

Izvori potoka Vrapčaka

Tomić, Dominik

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:644284>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-28**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geografski odsjek

Dominik Tomić

Izvori potoka Vrapčaka

Prvostupnički rad

Mentor: doc. dr. sc. Ivan Čanjevac

Ocjena: _____

Potpis: _____

Zagreb, 2022.

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geografski odsjek

Prvostupnički rad

Izvori potoka Vrapčaka

Dominik Tomić

Izvadak: Izvorišno područje potoka Vrapčaka na jugozapadnome dijelu Medvednice obuhvaća područje površine 3,37 km². Terenskim istraživanjima utvrđena je pojava 95 izvora, na petrološki raznolikoj, pretežno vapnenačkoj ili pješčenjačkoj podlozi. Izvori Vrapčaka pojavljuju se u visinskom rasponu od 100 do 660 m, u području umjereno raščlanjena reljefa, uglavnom na znatno nagnutim padinama različitih usmjerenja. Općenito, izvorišno područje pokazuje odlike fluviodenudacijskoga tipa reljefa. Za 87 izvora određena je izdašnost, po kojoj najveći broj izvora pripada VII., a potom VIII. razredu izdašnosti po Meinzeru. Prema obliku staništa koje tvore, najviše je reokrenih i helokrenih, a od kombiniranih stanišnih tipova heloreokrenih izvora. Za 57 izvora izmjerena je električna provodnost, temperatura vode, vrijednost pH i količina otopljenih krutih tvari (TDS-a). Prosječna električna provodnost Vrapčakovih izvora iznosi oko 500 μScm^{-1} , temperatura oko 10 °C, vrijednost pH oko 7,5, a količina TDS-a oko 250 ppm. Za moguća sustavnija i obuhvatnija istraživanja u budućnosti potrebno je dugotrajnije daljnje praćenje većega broja hidroloških pokazatelja izvora, ali i provedba fizičko-geografskih, geoloških, geokemijskih i ekoloških istraživanja izvorišnoga područja potoka Vrapčaka.

30 stranica, 32 grafičkih priloga, 2 tablica, 36 bibliografskih referenci; izvornik na hrvatskom jeziku

Ključne riječi: Vrapčak, izvori vode, Park prirode Medvednica, zagrebački potoci, izvorišno područje, vodni resursi, sustav izvora

Voditelj: doc. dr. sc. Ivan Čanjevac

Tema prihvaćena: 27. siječnja 2022.

Datum obrane: 22. rujna 2022.

Rad je pohranjen u Središnjoj geografskoj knjižnici Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Marulićev trg 19, Zagreb, Hrvatska.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Geography

Undergraduate Thesis

Springs of Vrapčak Stream

Dominik Tomić

Abstract: Spring area of the Vrapčak Stream in the southwestern part of Medvednica Mt. covers an area of approximately 3.37 km². Field researches revealed occurrence of 95 springs on a petrologically diverse, predominantly limestone or sandstone bedrock. The springs of Vrapčak appear in the height range from 100 to 660 m, in an area with moderate vertical dissection, mostly on significantly inclined slopes of various expositions. In general, Vrapčak's spring area shows characteristics of fluviodenudation relief. Discharge was measured for 87 springs, most of which belongs to categories VII and VIII according to Meinzer. According to the type of habitat formed by the spring, the biggest number of springs are rheocrene and helocrene, and helorheocrene among combined types. Electrical conductivity, water temperature, pH value and total dissolved solids (TDS) were measured for 57 springs. The average measured values of selected basic hydrological parameters of Vrapčak springs were: electroconductivity 500 μScm^{-1} , water temperature 10 °C, pH value 7.5 and TDS 250 ppm. For more systematic and comprehensive research in the future, longer-term further monitoring of a larger number of hydrological indicators of springs is required, as well as implementation of physical-geographical, geological, geochemical and ecological researches of Vrapčak Stream's spring area.

