

Metode hidrogeoloških istraživanja

Zoran Stevanović, Saša Milanović



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

Metode hidrogeoloških istraživanja | Zoran Stevanović, Saša Milanović || 2017 ||

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0006145>

Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду омогућава приступ издањима Факултета и радовима запослених доступним у слободном приступу. - Претрага репозиторијума доступна је на www.dr.rgf.bg.ac.rs

The Digital repository of The University of Belgrade Faculty of Mining and Geology archives faculty publications available in open access, as well as the employees' publications. - The Repository is available at: www.dr.rgf.bg.ac.rs



UNIVERZITET U BEOGRADU
RUDARSKO - GEOLOŠKI FAKULTET
DEPARTMAN ZA HIDROGEOLOGIJU

Zoran Stevanović
Saša Milanović

**METODE
HIDROGEOLOŠKIH
ISTRAŽIVANJA**

BEOGRAD, 2017

UNIVERZITET U BEOGRADU
RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET
DEPARTMAN ZA HIDROGEOLOGIJU

METODE HIDROGEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA

Zoran Stevanović
Saša Milanović

Beograd, 2017

Autori udžbenika:

Zoran Stevanović, redovni profesor RGF

Saša Milanović, naučni saradnik RGF

Recenzenti:

Veselin Dragišić, redovni profesor RGF

Mičko Radulović, redovni profesor Gradjevinskog fakulteta Univerziteta u Podgorici

Štampano u Beogradu,

FDP, Beograd

2017, tiraž 500 primeraka

Izdavač:

Rudarsko-Geološki fakultet

Djušina 7, 11000 Beograd

Urednik

Ivana Vasiljević, vanredni profesor RGF

za Izdavača:

Dušan Polomčić, dekan RGF

Sve fotografije su načinjene od strane autora udžbenika, osim ako to nije drugačije naznačeno u potpisu. Sve skice i šeme koje u potpisu ne sadrže autorizaciju takođe su načinjene od strane autora udžbenika.

CIP - Katalogizacija u publikaciji - Narodna biblioteka Srbije, Beograd
556(075.8)

СТЕВАНОВИЋ, Зоран, 1954-

Metode hidrogeoloških istraživanja / Zoran Stevanović, Saša Milanović.

- Beograd : Univerzitet, Rudarsko-geološki fakultet, 2017 (Beograd : FDP).

- 551 str. : ilustr. ; 24 cm

Tiraž 500. - Bibliografija: str. 529-539. - Registar.

ISBN 978-86-7352-301-9

1. Милановић, Саша, 1972- [аутор]

а) Хидрогеолошка истраживања

COBISS.SR-ID 255310604

Autorska prava pripadaju autorima i Rudarsko-geološkom fakultetu. Svako neovlašćeno kopiranje i preštampavanje sankcionisaće se prema zakonskim propisima.

PREDGOVOR

Kurs *Metode hidrogeoloških istraživanja* star je koliko i Smer za hidrogeologiju na Rudarsko-geološkom fakultetu. Jedina razlika je zamena ranije korišćenog termina *Metodika* pojmom *Metode*, što je učinjeno sa prvom akreditacijom studijskog programa *Hidrogeologija* kod Nacionalnog saveta za visoko školstvo Srbije, 2008. godine. Do kraja sedamdesetih godina XX veka na Smeru za hidrogeologiju izučavani su *Metodika hidrogeoloških istraživanja I* koja prema sadržaju uglavnom odgovara sadašnjem kursu i *Metodika hidrogeoloških istraživanja II* koja se bavila primenjenim hidrogeološkim istraživanjima u različitim oblastima i koja će kasnije prerasti, prvo u *Specijalnu hidrogeologiju*, a potom i grupu specijalističkih predmeta koji se bave problemima vodosnabdevanja podzemnim vodama, rudničke hidrogeologije, geotermalne energije i dr.

Metode hidrogeoloških istraživanja su u školovanju hidrogeologa značajan, možemo reći i jedan od najvažnijih predmeta. Ova konstatacija nije bazirana na subjektivnoj oceni autora koji često smatraju svoje kurseve važnijim od drugih, već na prostoj činjenici da se inženjeri hidrogeologije, oni koji su suštinski u poslu za koji su se i školovali, moraju svakodnevno baviti primenom pojedinih istraživačkih metoda ili izvođenjem i tumačenjem rezultata opita koji su predmet ovog kursa.

