



## MOGUĆNOST PRIMJENE JEDNOG OD SUVREMENIH MODELA PROCESA PRIPREME VODE ZA PIĆE NA IZVORIŠTIMA RADOBOLJA I STUDENAC U MOSTARU

mr.sc. **Tatjana Džeba**, dipl.ing.građ  
Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru

### Sažetak

Okosnicu vodoopskrbnog sustava grada Mostara čine izvorišta Radobolja i Studenac. Na slivnom području ova dva izvorišta sve je izraženija nekontrolirana izgradnja, a prisustvo divljih deponija organskog otpada (iz klaonica) predstavlja direktnu prijetnju kvaliteti vode za piće na izvorištima. Također, dokazani upliv hidrotehničkih akumulacija nije zanemariv, osobito u periodu malih voda.

Stoga je održavanje, razvoj i unapređenje postojećeg sustava brze filtracije i dezinfekcije na izvorištu Radobolja, kao i sustava dezinfekcije na izvorištu Studenac, od izuzetnog značaja. Kroz ovaj rad daje se pregled postojećih modela procesa pripreme vode za piće i razmatra mogućnost primjene i razvoja Stimela okruženja modeliranja na navedenim izvorištima.

**Ključne riječi:** slivno područje, kvalitet vode za piće, izvorište Radobolja i Studenac, mogućnost modeliranja procesa pripreme u Stimela okruženju.

## POSSIBILITY OF APPLYING ONE OF THE MODERN MODELS OF DRINKING WATER PREPARATION ON SPRIGS RADOBOLJA AND STUDENAC IN MOSTAR

**Abstract** The base of the water supply system for the city of Mostar are springs Radobolja and Studenac. In the catchment area of these two springs is an increasingly uncontrolled construction, and the presence of wild landfill sites presents a direct threat to the quality of drinking water in the springs. Also, the evidence of hydroelectric accumulations is not negligible, especially in the period of small water.

Therefore, maintenance, development and improvement of the existing rapid filtration and disinfection system on Radobolja spring as well as the disinfection system on Studenac spring are of utmost importance. This paper reviews existing models of drinking water preparation and examines the potential for application and development of the modeling of Stimela environment on the mentioned springs.

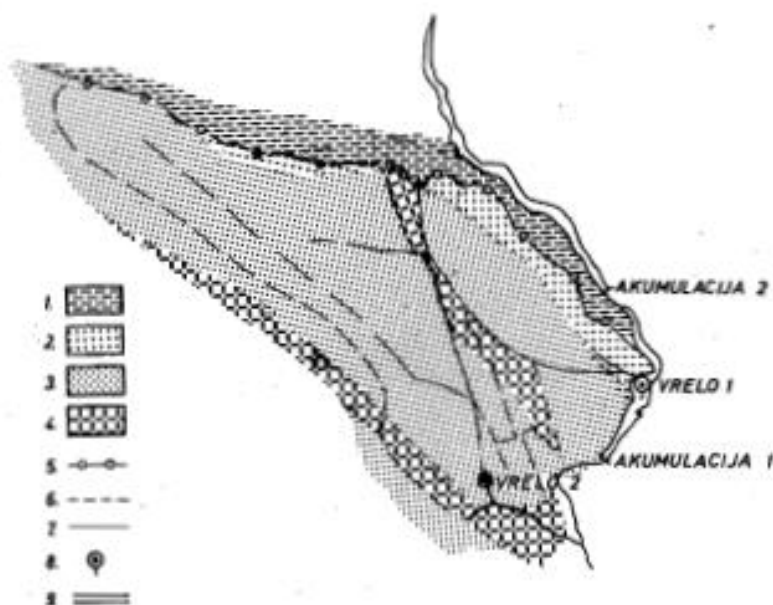
**Key words:** catchment area, quality of drinking water, springs Radobolja and Studenac, possibility of water treatment modeling of Stimela environment.



