

DEPARTMAN ZA HIDROGEOLOGIJU  
RUDARSKO GEOLOŠKI FAKULTET  
UNIVERZITET U BEOGRADU

# Speleologija i speleoronjenje u hidrogeologiji karsta

Speleologija i speleoronjenje  
u hidrogeologiji karsta

S. MILANOVIĆ

SAŠA P. MILANOVIĆ

**Departman za hidrogeologiju  
Rudarsko geološki fakultet  
Univerzitet u Beogradu**

**SPELEOLOGIJA I SPELEORONJENJE U  
HIDROGEOLOGIJI KARSTA**

Saša P. Milanović

Beograd, 2012.

Autor: Dr Saša Milanović, dipl. inž. geol.

Recezeni: Dr Zoran Stevanović, red. prof.  
Dr Borivoje Mijatović, red. prof. u penziji  
Dr Veselin Dragišić, red. prof.

Izdavač: Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, Dušina 7

Za izdavača: Dr Vladica Cvetković, red. prof.

Tehnički urednik: Dr Saša Milanović, dipl. inž. geol.

Štampa: Agencija "Background", Pirot

Tiraž: 300 primeraka

Godina: 2012.

CIP - Каталогизација у публикацији  
Народна библиотека Србије, Београд

556.332.46  
551.435.8  
551.44

МИЛАНОВИЋ, Саша, 1978-  
Speleologija i speleoronjenje u  
hidrogeologiji karsta / Saša Milanović. -  
Beograd : Rudarsko-geološki fakultet, 2012  
(Pirot : Agencija "Background"). - 315 str. :  
ilustr. ; 25 cm

Na vrhu nasl. str.: Univerzitet u Beogradu,  
Departman za hidrogeologiju. - Tiraž 300. -  
Bibliografija: str. 307-315.

ISBN 978-86-7352-262-3

a) Хидрогеолошка истраживања - Карст b)  
Спелолошка истраживања  
COBISS.SR-ID 188601612

## *Predgovor*

Saša Milanović, stručni saradnik na Departmanu za Hidrogeologiju Rudarsko Geološkog fakulteta, iako po uobičajenim naučnim merilima još uvek "mlad", već je istaknuti istraživač karstnih terena i speleoloških objekata. Član je Internacionalne asocijacije hidrogeologa, Internacionalne asocijacije hidroloških nauka, Srpskog geološkog društva, potpredsednik Asocijacije speleoloških organizacija Srbije, a od nedavno i član Odbora za kras i speleologiju Srpske akademije nauka i umetnosti.

Učesnik je i organizator više naučno-istraživačkih ekspedicija u zemlji i inostranstvu. Autor je i koautor više od dvadeset naučnih i stručnih radova publikovanih u zemlji i inostranstvu. Koautor je i više stručnih studija, projekata i elaborata iz oblasti hidrogeologije. Tehnički je urednik većeg broja monografija. Priredio je i veći broj naučno popularnih filmova sa tematikom speleologije i speleo ronjenja, a za "Zaboravljene vrste" storiju o živom svetu podzemnih karstnih kanala, nagradjen je na festivalu podvodnog filma u Beogradu, 2005 godine.

Za svoju magistarsku tezu "Istraživanje podzemne morfologije karsta za potrebe primenjene hidrogeologije» odbranjenu na Rudarsko Geološkom fakultetu dobio je 2006. godišnju nagradu «Milan Milićević, inž. geol.» koja se dodeljuje za najuspešnije radove iz oblasti geologije.

Monografija "Speleologija i speleoronjenje u hidrogeologiji karsta" predstavlja zapravo nadgradnju magistarskog rada Saše Milanovića.

