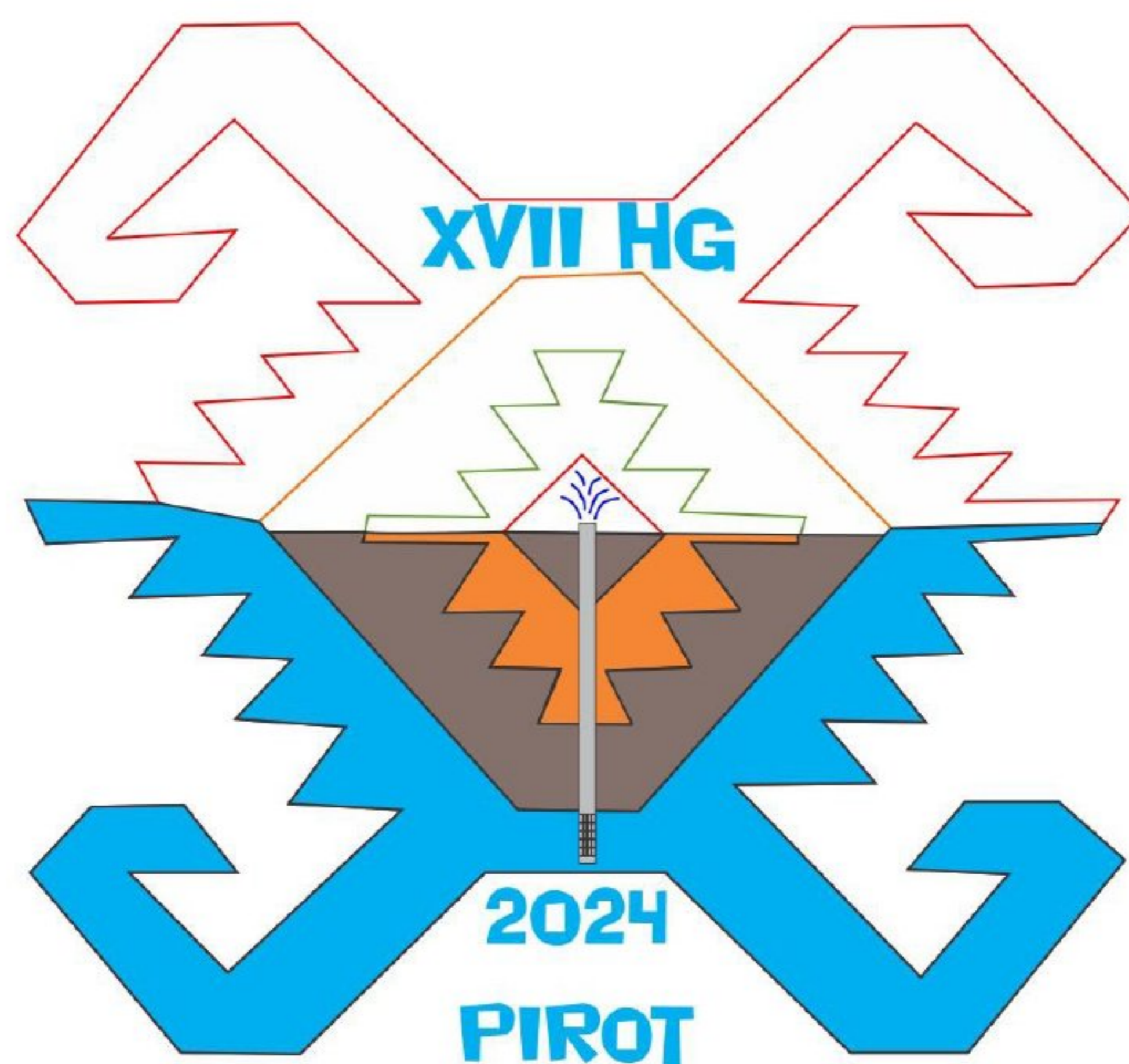


UNIVERZITET U BEOGRADU  
RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET  
DEPARTMAN ZA HIDROGEOLOGIJU

HG

XVII SRPSKI SIMPOZIJUM  
O HIDROGEOLOGIJI  
sa međunarodnim učešćem

**ZBORNİK RADOVA**



02-06. oktobar  
2024. godine



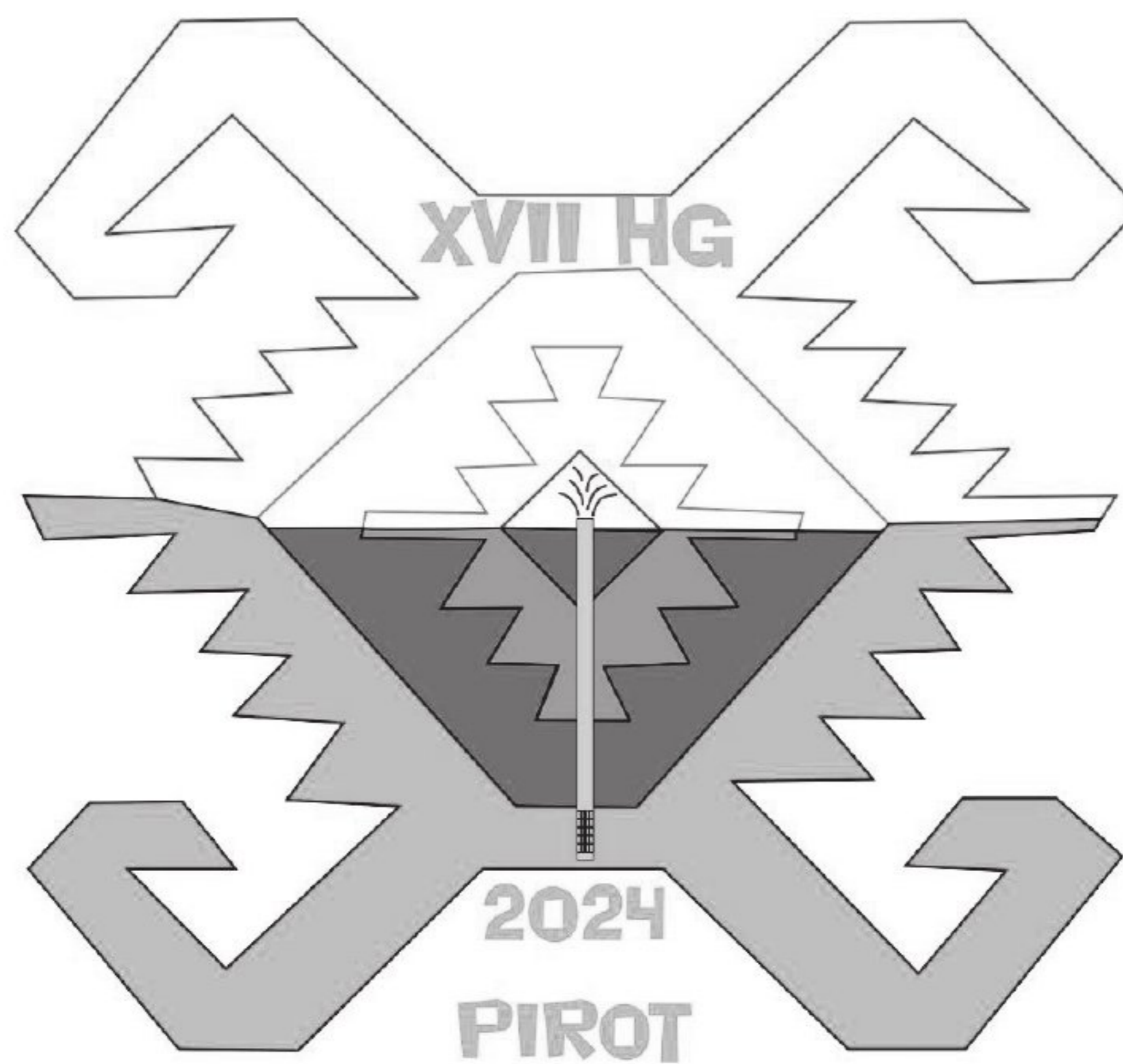


UNIVERZITET U BEOGRADU  
RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET  
DEPARTMAN ZA HIDROGEOLOGIJU

HG

XVII SRPSKI SIMPOZIJUM  
O HIDROGEOLOGIJI  
sa međunarodnim učešćem

**ZBORNİK RADOVA**



02-06. oktobar  
2024. godine





**XVII SRPSKI SIMPOZIJUM O HIDROGEOLOGIJI**  
sa međunarodnim učešćem  
**ZBORNIK RADOVA**

**IZDAVAČ:**

Univerzitet u Beogradu  
Rudarsko-geološki fakultet  
Đušina 7

**ZA IZDAVAČA:**

Prof. dr Biljana Abolmasov, dekan  
UB Rudarsko-geološki fakultet

**UREDNIK:**

Doc. dr Ljiljana Vasić, ☎0000-0001-9140-5748  
UB Rudarsko-geološki fakultet

**TIRAŽ:**

150 primeraka

**ŠTAMPA:**

Pi Press, Pirot