30 pages, 32 figures, 2 tables, 36 references; original in Croatian

Keywords: Vrapčak, springs, Nature Park Medvednica, Zagreb streams, spring area, water resources, spring system

Supervisor: Ivan Čanjevac, PhD, Assistant Professor

Undergraduate Thesis title accepted: 27/01/2022

Undergraduate Thesis defense: 22/09/2022

Thesis deposited in Central Geographic Library, Faculty of Science, University of Zagreb, Marulićev trg 19, Zagreb, Croatia

SADRŽAJ

1.	UVOD	1
2.	OPĆA OBILJEŽJA PROSTORA	1
3.	METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA	5
3.1.	DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA IZVORA	5
3.2.	PROBLEMATIKA I PRIMJENE ISTRAŽIVANJA IZVORA.....	6
3.3.	TERENSKI DIO ISTRAŽIVANJA	6
3.4.	KABINETSKI DIO ISTRAŽIVANJA	8
4.	PROSTORNE ANALIZE	9
4.1.	IZVORI I GEOLOŠKA OBILJEŽJA	9
4.2.	IZVORI I HIPSOMETRIJA.....	10
4.3.	IZVORI I NAGIBI PADINA	12
4.4.	IZVORI I ENERGIJA RELJEFA	14
4.5.	IZVORI I USMJERENJE PADINA	15
5.	HIDROLOGIJA IZVORA	17
5.1.	IZDAŠNOST.....	17
5.2.	OBLIK STANIŠTA	19
5.3.	POKAZATELJI KAKVOĆE VODE IZVORA.....	21
5.3.1.	ELEKTRIČNA PROVODNOST VODE IZVORA.....	22
5.3.2.	TEMPERATURA VODE IZVORA	23
5.3.3.	VRIJEDNOST pH VODE IZVORA.....	24
5.3.4.	UKUPNE OTOPLJENE TVARI U VODI IZVORA	25
5.4.	IZVOR „M. BARIĆ“	26
6.	ZAKLJUČAK	27
7.	LITERATURA.....	28
8.	IZVORI	30

ZAHVALE

Prije svih, zahvaljujem dragom Bogu, Izvoru vode žive, po komu mi je sve dano: moj život, svi darovi i blagoslovi, svaki trenutak, svaka milost. Daj mi i dalje napajati se u Tebi!

Od srca zahvaljujem doc. dr. sc. Ivanu Čanjevcu, koji je na Hidrogeografiji i na terenskoj nastavi potaknuo moje zanimanje za hidrologiju, na prihvaćanju mentorstva i svim upućenim savjetima i smjernicama. Veliku zahvalu upućujem doktorandu Ivanu Martiniću, na svem znanju i iskustvu koje mi je prenio na terenu, svem potrošenom vremenu i gorivu, ustupljenim fotografijama, kao i na pomoći i usmjeravanju pri pisanju ovoga rada, izboru literature, obradi podataka i snalaženju i radu u GIS-u. Bez njih dvojice ovoga istraživanja i rada zasigurno ne bi niti bilo.

Zahvaljujem i svim profesorima, sa svih odsjeka i zavoda PMF-a, koji su mi držali nastavu, praktikume i vježbe, na svekolikom prenesenom znanju, vještinama i iskustvu – njihovo zalaganje i znanje utkani su u ovaj rad i u mene. Hvala im što su mi odškrinuli vrata čudesnoga svijeta prirodoslovlja.

Nezaobilazan doprinos u izgradnji moga zanimanja za geografiju dali su i moji cijenjeni profesori iz školskih dana: Božidar Nevžala, Ivana Varga, Mladen Crkvenčić i Gordana Tašner. Vaša uloga bila je nezamjenjiva, a doprinos ključan. Doista, hvala Vam na svemu! Veliku zahvalu upućujem i profesorici Miroslavi Mamić, koja je u meni još od djetinjstva pobuđivala prve iskre ljubavi prema geografiji: te su iskre moji dragi nastavnici pretočili u plamen koji se na PMF-u, vjerujem, ražaruje u punom sjaju.

Zahvaljujem i svim svojim kolegama, posebice kolegama zo(o)kocima, bez čije pomoći i suradnje vjerojatno ne bih dogurao dovdje. Zahvaljujem kolegi Josipu Meštriću na svojoj pomoći u radu s GIS-om te dragom prijatelju Dominiku Jeliću, na svojoj pruženoj podršci i savjetima. Iskrenu zahvalu upućujem i svima ostalima koji su na bilo koji način doprinijeli ostvarenju ovoga rada.

