protočnog ili stacionarnog bioreaktora za razgradnju kontaminanata u podzemnoj vodi. U zavisnosti od hidrodinamičkih pokazatelja, moguće je rezervoare (8. i 9.) prespojiti ("by-pass"), tako da cirkulacija bude bez retencije. Ovaj sistem pretpostavlja poznavanje geometrije same izdani, kako podine (7), tako i nivoa podzemnih voda (6).

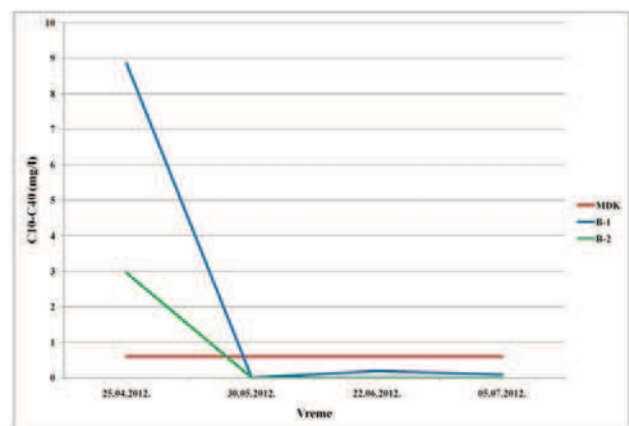
Primeni bipolarnog modela prethodilo je izdvajanje mikroorganizama sa datog područja i njihovo umnožavanje u laboratorijskim uslovima. Njihovom dodavanju na lokaciji (bioaugmentaciji) prethodilo je dodavanje vodonik-peroksida kao sredstva za pospešivanje aeracije. U cilju postizanja što boljih efekata, između crpnih i upojnih bunara instalirane su adsorpcione kolone sa aktivnim ugljem. Recirkulacija je postignuta crpenjem zagađenih podzemnih voda "nizvodnim" bunarom ( $Q_{sr} = 0,2$  l/s), prolaskom kroz

adsorpcionu kolonu i vraćanjem u podzemlje preko dva "uzvodna" bunara. Konkretno, na lokaciji L-1 bunar B-2 je bio upojni (B-3 je tokom tretmana postao neupotrebljiv), dok je B-1 imao ulogu crpnog. Na lokaciji L-2 upojni bunari su bili B-1 i B-3, dok je crpni bunar bio B-4, prostorni položaj pomenutih bunara na ovoj lokaciji dat je na slici 6.

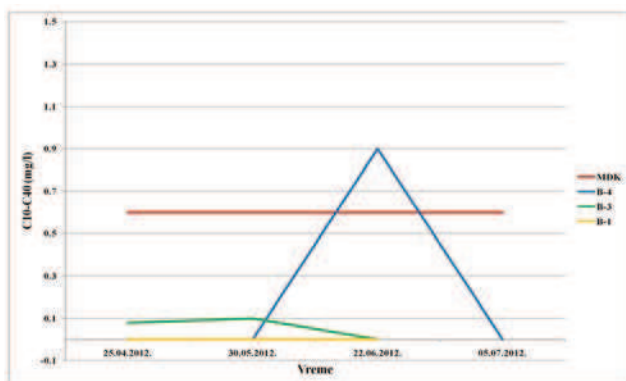


**Slika 6.** 3D prikaz bipolarnog modela za bioremedijaciju podzemnih voda na lokaciji L2  
**Fig. 6** 3D preview of bipolar model for bioremediation of groundwater at the site L2

Efekti bioremedijacije su praćeni kako periodičnim uzimanjem uzoraka podzemnih voda, tako i merenjem geohemijskih parametara sredine. Prikaz koncentracija naftnih ugljovodonika u podzemnim vodama na lokacijama L1 i L2 (tokom izvođenja bioremedijacije) dat je na slikama 7 i 8. Postizanjem nižih koncentracija naftnih ugljovodonika od remedijacionih (MDK = 0,6 mg/l) stekli su se uslovi za završetak bioremedijacije podzemnih voda na lokaciji "Niteks" u Nišu.



**Slika 7.** Koncentracije naftnih ugljovodonika u podzemnim vodama na lokaciji L1  
**Fig. 7** Concentrations of petroleum hydrocarbons in groundwater at the site L1



**Slika 8.** Koncentracije naftnih ugljovodonika u podzemnim vodama na lokaciji L2

**Fig. 8** Concentrations of petroleum hydrocarbons in groundwater at the site L2

## 5. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada je da ukaže na značaj problematike zagađivanja podzemnih voda, kao jednog od najdragocijenijih resursa, naftnim ugljovodicima. Upravo metode bioremedijacije su postale neizostavne kada je reč o problematici zagađivanja životne sredine pomenutim polutantima. Njihova specifičnost se ogleda u neophodnosti da se obezbede optimalni uslovi sredine za odvijanje procesa i njihovu primenu. Istraživanja na lokaciji fabrike "Niteks" u Nišu potvrdila

su teorijske postavke vezane za primenu ovih metoda, kroz neophodnost izvođenja multidisciplinarnih istraživanja i saradnju stručnjaka iz različitih oblasti. "In situ" tretman zagađenih podzemnih voda je izveden primenom bipolarnog modela, uspostavljenjem recirkulacije kombinacijom crpnih i upojnih bunara. Korišćenjem potencijala same sredine - autohtonih mikroorganizama (bioaugmentacijom) i poboljšavanjem postojećih uslova (biostimulacijom) uspešno je izvršena bioremedijacija podzemnih voda. Značaj ovih istraživanja dobija na težini koliko se ima u vidu da su rezultati ostvareni u terenskim uslovima.

## LITERATURA

1. Alvarez JP, Illman AW (2005). Bioremediation and Natural Attenuation: Process Fundamentals and Mathematical Models. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY
2. Ferenc Z, Obradović T, Jelesić D, Dinić M, Vrvić M, Radulović M (2012). Projekat sanacije i remedijacije lokacije fabrike "Niteks" u Nišu. Expert inženjering doo, Šabac
3. Krešić N, Vujašinović S, Matić I (2006). Remedijacija podzemnih voda i geosredine. Rudarsko-geološki fakultet
4. Polomčić D, Stevanović Z, Dokmanović P, Ristić Vakanjac V, Hajdin B, Milanović S, Bajić D (2011). Vodosnabdevanje podzemnim voda u Srbiji-stanje i perspektive. Rudarsko-geološki fakultet, 45-77
5. U.S. EPA (2004). Performance Monitoring of MNA Remedies for VOCs in Ground Water. EPA/600/R-04/027, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, National Risk Management Research Laboratory, Cincinnati, OH, 73 pp
6. Wiedemeier TH, Rifai HS, Newell CJ, Wilson JT (1999). Natural Attenuation of Fuels and Chlorinated Solvents in the Subsurface. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, 617 pp

**Kako postići i efikasnost i pouzdanu kontrolu procesa u vodoprivredi?**

**Totalno Integrisana Automatizacija: maksimalna pouzdanost i efikasnost u svim oblastima vodoprivrede.**

Siemens d.o.o. Beograd, Sektor Industrija  
Radoja Dakića 7, 11080 Beograd - Zemun, Srbija  
Tel: +381 11 2096 096 • Fax: +381 11 2096 238  
industrija.rs@siemens.com • www.siemens.rs

Answers for industry.

**SIEMENS**