**GODINA IZDANJA: 2024.**

Na 10/23. Sednici Veća Departmana i Katedre za hidrogeologiju doneta je odluka o organizaciji XVII srpskog simpozijuma o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem, koja je potvrđena i Saglasnošću Nastavno-naučnog veća Rudarsko-geološkog fakulteta br. 8/67 od 20.10.2024. godine.

Autori priloga u ovom Zborniku odgovorni su za sadržaj i autorska prava njihovih članaka. Ni izdavač ni bilo koja druga osoba koja deluje u njeno ime nije odgovorna za moguće korišćenje informacija sadržanih u ovoj publikaciji.

**Naslovna strana: Logo simpozijuma**

CIP - Каталогизација у публикацији Народна библиотека Србије, Београд

556(082)  
628.1(082)

**СРПСКИ симпозијум о хидрогеологији са међународним учешћем (17 ; 2024 ; Пирот)**

Zbornik radova / XVII Srpski simpozijum o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem, 02-06. oktobar 2024. godine, Pirot ; [urednik Ljiljana Vasić]. - Beograd : Univerzitet, Rudarsko-geološki fakultet, 2024 (Pirot : Pi Press). - [19], 598 str. : ilustr. ; 30 cm

Kor. nasl. - Na vrhu nasl. str.: Departman za hidrogeologiju. - Radovi na srp. i engl. jeziku. - Tiraž 150. - Str. [5-6]: Uvodna reč organizatora / Saša Milanović, Dušan Polomčić. - Abstracts. - Bibliografija uz svaki rad.