Gde je mesto kursa *Metode hidrogeoloških istraživanja* u programu školovanja hidrogeologa na Univerzitetu u Beogradu? Po ranijim programima studija bio je to dvosemestralni kurs u trećoj godini, po važećem programu sluša se kao jednosemestralni u četvrtom semestru (druga godina studija), ali je uvek predstavljao „most“ između osnovnog kursa *Opšte hidrogeologije* i specijalističkih kurseva i problematike koja uključuje i rad na rešavanju konkretnih zadataka, a sa kojima se studenti susreću na završnim godinama studija.

U svetu, i zapadne i istočne naučne škole hidrogeologije prepoznaju sadržaj ovog kursa i većina univerziteta sadrži sličan program, koji se sreće samo pod različitim nazivima, ili je sastavni deo drugih kurseva. U američkim školama uglavnom je to kurs tzv. *Terenske geologije (Field Hydrogeology)* i sa ovim nazivom napisan je i veći broj udžbenika. U ruskoj školi odakle je on pravobitno i transponovan u naše programe, to je kurs *Metodi gidrogeoloških isledovanja* što je praktično i doslovni prevod naziva našeg kursa. U prvim nastavnim godinama nakon osnivanja Smera za hidrogeologiju kao udžbenik je korišćen prevod ruskog udžbenika P.P.

Klimentova ovog naziva, koji je učinio profesor Nikola Milojević. Tokom 1980. u izdanju *Naučne knjige* iz štampe je izašla knjiga profesora Budimira Filipovića *Metodika hidrogeoloških istraživanja I* koju će potom koristiti preko 30 generacija školovanih hidrogeologa. Da profesor Filipović nije u to vreme napisao kvalitetan i sadržajan udžbenik verovatno bi potreba za novim, ubrzala i ovo naše izdanje. Ovako, evo sa razložnim zakašnjenjem, predajemo rukopis novim generacijama studenata, a posvećujemo ga uspomeni na Budimira Filipovića, jednog od osnivača i dugogodišnjeg rukovodioca naše škole hidrogeologije, koji nažalost nije stigao i da recenzira ovaj naš rukopis.

Opšti koncept kursa nije doživeo velike promene tokom proteklih decenija, kada su nastavni programi Hidrogeologije menjani i osavremenjivani. Ipak, usaglašavanjem programa, jedan deo gradiva prepuštan je „susednim“ ili specijalističkim kursevima. Na primer, sa uvođenjem *Dinamike podzemnih voda* i kasnije *Hidraulike bunara*, prestala je potreba da se detaljno razmatra problematika određivanja hidrogeoloških parametara i kvaliteta izrađenog bunara, ali su tehnike i postupci opita crpenja i preliminarne ocene parametara, delom zadržani i u ovom matičnom kursu. Upoređivanjem sadržaja ovog, sa ranijim udžbenikom čitalac će uočiti značajne izmene, bilo kroz nova poglavlja, bilo kroz osavremenjivanje i razradu, kao i primere kod onih poglavlja koja su zadržala svoj prvobitni naziv. Neka poglavlja ranijeg udžbenika izostavljena su u ovom izdanju, zbog racionalizacije obima gradiva.

Hidrogeološka istraživanja kao jedna od disciplina primenjene geološke nauke, podrazumevaju stalni razvoj metoda, i još više tehnika i opreme koja se primenjuje u svakodnevnom radu. U proteklih nekoliko decenija ne samo hidrogeologija, već i mnoge druge primenjene naučne oblasti doživele su ekspanziju i može se reći, novu tehnološku revoluciju. Uvođenje kompjutera i mobilne telefonije u svakodnevni život i inženjerstvo, mogućnosti širokog spektra GIS analiza, interpretacija i tehnike izrade 3D modela i karata, potpuna dostupnost *Google Earth* snimaka, terenska merna i laboratorijska oprema nove generacije, softverski paketi za hidrodinamičke analize i transport zagađenja, sve to je stvorilo uslove za daleko uspešniji, sadržajni i kreativniji rad hidrogeologa. Ipak, sve ove tehnike i alati nisu i neće biti dovoljni ako se pre njih ne usvoje osnovna znanja koja u mnogo čemu nose obeležja tradicionalne geološke škole. I stoga smo u ovom udžbeniku pokušali da spojimo to „obavezno“ geološko znanje, nekad možda i previše pojednostavljujući potrebna pojašnjenja, sa inovativnim tehnikama i postupcima, i da to prenesemo našim čitaocima. Koliko smo u tome uspeli prosudiće oni sami, ali i rezultati koje studenti budu pokazivali na budućim ispitima.