## 1. Pregled dosadašnjih ispitivanja područja izvorišta

Vodoopskrba urbanog područja grada Mostara počiva na dva glavna izvorišta: vrelo Radobolje i Studenca čiji slivovi predstavljaju složenu cjelinu s varijabilnim granicama.

Slivno područje pretežno karbonatnog masiva izgrađeno je od pukotinsko kavernoznih krednih i eocenskih krečnjaka, rjeđe vodopropusnog fliša i slabovodopropusnog glacijalnog drobinskog materijala. Slabovodopropusni dolomiti (T3,J3) leže u podini karstifikovanih krečnjaka, koji ubrani u siklinorijum zajedno s podužnim i reversnim i normalnim rasjedima omogućavaju kretanje podzemnih voda ka centralnom depresijskom dijelu, pri čemu značajnu ulogu u komunikaciji pri nekim stanjima voda imaju dva dijagonalna rasjeda (Slika 1).



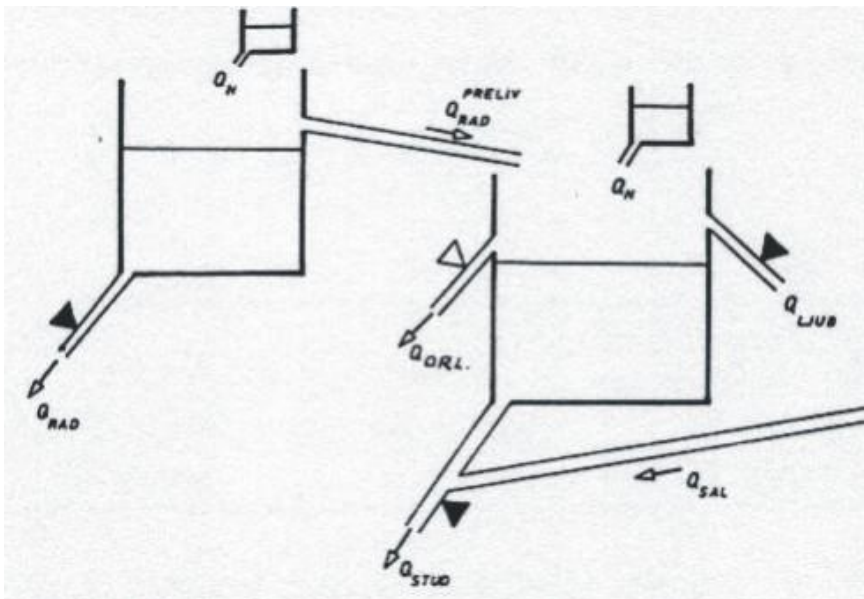
**Slika 1.** Sliv vrela s glavnim geološkim karakteristikama [7]

(Legenda: 1-jura-dolomiti i krečnjaci, 2-kreda-krečnjaci i dolomiti, 3-kreda-krečnjaci, 4-eocen-fliš, 5- orografska vododjelnica, 6-hidrogeološka vododjelnica, 7-rasjed (osnovne tektonske zone s drenažnom funkcijom), 8-vrela)



Površina sliva oba izvorišta iznosi oko  $280 \text{ km}^2$ . Pomoću podataka o oticajima na vrelu Radobolje (vrelo 2), za niz od 40 godina, određena je slivna površina za to vrelo u iznosu od oko  $100 \text{ km}^2$ , dok za sliv Studenac (vrelo 1) otpada površina sliva od  $180 \text{ km}^2$ . Prosječna visina sliva vrela Studenca je oko 990 mm, a sliva vrela Radobolje oko 840 mm.