ISBN 978-86-7352-405-4

a) Хидрогеологија -- Зборници b) Снабдевање водом -- Зборници

COBISS.SR-ID 151976457



## ORGANIZACIONI ODBOR:

### **Predsjednik**

*Prof. Dr Saša Milanović*  
*UB Rudarsko-geološki fakultet*

### **Generalni sekretar**

*Prof. Dr Vesna Ristić Vakanjac*  
*UB Rudarsko-geološki fakultet*

### **Članovi:**

**Dr Branislav Petrović**, naučni saradnik  
*UB Rudarsko-geološki fakultet*

**Dr Veljko Marinović**, naučni saradnik  
*UB Rudarsko-geološki fakultet*

**Dr Bojan Hajdin**, naučni saradnik  
*UB Rudarsko-geološki fakultet*

**Dr Marina Ćuk Đurović**, naučni saradnik  
*UB Rudarsko-geološki fakultet*

**Dr Maja Todorović**, naučni saradnik  
*UB Rudarsko-geološki fakultet*

**Dr Nebojša Atanacković**, naučni saradnik  
*UB Rudarsko-geološki fakultet*

**Dr Marjan Temovski**, viši naučni saradnik  
*Institute for Nuclear Research, Debrecen*

**Dr Đorđije Božović**, dipl. inž. geol.  
*JKP "Beogradski vodovod i kanalizacija"*

**Jelena Ratković**, master. inž. geol.  
*UB Rudarsko-geološki fakultet*

**Sava Magazinović**, dipl. inž. geol.  
*UB Rudarsko-geološki fakultet*

**Dejan Drašković**, dipl. inž. geol.  
*BeoGeoAqua doo*

**Branko Ivanković**, dipl. inž. geol.  
*Ibis-Inženjering doo*

**Dragan Mihajlović**, dipl. inž. geol.  
*Geološki zavod Srbije*

**Boyka Mihaylova**, master inž. geol.  
*Geological Institute, BAS*

**Daniela Radoš**, dipl. inž. geol.  
*Pokrajinski sekretarijat za energetiku,  
građevinarstvo i saobraćaj*

**Ivan Đokić**, dipl. inž. geol.  
*GECO-inženjering doo*

**Milorad Kličković**, dipl. inž. geol.  
*Zavod za zaštitu prirode Srbije*

**Uroš Jurošević**, dipl. inž. geol.  
*Republički zavod za geološka istraživanja RS*

**Andrej Pavlović**, dipl. inž. geol.  
*Ministarstvo rudarstva i energetike Srbije*

## NAUČNI ODBOR (RECENZENTI):

### **Predsjednik**

*Prof. Dr Dušan Polomčić*  
*UB Rudarsko-geološki fakultet*

### **Članovi:**

**Prof. Dr Vesna Ristić Vakanjac**  
*UB Rudarsko-geološki fakultet*

**Prof. Dr Petar Dokmanović**  
*UB Rudarsko-geološki fakultet*

**Prof. Dr Olivera Krunić**  
*UB Rudarsko-geološki fakultet*

**Prof. Dr Dejan Milenić**  
*UB Rudarsko-geološki fakultet*

**Prof. Dr Vladimir Živanović**  
*UB Rudarsko-geološki fakultet*

**Prof. Dr Saša Milanović**  
*UB Rudarsko-geološki fakultet*

**Prof. Dr Dragoljub Bajić**  
*UB Rudarsko-geološki fakultet*

**Prof. Dr Jana Štrbački**  
*UB Rudarsko-geološki fakultet*

**Doc. Dr Ljiljana Vasić**  
*UB Rudarsko-geološki fakultet*

**Doc. Dr Dragoslav Banjak**  
*Univerzitet Crne Gore, Filozofski fakultet*

**Doc. Dr Katarzyna Wator**  
*AGH University of Krakow*

**Dr Josip Terzić**, naučni savetnik  
*Geološki zavod Hrvatske HGI*

**Dr Tamara Marković**, naučni savetnik  
*Geološki zavod Hrvatske HGI*

**Dr Laszlo Palcsu**, naučni savetnik  
*Institute for Nuclear Research, Debrecen*

**Prof. Dr Nenad Marić**  
*UB Šumarski fakultet*

**Prof. Dr Aleksey Benderev**  
*Geological Institute, BAS*

**Prof. Dr Ferid Skopljak**  
*Federalni zavod za geologiju, FBiH*

**Prof. Dr Metka Petrič**, znanstvena savetnica  
*Inštitut za raziskovanje krasa, Postojna*



Doc. Dr **Ana Vranješ**  
*UB Rudarsko-geološki fakultet*  
Prof. Dr **Zoran Stevanović**, u penziji  
*UB Rudarsko-geološki fakultet*  
Prof. Dr **Veselin Dragišić**, u penziji  
*UB Rudarsko-geološki fakultet*  
Prof. Dr **Milojko Lazić**, u penziji  
*UB Rudarsko-geološki fakultet*

Prof. Dr **Zoran Nikić**, u penziji  
*UB Šumarski fakultet*  
Prof. Dr **Milan Radulović**  
*Univerzitet Crne Gore, Građevinski fakultet*  
Prof. Dr **Jugoslav Nikolić**  
*Republički hidrometeorološki zavod Srbije*  
Prof. Dr **Miloš Stanić**  
*UB Građevinski fakultet*  
Prof. Dr **Petar Milanović**, u penziji  
*Univerzitet u Mostaru, Građevinski fakultet*  
Mr. **Vesna Tahov**, dipl. inž. geol.  
*Geološki zavod Srbije*

Prof. Dr **Nataša Ravbar**, viša znan. savetnica  
*Inštitut za raziskovanje krasi, Postojna*  
Dr **Kostadin Jovanov**, dipl. inž.  
*Geološki zavod Republike S. Makedonija*  
Dr **Romeo Eftimi**, dipl. inž., u penziji  
*Nezavisni istraživač, Albanija*  
Prof. Dr **Iulian Popa**  
*Facultatea de Geologie și Geofizică*  
*Universitatea din București*  
Dr **Milovan Rakijaš**, dipl. inž. geol.  
*Hidrogeorad d.o.o.*  
Dr **Vladimir Beličević**, dipl. inž. geol.  
*Energoprojekt Hidroinženjering AD*  
Dr **Tanja Petrović Pantić**, naučni saradnik  
*Geološki zavod Srbije*  
Dr **Branislav Petrović**, naučni saradnik  
*UB Rudarsko-geološki fakultet*  
Dr **Veljko Marinović**, naučni saradnik  
*UB Rudarsko-geološki fakultet*  
Dr **Brankica Majkić Dursun**, dipl. inž. geol.  
*Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi”*