Značajan deo materije koja se u razmatra u ovom udžbeniku nije matično „hidrogeološki“. O pozajmici od drugih naučnih disciplina biće reči u posebnim poglavljima. Ona je neminovna, jer je i hidrogeologija u najvećoj meri multidisciplinarna. Od tih susednih, brojnih geoloških i negeoloških metoda, prikazali smo samo ono što je najznačajnije i što u najvećoj meri hidrogeolozi koriste u svakodnevnom radu, a izvorna i potrebna proširena znanja moraju se tražiti u knjigama tih matičnih oblasti. Pri tom, u udžbeniku za studente osnovnih akademskih studija se ne mogu prikazati sve moguće metode i postupci kojima se hidrogeolozi služe u svom radu. Hidrogeologija je dinamična disciplina, i sigurno će u nekim budućim udžbenicima biti opisivane tehnike i oprema koje danas teško možemo i zamisliti.

S druge strane, verujemo da ovaj udžbenik može biti od pomoći i geolozima drugih usmerenja i studentima drugih fakulteta koji se bave problematikom voda, uključujući i one van naših granica koji govore ili razumeju srpski jezik. Stoga smo odlučili i da ovaj udžbenik bude pisan latiničnim pismom.

Autori duguju zahvalnost recenzentima prof. Dr Veselinu Dragišiću i prof. Dr Mićku Raduloviću koji su svojim sugestijama značajno pomogli uobličavanju ovog udžbenika. Zahvalnost dugujemo i Dr Romeu Eftimiju na pomoći oko korišćenja njegove bogate stručne literature. Prof Dr Ivana Vasiljević, ujedno i urednik ovog izdanja, prof. Dr Branislav Trivić i Dr Aleksandra Maran Stevanović, nauč.sar. pomogli su nam korisnim sugestijama u obličavanju poglavlja vezanim za njihove uže specijalnosti. Dr Ljiljana Vasić pomogla nam je u pripremi materijala za poglavlja koja se bave hidrohemijom i izotopskim metodama, kao i monitoringom kvaliteta podzemnih voda. Takođe, posebno se zahvaljujemo našim kolegama i prijateljima Pavlu Zankoviću i Branislavu Petroviću. Pavle Zanković pomagao nam je u pripremi dela osnovnog rukopisa prateći predavanja i prezentacije pripremljene za studente. Branislav Petrović pomagao je u tehničkoj obradi i pripremi dela ilustracija udžbenika.

U Beogradu, maj 2017.

*Zoran Stevanović
Saša Milanović*

SADRŽAJ

PREDGOVOR	1
1. PRINCIPI I ETAPNOST HIDROGEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA	5
1.1 Pojam, predmet i sadržaj metoda hidrogeoloških istraživanja.....	5
1.2 Osnovni principi hidrogeoloških istraživanja	6
1.3 Klasifikacija metoda hidrogeoloških istraživanja	12
1.3.1. Upotrebljivost metode.....	13
1.4 Etape hidrogeoloških istraživanja	14
1.5 Hidrogeološko rekognosciranje (izviđanje)	18
1.5.1. Istražni kriterijumi i simptomi	19
1.5.2. Pripreme za hidrogeološko rekognosciranje terena	21
1.5.3. Rekognosciranje – registrovanje hidrogeoloških pojava i objekata	23
1.5.4. Rekognosciranje – organizacija i rad na terenu	33
1.6. Hidrogeološka karta – izrada i korišćenje u istraživanjima	35
1.6.1. Pripremna faza – projektovanje hidrogeološkog kartiranja	36
1.6.2. Faza terenskih radova - hidrogeološko kartiranje.....	37
1.6.2.1. Hidrogeološko kartiranje u okviru platformnih oblasti.....	40
1.6.2.2. Hidrogeološko kartiranje u okviru geosinklinalnih oblasti ...	42
1.6.2.3. Kartiranje u okviru basenskih struktura i kvartarnih tvorevina	52
1.6.3. Faza laboratorijskih i kabinetskih radova - obrada svih prikupljenih podataka i izrada hidrogeološke karte i tumača.....	56
1.7. Oprema za hidrogeološka istraživanja	69
1.7.1. Osnovna oprema	69
1.7.2. Terenska hidrogeološka oprema	71
1.7.3. Laboratorijska hidrogeološka oprema.....	87
1.7.4. Oprema za specijalna istraživanja.....	88
2. VRSTE, KARAKTERISTIKE I PRIMENA POJEDINI GEOLOŠKIH I NEGEOLOŠKIH METODA	91
2.1. Geobotaničke metode.....	91
2.2. Petrološke metode.....	100
2.2.1. Stene i njihova poroznost.....	100
2.2.2. Grupe stena i njihova vodopropusnost.....	102
2.2.3. Stene i kvalitet vode.....	114
2.3. Paleontološke metode	120
2.4. Geomorfološke metode.....	134
2.4.1. Elementi geomorfoloških procesa i istraživački postupak.....	134
2.4.2. Metode geomorfoloških istraživanja i geomorfološka analiza	152