Vrelo Radobolje je ograničene provodnosti. Znakoviti protoci na ovom vrelu određeni su na temelju podataka o vodostajima i protocima za razdoblje od 40 godina, od 1936. do 1975. godine, i mjerenja od 1977. do 1980. godine. Prosječan godišnji protok za vrelo u tom razdoblju je  $Q_{sr} = 3.15 \text{ m}^3/\text{s}$  [8]. Maksimalni godišnji protok registriran je 1937. godine u vrijednosti  $Q_{sr,max} = 4.56 \text{ m}^3/\text{s}$ , a minimalan 1973. godine u vrijednosti  $Q_{sr,min} = 1.71 \text{ m}^3/\text{s}$ . Zbog ograničene vodljivosti na samom vrelu i zagrađenosti šireg područja vrela slabo vodopropusnim konglomeratima i laporima, pri velikim vodama i višim vodostajima u podzemlju dolazi do prelijevanja dijela voda u dio podzemlja iz kojeg podzemne vode gravitiraju ka izvorištu Studenca (Slika 2).



**Slika 2.** Pojednostavljena shema hidrogeoloških odnosa u slivu vrela Radobolje i Studenac [7]

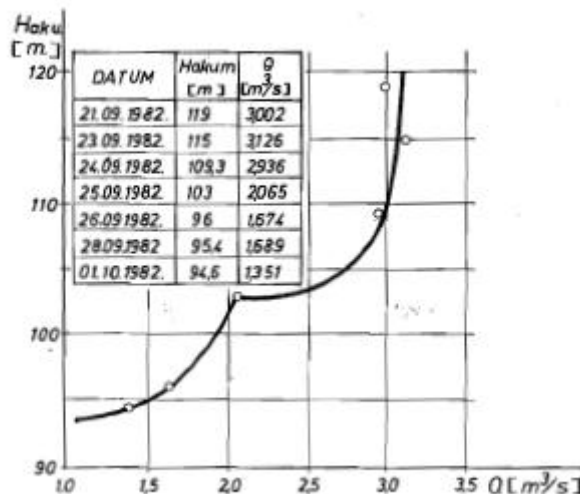
Vrelo Studenac je visinski na oko 66 mm. Prirodni minimum vrela 1 određen je s  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ , koji se puštanjem u pogon akumulacije Salakovac 80-tih godina (akumulacija 2) povisio na  $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ . U prirodnom režimu zabilježen je prosječni proticaj vrela Studenac u iznosu od  $6.4 \text{ m}^3/\text{s}$ . U elaboratu [7] analiziran je utjecaj akumulacije Salakovac (akumulacija 2) i



akumulacije Mostar ( akumulacija 1) na izvorište Studenac i utvrđeno je slijedeće:

Utjecaj i doticaj voda iz akumulacije Salakovac u izvorište Studenac potvrđen je ispitivanjima prilikom pražnjenja akumulacije, te provedenim fizikalno-kemijskim i hidrobiološkim ispitivanjima. Prema obavljenim mjerenjima priljev vode iz akumulacije Salakovac je najveći u periodu malih voda, dok se kod većih voda taj priljev smanjuje, da bi za proticaj od  $6\text{ m}^3/\text{s}$  upliv akumulacije opao na svega 20%.

S mjerenjima protoka konstruirana je ovisnost protok-razine, pomoću kojeg se može utvrditi i visinski položaj pukotinskog sustava iz kojeg vode akumulacije Salakovac ulaze u sustav vrela Studenac.



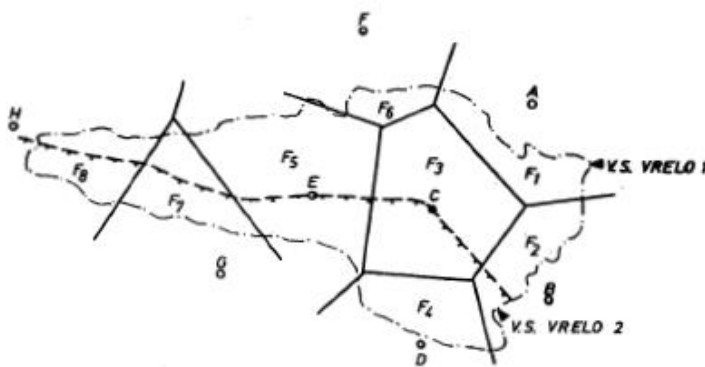
**Slika 3.** Ovisnost protoka na vrelu Studenac i razini vode u akumulaciji Salakovac[7]