Naposlijetku, najveća i trajna zahvala ide mojoj obitelji. Hvala Vam na svakoj minuti, svakoj radosti i boli, svekolikoj podršci, hrabrenju i razumijevanju. Vama i svim našim zajedničkim izletima „na Sleme“, i svim tamo lijepim provedenim trenucima posvećujem ovaj rad.

Nadam se da će biti na korist hrvatskoj znanosti i mojim sugrađanima, napose ljubiteljima, uživateljima i redovitim posjetiteljima Medvednice i njezinih ljepota.

Žeđ.

Žeđ

I ponovno žeđ

Iskapi i isušiši mi pogled.

Žeđ.

Dajte mi vode

da me žeđ ne okameni.

Vode.

Vode s Izvora.

(Glavaš, 2001)

Prošlost u sadašnjosti živi

a budućnost,

i u jednom i u drugom,

svojim izvorom miri.

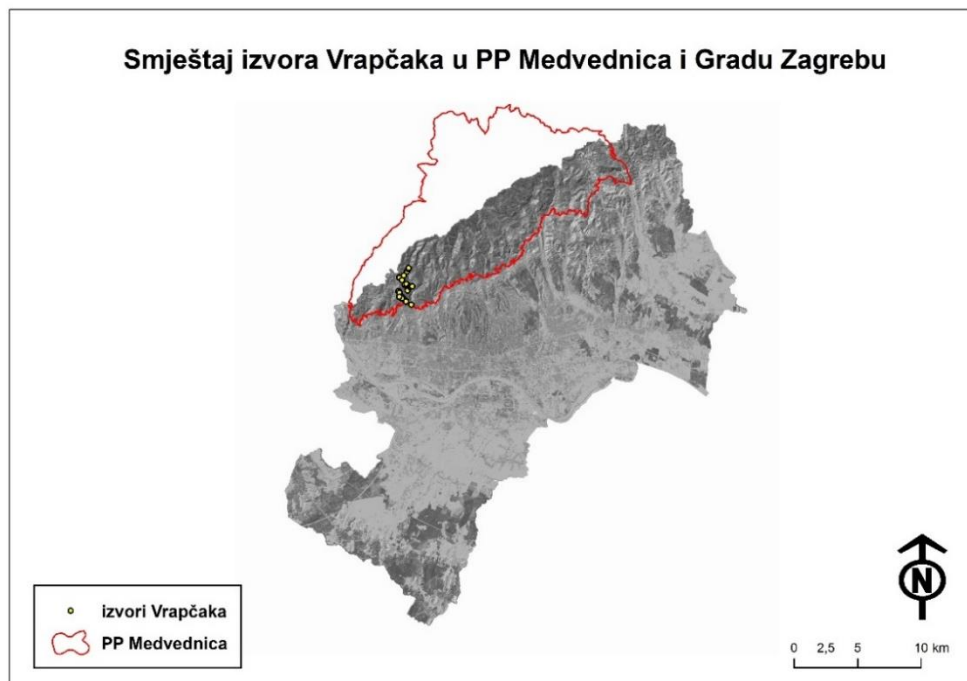
(Glavaš, 2011)

1. UVOD

Zagrebačka gora, poznatija kao Medvednica, predmet je iscrpnijih prirodoslovnih znanstvenih istraživanja još od prve polovine XIX. st. (usp. Herak, 2006). Tijekom više od stoljeća i pol provedena su brojna geološka, paleontološka, botanička, klimatološka, zoološka, pedološka, šumarska i ina istraživanja i ispitivanja, mnoga od kojih su pridonijela proglašavanju zaštićenoga područja Parka prirode Medvednica. Premda je Medvednica izvorište 75 potoka i oko 230 izvora (PPM, 2019), dosad nije znatnije istraživana s motrišta izvorišnoga područja, niti su njezini brojni izvori bili podvrgnuti sustavnijemu znanstvenomu istraživanju (Martinić i dr., 2019). Cilj ovoga prvostupničkoga rada bio je istražiti, zabilježiti i kartirati izvore u izvorišnomu području potoka Vrapčaka, na JZ dijelu Medvednice te postoji li povezanost određenih reljefnih i geoloških obilježja na pojavnost, brojnost i izdašnost izvora, razmotriti zastupljenost izvora prikazanih na postojećim kartografskim prikazima u odnosu na ovim istraživanjem popisane izvore, kao i ispitati neke osnovne odrednice kakvoće vode u njima.