2.5. Speleološke metode	162
2.5.1. Podela i dimenzije speleoloških objekata	162
2.5.2. Metode speleoloških i speleoroničkih istraživanja	171
2.6. Metode daljinske detekcije.....	179
2.6.1 Analiza avionskih snimaka	182
2.6.2 Aerovizuelno osmatranje	185
2.6.3 Analiza satelitskih skanograma.....	186
2.7. Strukturno geološke metode	193
2.7.1. Osnovni elementi tektonike kao predmet strukturno geoloških istraživanja.....	194
2.7.2. Metode strukturno-geoloških istraživanja.....	207
2.8. Hidrometeorološke metode	213
2.9. Hidrološke metode	224
2.10. Geofizičke metode	239
2.10.1. Regionalna „površinska“ geofizička ispitivanja	242
2.10.2. “Lokalna” karotažna geofizička ispitivanja	261
2.11. Hidrohemijske i metode ispitivanja kvaliteta vode.....	268
2.11.1. Formiranje hemijskog sastava podzemnih voda	270
2.11.2. Značaj poznavanja osnovnih fizičko-hemijskih parametara pri određivanju porekla podzemnih voda	275
2.11.3. Karakteristike hemijskog sastava podzemnih voda u najrasprostranjenijim tipovima stena	277
2.11.4. Primena metoda hidrohemije u istraživanju mineralnih sirovina.....	286
2.12. Izotopske metode istraživanja podzemnih voda	289
2.12.1. Pojam i poreklo izotopa	289
2.12.2. Rasprostranjenje stabilnih i radioaktivnih izotopa u prirodi	291
2.12.3. Datiranje podzemnih voda	298
2.12.4. Primena izotopskih metoda u hidrogeologiji	300

3. TERENSKA HIDROGEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA

3.1. Ispitivanja i prikupljanje podataka tokom istražnog bušenja.....	310
3.2. Istražno-eksploatacioni i eksploatacioni hidrogeološki objekti – bunari.....	327
3.3. Opiti i testovi – laboratorijsko i terensko određivanje hidrogeoloških parametara.....	343
3.3.1. Hidrogeološki parametri i režim filtracije.....	343
3.3.2. Metode određivanja hidrogeoloških parametara.....	348
3.3.3. Određivanje koeficijenta filtracije na osnovu granulometrijskog sastava.....	350
3.3.4. Određivanje koeficijenta filtracije pomoću pribora	354
3.3.5. Opit nalivanja vode u raskop	359
3.3.6. Opit nalivanja vode u bušotinu	368
3.3.7. Opit utiskivanja vode u bušotinu – ispitivanje VDP.....	371
3.3.7.1. Injektiranje na bazi ispitivanja VDP	382

3.3.8. Ostali opiti ispitivanja vodopropustljivosti stena.....	385
3.4. Opit crpenja.....	390
3.4.1. Svrha i podela crpenja.....	390
3.4.2. Uspostavljanje računskih šema.....	394
3.4.3. Metodika izvođenja crpenja.....	398
3.4.4. Hidrodinamička obrada podataka testa crpenja za stacionarne uslove filtracije.....	410
3.4.5. Hidrodinamička obrada podataka testa crpenja za nestacionarne uslove filtracije.....	417
3.5. Opiti trasiranja podzemnih voda.....	430
3.5.1. Tipovi i osobine trasera.....	430
3.5.2. Trasiranje u intergranularnim izdanima.....	434
3.5.3. Trasiranje karstnih izdani.....	437
3.6. Dokumentacija hidrogeoloških istraživanja i HGIS (Hidrogeološki Informacioni Sistem).....	455
4. OSNOVE PROUČAVANJA REŽIMA I REZERVI PODZEMNIH VODA.....	467
4.1. Režim podzemnih voda.....	467
4.2. Organizacija monitoringa podzemnih voda.....	482
4.3. Bilans podzemnih voda.....	498
4.4. Rezerve izdanskih voda.....	505
4.4.1. Klasifikacija prirodnih i veštačkih rezervi izdanskih voda.....	505
4.4.2. Klasifikacija eksploatacionih rezervi izdanskih voda po stepenu istraženosti i značaju.....	508
4.4.3. Metode određivanja prirodnih rezervi izdanskih voda.....	511
LITERATURA.....	529
SKRAĆENICE KORIŠĆENE U TEKSTU.....	540
INDEKS POJMOVA.....	542