Kod hidrobioloških ispitivanja izvršenja je numerička analiza kvalitativnih podataka o sastavu fitosestona iz vrela Studenac i fitoplanktona iz akumulacije Salakovac, te je primijenjen indeks sličnosti po Jaccard-u („koeficijent zajednice“). Direktna nominalna uporedba kvalitativnih sastava fitosestona iz izvorišta i fitoplanktona iz akumulacije, i posebno numerička analiza sličnosti tih sastavapružili su potvrdu sa znaznim stupnjom sigurnosti da se voda iz akumulacije Salakovac mješa sa vodama na izvorištu Studenac.



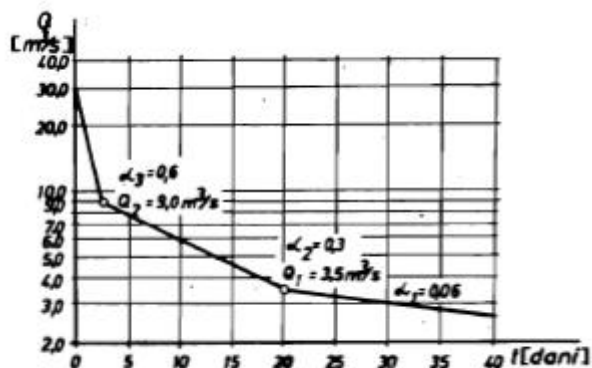
S druge strane je, u tijeku probnog punjenja akumulacije Mostar provedena hidrodinamička analiza. Pri razini akumulacije Mostar od 72 mnm simuliran je rad svih bunara (pet po 120  $\text{dm}^3/\text{s}$  i dva po 250  $\text{dm}^3/\text{s}$  tj. ukupno 1100  $\text{dm}^3/\text{s}$ ). Simulacija je pokazala da će jedino, i tijekom povećanja razine vode pri uspostavljenom novom stacionarnom stanju na razini 78 mnm jedan od bunara (B-3) povlačiti vodu iz akumulacije Mostar.

Za oba vrela izrađen je model veze oborine-otjecanje, dobivene krivulje recesije za oba vrela, a rezultat modela za vrelo Studenac je prikazan na slici 7.

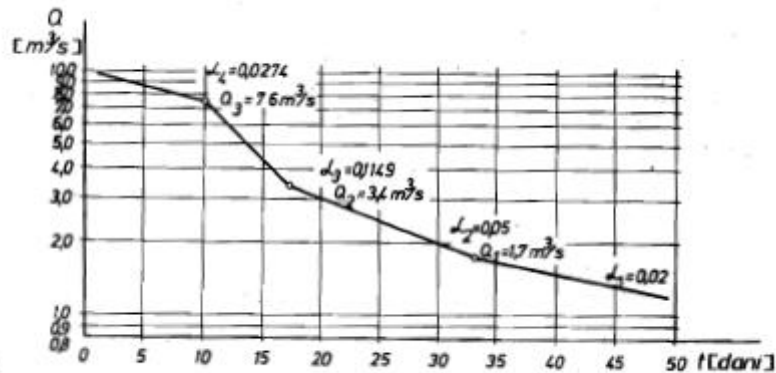


**Slika 4.** Karta Thiessenovih poligona s pripadajućim površinama  $F_t$ , razdjelnicom slivova i pozicijom kišomjernih stanica,  $P_{sr}=1056 \text{ mm}$ [7]

Pomoću podataka o isticanju u recesijskim uvjetima definiran je zakon isticanja vrela Studenac (slika 5.)