#### UREĐIVAČKI ODBOR:

##### **Predsednik**

Doc. Dr **Ljiljana Vasić** ☎0000-0001-9140-5748  
*UB Rudarsko-geološki fakultet*

##### **Članovi:**

Prof. Dr **Ivana Vasiljević** ☎0000-0002-0549-2652  
*UB Rudarsko-geološki fakultet*  
Prof. Dr **Nevenka Đerić** ☎0000-0002-5141-898X  
*UB Rudarsko-geološki fakultet*  
Prof. Dr **Tina Dašić** ☎0000-0002-4679-3101  
*UB Građevinski fakultet*

#### TEHNIČKI ODBOR:

**Srđan Stefanović**, master inž. geol.  
*Agencija Background, Pirot*  
**Petar Vojnović**, master inž. geol.  
*UB Rudarsko-geološki fakultet*  
**Milica Stepanović**, master inž. geol.  
*UB Rudarsko-geološki fakultet*  
**Jovana Mladenović**, master inž. geol.  
*UB Rudarsko-geološki fakultet*  
**Natalija Radosavljević**, master inž. geol.  
*UB Rudarsko-geološki fakultet*  
**Hristina Petrova**, master inž. geol.  
*UB Rudarsko-geološki fakultet*

**Eugène Katansao Pyabalo**, mast. inž.  
*UB Rudarsko-geološki fakultet*  
**Kodjovi Zondokpo**, mast. inž.  
*UB Rudarsko-geološki fakultet*  
**Maša Vulović**, dipl. inž. geol.  
*UB Rudarsko-geološki fakultet*  
**Aleksandar Tanasković**, dipl. inž. geol.  
*UB Rudarsko-geološki fakultet*  
**Jovana Lončar**, student  
*UB Rudarsko-geološki fakultet*



**ORGANIZATOR SIMPOZIJUMA:**

*UNIVERZITET U BEOGRADU  
RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET  
DEPARTMAN ZA HIDROGEOLOGIJU*

*u saradnji sa*

*SRPSKIM GEOLOŠKIM DRUŠTVOM*

*SAVEZOM INŽENJERA I TEHNIČARA SRBIJE*

*DRUŠTVOM GEOLOŠKIH INŽENJERA I TEHNIČARA SRBIJE*

*NACIONALNIM KOMITETOM IAH*

*MULTILATERALNIM CENTROM, PIROT*

***POKROVITELJI:***

***MINISTARSTVO NAUKE, TEHNOLOŠKOG RAZVOJA I INOVACIJA  
REPUBLIKE SRBIJE***

***GRAD PIROT***

***SPONZORI:***

***JP „VODOVOD I KANALIZACIJA“ PIROT  
DEPARTMAN ZA HIDROGEOLOGIJU, RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET***

***BEOGEOAQUA D.O.O.***

***TAŠ GRUPA***

***AQUA PRO ENERGY D.O.O.***

***CENTAR ZA HIDROGEOLOGIJU KARSTA***

***TURISTIČKA ORGANIZACIJA PIROT***

***IBIS-INŽENJERING D.O.O.***

***STRATING D.O.O.***

***GECO-INŽENJERING D.O.O.***

***FREATIKA***

***AGENCIJA ZA MARKETING BACKGROUND***

## ULOGA ESTAVELA U FUNKCIONISANJU KARSTNIH SISTEMA

### THE ROLE OF ESTAVELAS IN THE FUNCTIONING OF KARST SYSTEMS

Petar Vojnović<sup>1</sup>, Saša Milanović<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Rudarsko-geološki fakultet, Dušina 7, 11000 Beograd. E-mail: [petar.vojnovic@rgf.bg.ac.rs](mailto:petar.vojnovic@rgf.bg.ac.rs)

**APSTRAKT:** *S obzirom da se do sada u hidrogeološkoj praksi malo govorilo o fenomenu estavela, javila se potreba za analizom i sintezom stečenih znanja i dostupne literature u vezi sa njima. Pojava estavela je limitirana geološkim faktorima tako da se sreću samo u terenima sa značajnim rasprostranjenijem krečnjaka, odmaklim procesom karstifikacije i velikim kolebanjima nivoa podzemnih voda. Pored toga, u procesu njihovog nastajanja važnu ulogu ima i tektonika, koja svojom aktivnošću predisponira pravac kretanja podzemnih voda i njihovo pojavljivanje na površini terena. Estavele imaju složenu hidrogeološku funkciju koja se može najjednostavnije opisati kao naizmjenični rad izvora i ponora. Da li će estavela raditi kao izvor ili ponor zavisi od mnogo faktora, među kojima prednjači klima. Reakcija izdani na padavine obično je jako brza, što zavisi i od sistema do sistema, a za posledicu ima aktiviranje rada estavele što se reflektuje kroz brzo podizanje nivoa i isticanje po karstnim poljima, na čijim obodima se estavele najčešće i nalaze. Kako je karstifikacija „živ“ proces, karstni tereni tokom geološke istorije evoluiraju što za posledicu ima mijenjanje funkcije određenih karstnih oblika koji prelaze iz jednih u druge pa tako današnja estavela može da predstavlja ostatke nekadašnjeg karstnog vrela, te isto tako u budućnosti može prerasti u neki drugi oblik.*