Struktuirana je u dvanaest poglavlja. Prvih nekoliko razmatra istorijske aspekte istraživanja u karstu, faktore karstifikacije i hidrogeološke uslove formiranja i razvića podzemnih morfoloških oblika. Ovo je teorijski deo, i može predstavljati koristan vodič posebno onim čitaocima kojima karst nije predmet svakodnevnog interesovanja. S druge strane, neke novije klasifikacije i prezentirana saznanja, mogu poslužiti i profesionalnom čitalačkom krugu. U petom i šestom poglavlju autor se posvećuje detaljnijem opisu najznačajnijih speleoloških objekata Srbije prema njihovoj hidrogeološkoj funkciji. U ovom delu koji ima i izvesnih konverzi, posebno u pogledu korišćenih klasifikacija i izbora prikazanih objekata, mogu se naći veoma dragoceni i noviji podaci ispitivanja naših speleoloških ekipa. Sedmo poglavlje posvećeno metodama ispitivanja karstne podzemne morfologije, zapravo je ključno u ovoj monografiji. Ilustrujući ga brojnim primerima izvedenih ispitivanja u kojima je velikim delom i sam učestvovao, Saša Milanović uspostavlja dobro struktuiranu i prihvatljivu koncepciju i metodiku ispitivanja unutrašnjosti karsta direktnim i indirektnim metodama. Naredna poglavlja razmatraju mogućnost uspostavljanja monitoringa u

podzemnim objektima, pitanje položaja hidrogeoloških vododelnica, izradu katastra speleo objekata u GIS okruženju.

Koliko su rezultati istraživanja Saše Milanovića dragoceni za primenu tehničkih rešenja i efikasnijeg korišćenja voda karstnih izdani, svedoči i niz raznovrsnih primera prezentovanih u narednom, XI poglavlju. Ronilački poduhvati na vrelu "Modro oko" u Krupcu omogućili su uspešnu realizaciju projekta regulacije izdani i povećanje kapaciteta Niškog vodovoda; ispitivanja u Iranu u bokovima brane Salman Farsi omogućila su mikrolociranje nove trase injekcione zavese i time smanjenje gubitaka vode; slična ispitivanja Bogovinskog pećinskog sistema uticala su na smanjenje kote buduće brane; dok su u slučaju izvora Sekerpinari u Turskoj doprinela formiranju konceptijskog rešenja smanjenja zamućivanja voda koje se inače flaširaju i na tržištu javljaju kao veoma poznati brend "Hayatt". Neka druga izvedena ispitivanja tek čekaju punu valorizaciju. Tako Vilina spilja može postati značajan objekat za buduće vodosnabdevanje Crnogorskog primorja, a sličnu valorizaciju mogu imati i izvedena ispitivanja vrulja po obodu Bokokotorskog zaliva.

Podaci dobijeni zaronima u vrelo Krupaje i vrelo Mlave su posebno dragoceni. Još pre dvadesetak godina predložena koncepcija regulisanja ovih vrela i njihovo korišćenje za regionalno vodosnabdevanje, uključujući i mogućnost da se deo voda usmeri i prema Beogradu, ovim je dobila značajnu potvrdu i podršku. Napomenuo bih i da je od Cvijićevih pionirskih batimetrijskih ispitivanja morfologije dna voklijskog vrela Mlave u Žagubici, pa do dobijanja ovih novih podataka proteklo više od 100 godina.

U poslednjem poglavlju potencira se značaj podzemnih morfoloških oblika u karstu i daje predlog mera njihove zaštite od antropogenih zagađenja.

Monografija Saše Milanovića "Speleologija i speleoronjenje u hidrogeologiji karsta", pozitivno će uticati na aktivnije korišćenje i osavremenjavanje metoda speleoloških ispitivanja u nas, ali i na racionalnije i efikasnije korišćenje kvalitetnih podzemnih voda i izradu hidrotehničkih objekata u karstu. Sve to po preporuci autora, uz maksimalno očuvanje podzemnih morfoloških objekata i živog sveta u njima.