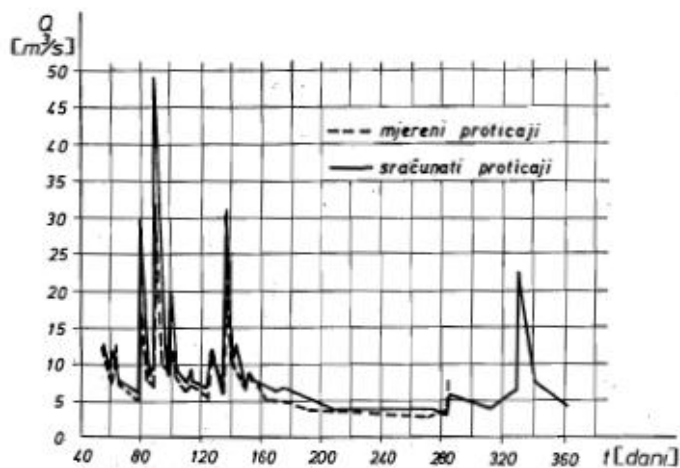


**Slika 5.** Linija recesije vrela Studenac[7]



Slika 6. Linija recesije vrela Radobolja[7]

Zakon istjecanja po kojem se prazni vrelo Radobolje dat je na slici 6.



Slika 7. Proticaj vrela Studenac za 1987.g. [7]

## 2. Aktualni modeli pripreme vode

Stupanj složenosti pripreme vode za piće ovisi s jedne strane o kvaliteti sirove vode koja se eksploatira, a s druge strane o zakonski propisanoj kvaliteti vode za piće. Iskustva s modeliranjem pripreme vode za piće nisu velika, jer su početci modeliranja pripreme vode za piće zabilježeni tek 1990-tih godine [1]. Razlozi tako male uporabe su količina podataka



potrebna za testiranje, te kalibriranje modela, i krutost modela pri primjeni van kalibriranog područja.

Od postrojenja za pripremu vode za piće, na izvorištu Radobolja postoje brzi filteri i sustav dezinfekcije, dok se na izvorištu Studenac samo provodi dezinfekcija. Uglavnom se rad filter stanice (FS) za pripremu vode za piće do sada bazirao na iskustvu operatera, pa je to slučaj i s postojećim sustavom za pripremu vode za piće na izvorištu Radobolja.

**Tablica 1.** Rezime karakteristika modela [3], [9]

<b>Modeli: karakteistike</b>	<b>OTTER (WRc – Komisija za istraživanje voda, SAD),</b>	<b>• Stimela (Tehnički Univerzitet u Delftu, Nizozemska),</b>	<b>Metrex (Tehnički Univerzitet u Duisburgu, Njemačka),</b>	<b>WTP (EPA US– Agencija za zaštitu okoliša, SAD),</b>	<b>WatPro (Hydromantis, Kanada),</b>
<b>Dinamičnost</b>	<b>DA</b>	<b>DA</b>	<b>DA</b>	<b>NE</b>	<b>NE</b>
<b>Prerada mulja</b>	<b>DA</b>	<b>NE</b>	<b>NE</b>	<b>NE</b>	<b>NE</b>
<b>Recirkulacija</b>	<b>DA</b>	<b>DA</b>	<b>NE</b>	<b>NE</b>	<b>NE</b>
<b>Dizinfekcija</b>	<b>DA</b>	<b>DA</b>	<b>DA</b>	<b>DA</b>	<b>DA</b>
<b>Bistrenje</b>	<b>DA</b>	<b>NE</b>	<b>DA</b>	<b>NE</b>	<b>NE</b>
<b>Filtracija</b>	<b>DA</b>	<b>DA</b>	<b>DA</b>	<b>NE</b>	<b>NE</b>
<b>Lako proširenje</b>	<b>NE</b>	<b>DA</b>	<b>NE</b>	<b>NE</b>	<b>NE</b>
<b>Projekt. i u radu</b>	<b>DA</b>	<b>DA</b>	<b>NE</b>	<b>DA</b>	<b>DA</b>
<b>Istraživačka uporaba</b>	<b>NE</b>	<b>DA</b>	<b>DA</b>	<b>NE</b>	<b>NE</b>
<b>Lakoća uporabe</b>	<b>DA</b>	<b>NE</b>	<b>NE</b>	<b>DA</b>	<b>DA</b>