**Ključne reči:** karst, podzemne vode, estavela

**ABSTRACT:** *Given that so far little has been said in hydrogeological practice about the estavela phenomenon, there arose a need for analysis and synthesis of acquired knowledge and available literature regarding them. The occurrence of estavelas is limited by geological factors, such that they are encountered only in areas with significant limestone distribution, advanced karstification processes, and large fluctuations in groundwater levels. In addition, the formation of estavelas is significantly influenced by tectonics, which, through its activity, predisposes the direction of groundwater flow and their appearing on the ground surface. Estavelas have a complex hydrogeological function that can be described most simply as alternating between acting as springs and ponors. Whether estavelas function as springs or ponors depends on many factors, with climate being a predominant factor among them. The response to rainfall is typically very rapid, varying from system to system, and it results in the activation of estavelas, characterized by a swift rise in water levels and discharge across karst poljas, where estavelas are commonly located on their borders. Since karstification is a dynamic process, karst landscapes evolve over geological history, leading to changes in the function of specific karst forms that transition from one type to another. Therefore, a present-day estavela may represent remnants of a former karst spring, and similarly, it could evolve into a different form in the future.*

**Key words:** karst, groundwater, estavela

#### UVOD

Estavele ne predstavljaju tako čestu pojavu u svijetu, pa im se shodno tome nije pridavao veći značaj do sada. Upravo zbog toga se javila ideja da im se posveti posebna pažnja kroz prikaz njihove uloge, načina pojavljivanja i funkcionisanja, te pregleda primjera iz prakse i sl. Može se reći da estavele na našem prostoru i nisu tako rijetka pojava, te se u najvećoj mjeri vezuju za karstne terene pojasa Dinarida gdje su prvenstveno tektonika i karstifikacija odigrali ključnu ulogu u njihovom formiranju. Same po sebi, jako interesantne pojave, estavele su poslužile kao inspiracija za pisanje rada, koji se u najvećoj mjeri odnosi na fundamentalne stvari u vezi sa njima.

#### POJAM ESTAVELE

Jednu od prvih definicija pojma estavela nalazimo u riječniku iz 1899. godine koji se odnosi na termine vezane za karst, (Monroe, 1970). U njemu se estavela definiše kao povremeno oživljavanje podzemnog toka, koje je aktivno samo u vrijeme vlažne sezone.

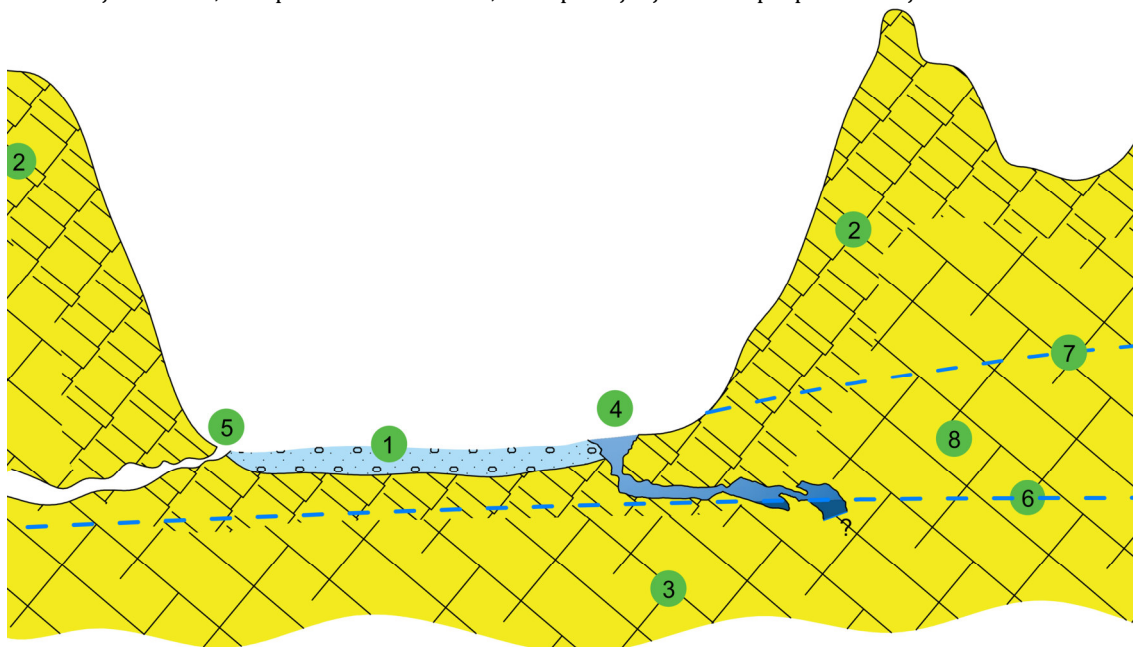
Cvijić (1989) govoreći o hidrografiji u karstu, pravi razliku između različitih tipova izvora u terenima dinarskog karsta. Pa tako govori da u dubokim karstnim depresijama ima pukotina i ponora koji



funkcionišu naizmjenično kao izvori i ponori, te predlaže da se nazovu estavelama, koristeći naziv koji je Fournet dao jednom sličnom izvoru, (Cvijić, 1989).

Dragišić i Živanović (2014) estavele definišu kao pojave u karstu sa dvojnomo hidrogeološkom funkcijom, zavisno od nivoa izdani. One u pojedinim vremenskim intervalima funkcionišu kao ponor (sušni period), a u pojedinim kao izvor (kišni period). Po njima da bi jedan karstni kanal imao funkciju estavele, mora biti povezan sa podzemnim drenažnim sistemima kako viših tako i nižih horizonata.