*u Beogradu, septembar 2012.*

*Zoran Stevanović*

## SADRŽAJ

UVOD.....	1
<b>I POGLAVLJE</b>	
KRATAK ISTORIJSKI SPELEOLOŠKIH I SPELEORONILAČKIH ISTRAŽIVANJA KARSTA .....	5
<b>II POGLAVLJE</b>	
KARAKTERISTIKE KARBONATNIH STENA I FAKTORI KARSTIFIKACIJE .....	17
2.1. MINERALOŠKE KARAKTERISTIKE .....	19
2.2. PETROGRAFSKE I MEHANIČKE KARAKTERISTIKE.....	22
2.3. POROZNOST .....	24
2.4. FAKTORI KARSTIFIKACIJE .....	26
2.4.1. Hemijska erozija (rastvorljivost, korozija) .....	26
2.4.2. Mehanička erozija .....	29
2.5. KOLAPSIRANJE - PROLAMANJE .....	30
<b>III POGLAVLJE</b>	
HIDROGEOLOŠKI USLOVI FORMIRANJA PODZEMNIH MORFOLOŠKIH OBLIKA U KARSTU .....	33
3.1. SPELEOGENEZA KARSTNE PODZEMNE MORFOLOGIJE (INICIJALNA FAZA).....	35
3.2. RAZVIĆE PODZEMNE MORFOLOGIJE (KASNIJE FAZE).....	38
3.3. HIDROGEOLOŠKI FAKTORI KARSTNOG PROCESA.....	41
3.3.1. Prihranjivanje.....	41
3.3.2. Cirkulacija .....	44
3.3.3. Dreniranje.....	46
<b>IV POGLAVLJE</b>	
RAZVIĆE PODZEMNIH MORFOLOŠKIH OBLIKA U KARSTU .....	49
4.1. KLASIFIKACIJA PODZEMNIH MORFOLOŠKIH OBLIKA.....	52
4.1.1. Podela speleoloških objekata prema dominantnom padnom uglu .....	53
4.1.2. Podela speleoloških objekata prema hidrogeološkoj funkciji.....	54
4.1.3. Podela speleoloških objekata prema hidrološkoj funkciji.....	55
4.1.4. Podela speleoloških objekata prema morfološkom tipu .....	55
4.1.5. Podela speleoloških objekata na osnovu vremena nastanka .....	58
4.2. DIMENZIJE PODZEMNIH MORFOLOŠKIH OBLIKA .....	59
4.3. MIKRO I MAKRO PODZEMNI MORFOLOŠKI OBLICI.....	67
4.4. KARSTNI SIFONI.....	72
<b>V POGLAVLJE</b>	
HIDROGEOLOŠKE SPELEOLOŠKIH OBJEKATA - SA POSEBNIM OSVRTOM NA KARST SRBIJE .....	79
5.1. PONORI .....	82
5.2. JAME I PEĆINE SA STALNOM I POVREMENOM HIDROLOŠKOM FUNKCIJOM .....	95
5.3. SPELEOLOŠKI IZVORSKI OBJEKTI .....	98
5.4. SPELEOLOŠKI OBJEKTI SA SLOŽENOM HIDROGEOLOŠKOM FUNKCIJOM (PONOR-IZVOR) .....	120

<b>VI POGLAVLJE</b>	
ANALIZA HIDROGEOLOŠKE FUNKCIJE PODZEMNIH MORFOLOŠKIH OBLIKA KARSTA SRBIJE .....	127
<b>VII POGLAVLJE</b>	
METODE ISTRAŽIVANJA PODZEMNIH KARSTNIH OBLIKA .....	135
7.1. SPELEOLOGIJA .....	137
7.2. SPELEORONJENJE .....	147
7.3. INDIREKTNE METODE ISTRAŽIVANJA PODZEMNE MORFOLOGIJE .....	166
7.3.1. Terensko hidrogeološko rekognosciranje .....	166
7.3.2. Daljinska detekcija i geomorfološka analiza .....	168
7.3.3. Geofizička istraživanja .....	172
7.3.4. Opit bojenja .....	177
7.3.5. Istražno bušenje .....	181
<b>VIII POGLAVLJE</b>	
SPELEOLOŠKI OBJEKTI KAO DEO OSMATRAČKE MREŽE .....	187
<b>IX POGLAVLJE</b>	
PODZEMNI KARSTNI OBLICI U FUNKCIJI ODREĐIVANJA HIDROGEOLOŠKE VODELNICE .....	195
<b>X POGLAVLJE</b>	
IZRADA SPELEOLOŠKOG KATASTRA I KARTE SPELEOLOŠKIH OBJEKATA I POVEZIVANJE U GIS OKRUŽENJU .....	203
<b>XI POGLAVLJE</b>	
PRIMERI HIDROGEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA PODZEMNE MORFOLOGIJE KARSTA U SVETU I KOD NAS ZA POTREBE TEHNIČKIH REŠENJA .....	215
<b>XII POGLAVLJE</b>	
SPELEOLOŠKI OBJEKTI – ANTROPOGENI UTICAJ, ZAGAĐENJE I ZAŠTITA .....	267
ZAKLJUČAK .....	281
SUMMARY .....	285
FOTO ALBUM .....	293
LITERATURA .....	307