Većinom godine kvaliteta vode na izvorištu Radobolja je dobra, pa se od postupaka provodi samo dezinfekcija, a kvalitet vode se svakodnevno u tijeku radnog tjedna prati i analizira u Higijenskom zavodu Mostar. U periodima velikih kiša i izraženih pljuskova dolazi do pojave mutnoće, te se u tim slučajevima voda za piće pročišćava putem FS na izvorištu, te dezinficira. Izuzev iskustva dežurnog operatera, ne postoji nikakav model kojim se prati i optimizira proces na FS.

Posljednja dostignuća u oblasti procesa pripreme vode za piće [9] usmjerena su ka dobivanju modela s konceptom „stvarne stanice za preradu vode“ kao sredstva za oponašanje već izgrađene stanice i time alata za pomaganje operateru u iznalaženju optimalnih odrednica za rad same stanice. U tablici 1. su dati aktualni raspoloživi modeli i njihove karakteristike.

Stimela i Matrex okruženje modeliranja koriste okvirni alat – MATLAB / Simulink, koji čine modele Stimela okruženja jednostavnim i pristupačnim, struktura modela je otvorena i fleksibilna, grafička vizuelizacija rezultata je također dostupna i nije neophodno da korisnik uči MATLAB ili Simulink.

### 3. Modeliranje pripreme vode za piće u Stimela okruženju

Stimela je okruženje modeliranja koje je razvijeno i koje se i dalje razvija u kompaniji DHV Water BV (DHV Water BV, 2016) i Tehničkom Sveučilištu u Delftu – Nizozemska. Ovo Sveučilište ima dužu tradiciju korištenja modeliranja u edukacijske i znanstveno istraživačke svrhe, te je na njemu već obranjeno par znanstveno stručnih disertacija, koje se bave razvojem i primjenom modela Stimela okruženja [4] i [5]. Stimela modeli procesa pripreme vode za piće zahtijevaju definiranje različitih parametara kvaliteta vode (parametri ovisni od konkretnog procesa). Svaki blok sadrži datoteke, odnosno parametre koji su relevantni za taj blok i proces prerade, te druge podatke koji opisuju stanje tih procesa (gubici tlaka u filterima, stupanj zasićenja aktivnog uglja, veličina zrna u reaktoru za omekšavanje i sl). Simulacija modeliranjem može biti pokrenuta nakon definiranja svih potrebnih parametara u okviru definiranih datoteka, birajući metod povezivanja u blok dijagram, veličinu koraka i vrijeme simulacije. Nakon simulacije dobiva se grafički izlaz (eventualno i tablični prikaz), otvaranjem izlaznog bloka. Proračunate vrijednosti iz izlaznih blokova modela mogu se uporediti sa izmjerenim vrijednostima, i dalje, u okviru primjene modela, provoditi kalibracija, verifikacija, odnosno testiranje modela koristeći odgovarajuću bazu podataka.

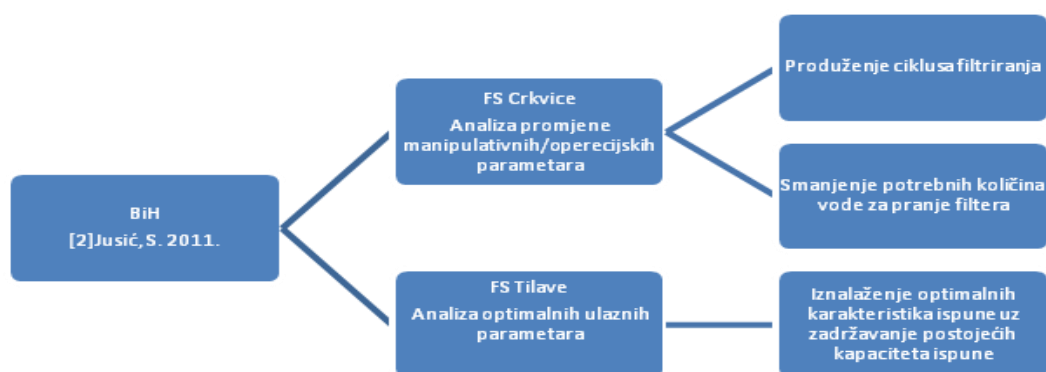
U BiH je urađena i obranjena jedna doktorska disertacija u Stimela okruženju modeliranja [2], gdje je prikazana efektivna primjena ovog modela kroz primjere dvije FS u BiH (FS »Crkvice«