Generalno govoreći, estavele predstavljaju tipičnu karstnu pojavu, nastalu kao posledica karstnog procesa. Rijetka su pojava i uglavnom se nalaze u terenima gdje je proces karstifikacije jako dobro razvijen. To se najviše odnosi na dijelove terena koji su predisponirani tektonskim aktivnostima prvenstveno rasjedima koji zajedno sa hemijskom i mehaničkom aktivnošću podzemnih voda uslovljavaju nastanak kako površinskih, tako i podzemnih karstnih oblika. Kao što je već pomenuto, estavele se u hidrogeologiji definišu kao pojave sa dvojnomo funkcijom, čiji je rad najbližiji principu spojenih sudova. Šta to znači? Odgovor je vrlo jednostavan - u sušnim vremenskim periodima, estavela ima ulogu ponora, dok tokom drugog dijela godine ima funkciju izvora (slika 1). Kao i kod izvora, veliku ulogu vezanu za samu lokaciju formiranja estavele, sem pomenute tektonike, ima i postojanje vodonepropusne barijere.



**Slika 1.** Konceptualna skica funkcioniranja estavele

Legenda: 1. Karstno polje, 2. Epikarst, 3. Krečnjaci, 4. Estavela, 5. Ponor, 6. Minimalni nivo podzemnih voda, 7. Maksimalni nivo podzemnih voda, 8. Dinamičke rezerve podzemnih voda

**Figure 1.** Conceptual sketch of the estavela functioning.

Legend: 1. Karst polje, 2. Epikarst, 3. Limestones, 4. Estavela, 5. Ponor, 6. Minimum level of groundwater, 7. Maximum level of groundwater, 8. Dynamic groundwater reserves

Kao što se može uočiti sa šematskog prikaza sistema rada estavele, evidentna je zavisnost same estavele od varijacije nivoa podzemnih voda, koje u karstifikovanim terenima znaju da budu velike tokom hidrološke godine. Ovaj primjer, daje ilustraciju najčešćeg tipa pojave estavela koje se najčešće javljaju na obodima karstnih polja, što se u najvećoj mjeri pripisuje tektonskoj aktivnosti i izloženosti procesu ubrzane karstifikacije.

Dakle, estavele se vezuju za karstna područja sa dinamičnim režimom podzemnih voda, tj. gdje dolazi do značajnih kolebanja u nivoima podzemnih voda. U takvim terenima nivo podzemnih voda u vlažnom periodu (obično period oktobar-maj) bude visok, tj. u nivou zone isticanja (otvora estavele) i iznad, te tada estavela funkcioniše kao izvor i snabdijeva površinski tok vodom. Međutim, u sušnom periodu (obično period jun-septembar) kad nivo podzemnih voda opadne i bude nizak, tj. ispod zone isticanja (otvora estavele), tada estavela preuzima funkciju ponora i odvodi površinsku vodu u podzemlje putem svojih kanala i pukotina (slika 1).

Poseban oblik estavela susreće se u marinskim oblastima, gdje se one nalaze ispod površine mora. Tako da u vlažnom periodu, vode izvire na dnu mora (kao vrulje), gdje se podzemne vode miješaju sa



morskom vodom što rezultira formiranjem mješavine niskomineralizovane „slatke“ vode sa slanom morskom vodom poznatom kod nas pod pojmom „bočata voda“. Sa druge strane, nivo podzemnih voda praktično da ne može da padne ispod površine mora, jer sva „slatka“ voda otiče u pravcu mora (bilo to iznad ili ispod zemlje), tako da postojati nagib prema moru. Međutim, u specifičnim situacijama kao što je period niskog dotoka u sušnim periodima, podzemne vode mogu na kratak vremenski period pasti ispod nivoa mora. Za to su odgovorna dva procesa: postojanje plime i osjeke i razlika u specifičnoj težini između morske i podzemne vode<sup>1</sup>.

### **EVOLUTIVNI PROCES ESTAVELA**

Karstni tereni tokom geološke istorije evoluiraju i tokom toga procesa pojedini karstni oblici mjenjaju svoju funkciju, prelazeći u druge oblike. Dobar primjer takve evolucije daje grupa naučnika iz Italije (Saroli et al., 2022) koji prikazuju strukturnu promjenu karstnog područja u kvartaru.

Tokom donjeg plesistocena, hidrogeološku sliku oblasti koja zahvata prostor brda Terlle (Centralna Italija), karakterisao je tipični karstni sistem koji se sastojao od izvora, drenaža i estavele (slika 2., gore). Regionalno tektonsko izdizanje povezuje se sa ekstenzionalnom tektonikom i savremenim kretanjem ekstezionog sistema koje je modifikovalo morfološku i strukturnu sliku područja. Tako da je opisano brdo mijenjalo svoj reljef zahvaljujući kombinovanom procesu regionalnog izdizanja i aktivnosti lokalnog rasjeda.

Usled tektonike, potopljeni karstni kanali podignuti su na progresivno rastućim visinama u odnosu na nivo podzemnih voda regionalne karstne izdani. Na ovaj način, karstni izvori evoluirali su u estavele (slika 2., sredina). Autori ovog rada smatraju da je nivo podzemnih voda u ranijem periodu bio veći od današnjeg, kao i da je bio promjenjivog režima. To znači da kada je nivo karstne izdani visok, voda ističe iz estavele i snabdjeva vodom potok ili jezero, dok u suprotnom slučaju, tj. kada je nivo vode nizak, kroz iste karstne kanale vrši se apsorpcija voda iz jezera ili potoka. Identifikovani epigenetski karstni oblici reljefa kao što su suve doline i ulasci u pećine na različitim nadmorskim visinama, svjedoče o progresivnom produbljivanju lokalnog freatskog nivoa sa posledničnim variranjem bazalnog nivoa karstnog razvoja.

Nakon kontinuiranog podizanja strukture brda Terelle i relativnog snižavanja nivoa podzemnih voda, estavele su evuirale u doline. Istovremeno, karstni izvori su se postepeno spuštali prema JZ sve dok nisu dostigli današnju poziciju (slika 3., dole). Produbljivanje i migracija karstnog sistema nije bila prostorno slučajna u odnosu na pravac rasjeda, što ukazuje na uticaj rasjednih kretanja u evoluciji karstnog sistema.

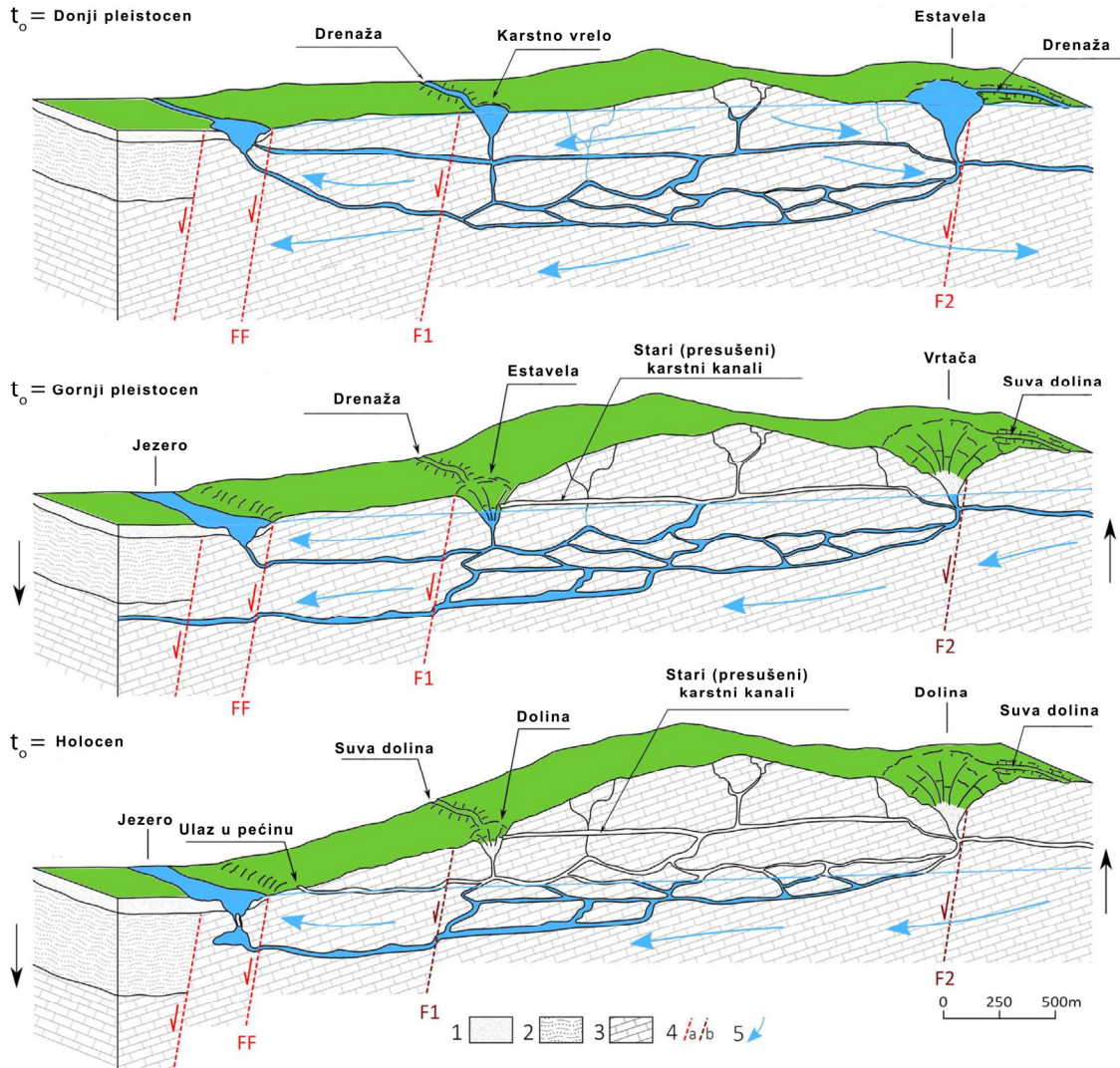
Geneza ovakvog reljefa, predstavlja posledicu istovremenog tektonskog djelovanja eksetenzivne tektonike, koja je kontrolisala topografsku i nadmorsku visinu glavnih izvora i stabilnosti, kako u prostoru tako i u vremenu toka karstne izdani. Generalno govoreći, a na osnovu geomorfoloških, geoloških i hidrogeoloških istraživanja, može se dati procjena početka procesa karstifikacije koji datiraju još iz doba donjeg pleistocena. Tokom toga procesa, dolazilo je do kontinuiranog podizanja hidrogeološke strukture i relativnog spuštavanja nivoa karstne osnove usled rasjednog kretanja. Takav proces za posledicu je imao postepeno spuštavanje izvora sve dok nisu došli do današnjeg nivoa. Vertikalno kretanje pomenutog procesa, može se povezati sa aktivnostima rasjeda, tj. sa njihovom stopom pomjeranja u vremenu, (Saroli et al., 2022).

### **REŽIM RADA ESTAVELA**

Praktično je nemoguće govoriti o elementima režima estavele, kao i karstnog sistema uopšte, bez stavljanja klimatskih parametara u prvi plan. Kao što je poznato, na režim u najvećoj mjeri utiču padavine, koje se brzo infiltriraju kroz epikarst do zone izdanih voda. Ubrzo nakon jakih i obimnih padavina dolazi do aktivacije estavele koja počinje da radi kao izvor. Reakcija izdani obično je jako brza, od nekoliko sati do nekoliko dana, u zavisnosti od stepena razvijenosti sistema. Voda koja se izluči na slivu estavele, nakon infiltracije i dolaska do zone izdani, aktivira rad estavele što se reflektuje kroz brzo podizanje nivoa i isticanje po obodu polja. Sa druge strane, to zavisi i od samog stanja u izdani, tj. o količini njene zasićenosti. Ukoliko velike padavine dolaze nakon dugog sušnog perioda, potrebno je duže vrijeme da bi se estavela aktivirala iz razloga što je prethodno potrebno da dođe do zasićenja izdani, nakon što je nivo u njoj bio blizu minimalnog. Zbog tako malog zadržavanja vode u podzemlju, obično se radi o vodama male mineralizacije i elektroprovodljivosti. Kod analiziranja ove pojave, od presudnog je značaja ustanoviti vezu padavina i estavele, na način određivanja potrebne količine i intenziteta padavina koji će dovesti do aktiviranja estavele što se obično dešava za vrijeme čestih i jakih kiša, što je obično proljetni i jeseni period.