Zenica i FS »Tilave« Sarajevo), gdje su potvrđene pozitivne mogućnosti primjene modeliranja iz Stimela okruženja. Definirana je procedura, odnosno koraci pri primjeni modeliranja procesa konvencionalnog filtriranja.

Dokazano je da primjena modela znači bolju i efikasniju primjenu podataka koji se prate na FS kroz definiranje baze podataka za modeliranje, te bolje razumjevanje procesa povećanjem uvida kako različiti parametri djeluju na sam proces, posebno na njegove izlazne/kontrolne parametre.



**Slika 8.** Prikaz rezultata modeliranja u [2]

Također, koristeći mogućnosti modeliranja, dokazana je mogućnost efikasnijeg korištenja raspoloživih kapaciteta FS (na primjer, izborom odgovarajućeg tipa ispune, odnosno odgovarajućih operacijskih parametara). Disertacija je pokazala da modeliranje može biti instrument podrške u pripremi vode za piće, maksimalno koristeći raspoložive podatke i instalirane kapacitete, odnosno opremu i objekte stanice.

#### 4. Zaključak

Kao zaključak se nameće činjenica da primjena modeliranja znači podršku procesima prerade bez velikog oslanjanja na iskustvene podatke i skupa pilot istraživanja.

Obzirom da pojedini blokovi Stimela okruženja nisu do sada dovoljno istraživani (npr. dezinfekcija), mogućnost primjene za izvorište Radobolja i Studenac u Stimela okruženju značilo bi primjenu i usavršavanje postojećeg modela na brze filtere na izvorištima i razvoj modela za dezinfekciju u ovom okruženju.



**Slika 9.** Izvorište Radobolja u Mostaru[8]

### Literatura

- [1] Dudley, J., Dillon, G. and Rietveld, L.C. (2008), "Water treatment simulators", J. Water Supply: Res. Technol.- AQUA, 57(1)
- [2] Jusić, S.(2011.): Modeliranje konvencionalnog brzog filtriranja, Doktorski rad, Građevinski fakultet Univerziteta u Sarajevu, Sarajevo, 149
- [3] Hamouda, M. A., Best, J., Anderson, W. B. i Huck, P.M. (2014): What Dynamic Simulation Can Add to Water Utility Risk Assessment, Conference: 2014 OWWA/OMWA Joint Annual Conference and Trade Show, London, May 4th - 7th, 2014
- [4] Rietveld, L.C. (2005), Improving Operation of Drinking Water Treatment through Modeling, PhD Dissertation, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, University of Technology, TU Delft.
- [5] Van Schagen, K.M. (2009), "Model-Based Control of Drinking-Water Treatment Plants", PhD Dissertation, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, University of Technology, Delft.
- [6] www. Stimela.com
- [7] Avdagić, I., Ćorović, A. Filipović, S, Preka, N. Preka-Lipold, N.(1990.) Unapređenje metoda korištenja i zaštite voda u oblasti mediteranskog krša, Zavod za hidrotehniku Građevinskog fakulteta u Sarajevu, YU ISSN 0350-204X, str 139-167
- [8] Antunović, I. i ostali (2007.), Zaštita izvorišta voda Radobolje i Studenca, Integra, d.o.o. Mostar
- [9] Jusić, S.: Novi pristupi modeliranju pripreme vode za piće, VODOPRIVREDA 0350-0519, Vol. 48 (2016) No. 282-284 p. 191-201