<sup>1</sup> Preuzeto: <https://www.showcaves.com/english/explain/Karst/Estavelle.html>, posjećeno 27.2.2024. god





**Slika 2.** Konceptualna skica modela i evolucije karstnih oblika u kvartaru na primjeru brda Terelle u centralnoj Italiji. (Saroli et al., 2022, prevedeno)

Legenda: 1. Eluvijalni, koluvijalni i jezerski sedimenti (Pleistocen-Holocen), 2. Pješčari i sive gline (fliš) (Torton), 3.

Krečnjak i dolomit (Lias-donji torton) 4. Aktivni (a) i neaktivni (b) rasedi 5. Pravac kretanja podzemnih voda

**Figure 2.** Conceptual sketch of the model and evolution of karst forms during the Quaternary on the example of the Terelle Hill in central Italy, (Saroli et al., 2022, translated). Legend: 1. Eluvial, colluvial and lacustrine soils (Pleistocene-Holocene), 2. Sandstones and grey clays (flysch) (Tortonian), 3. Limestone and dolomite (Lias- lower Tortonian) 4. Active (a) and inactive (b) faults 5. Groundwater flow

Estavele su hidrogeološke pojave koje se označavaju kao jako osjetljive na promjenu klime. To je posebno izraženo u terenima kod kojih se javljaju značajne količine snijega u zimskom periodu. U takvim, planinskim sredinama, topljenje snijega je važan proces koji direktno utiče na punjenje izdani. Površinsko skladištenje snijega dominantno je od novembra do aprila, dok je podzemno skladištenje dominira od maja do oktobra. Tako da se povećano prihranjivanje karstne izdani tokom zime, a smanjeno prihranjivanje u ljeto i jesen, manje-više međusobno kompenzuje, (Chen et al., 2018).

Što se tiče kvaliteta, on će svakako zavisiti od hemizma podzemnih voda putem kojih se prihranjuje. Podzemne vode u estavelama obično su dobrog kvaliteta sa malim sadržajem mulja, koji voda iznosi sa sobom na površinu krećući se kanalima. Količina hranjivih materija vjerovatno da varira u zavisnosti od više nego u odnosu na stajaće vode. Zahvaljujući redovnom pražnjenju estavele, može doći do efikasnog mehanizma pomoću koga se hranjive materije mogu iznijeti iz samoga sistema, (Farr et al. 2012).



## ZAKLJUČAK

Estavele u svijetu proučavanja hidrogeologije karsta predstavljaju zanimljivu i ne tako čestu pojavu. Najjednostavnije ih je opisati kao hidrogeološke pojave sa dvojnomo funkcijom, koje rade naizmjenično kao izvor i ponor, a sve u zavisnosti od perioda godine i uticaja prvenstveno klimatskih faktora. Evidentno je da se na estavle može posmatrati kao na promjenjive hidrogeološke objekte tokom geološke istorije, što znači da je današnja estavela ranije možda imala neku drugu funkciju, te će u budućnosti možda dobiti neku novu, a sve kao posledica karstifikacije i tektonske aktivnosti. Na aktivaciju rada estavle kao izvora presudan uticaj imaju padavine koje su i ključni faktor njihovog dinamičkog režima, tako da je jako važno definisati potrebne količine i intenzitet padavina koji će dovesti do njenog aktiviranja. Postavljanjem teoretske osnove, kao temelja, otvara se mogućnost detaljnijeg proučavanja estavela na primjerima iz prakse, što će svakako imati značajan uticaj na proširenje znanja o njima kao specifičnim hidrogeološkim pojavama.

## LITERATURA

- Chen Z., Hartmann A., Wagener T., Goldscheider N., 2018: Dynamics of water fluxes and storages in an Alpine karst catchment under current and potential future climate conditions. *Hydrology and Earth System Sciences*, Vol. 22, 3807–3823, <https://doi.org/10.5194/hess-22-380>, Northeim.
- Cvijić J., 1989: *Jovan Cvijić sabrana dela*. Srpska Akademija Nauka i Umetnosti, Beograd.
- Dragišić V., Živanović V., 2014: *Opšta hidrogeologija* (univerzitetski udžbenik). Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd.
- Farr G., Hatton-Ellis T., Jones D., Lambourne C., Bevan J., Naughton O., 2012: Hydrology, Water Quality and Condition of Pant-y-Llyn, Wales' only Turlough. *CCW Staff Science Report No 12/8/1*, 64pp, CCW, Bangor
- Monroe W.H., 1970: *A Glossary of Karst Terminology*. Geological Survey, United States Government Printing Office, page K8, Washington.
- Saroli M., Albano A., Moro M.2, Falcucci E., Gori S., Galadini F., Petitta M., (2022). Looking Into the Entanglement Between Karst Landforms and Fault Activity in Carbonate Ridges: The Fibreno Fault System (Central Italy). *Frontiers in Earth Science*, Vol.10, Article 891319
- Show Caves - Karst - Estavelle (26.2.2024) Preuzeto sa:  
<https://www.showcaves.com/english/explain/Karst/Estavelle.html>