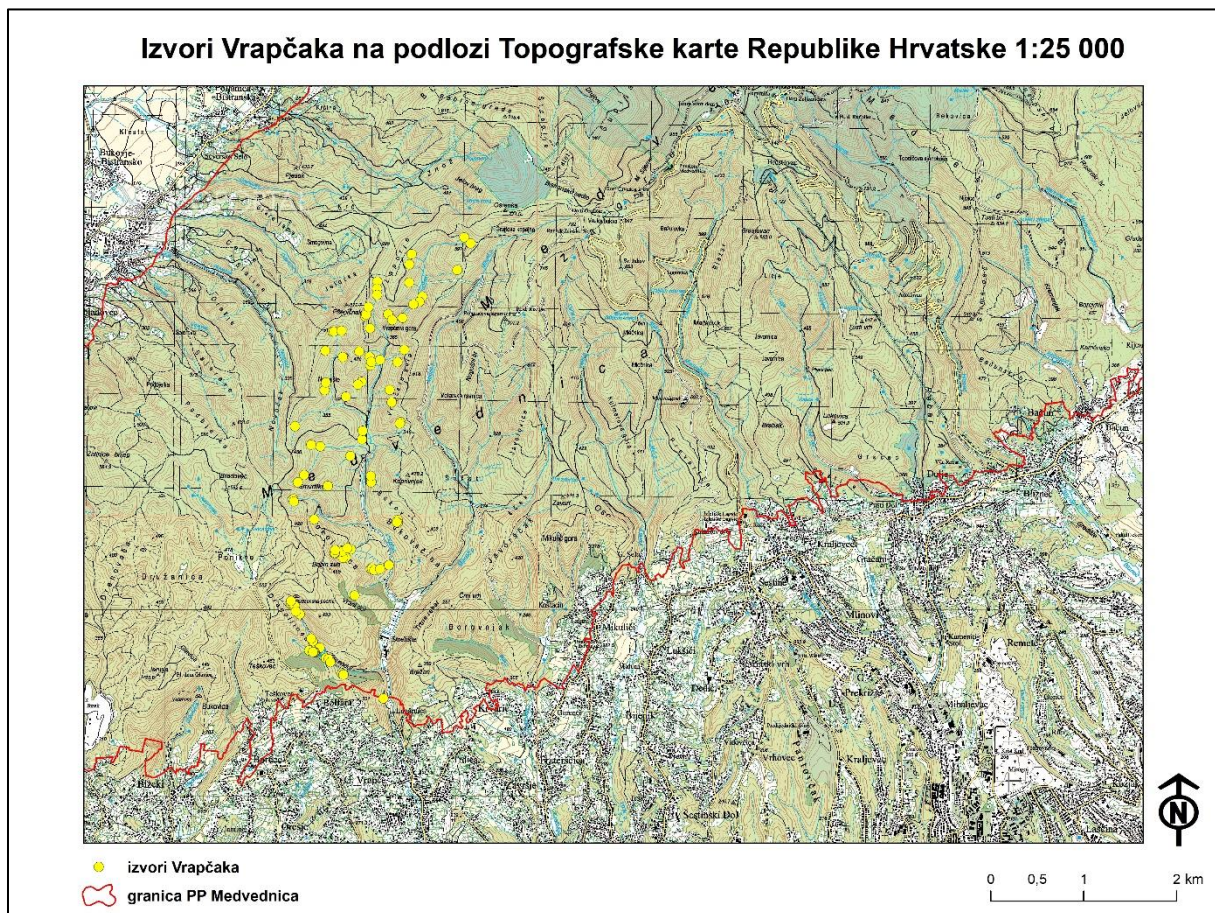
2. OPĆA OBILJEŽJA PROSTORA

Izvorišno područje Vrapčaka, određeno istraživanjem, obuhvaća površinu od približno 3,37 km², tj. 1,88 % površine PP Medvednica (179,38 km²; PPM, 2019) te je približnoga opsega 12,671 km. Unutar izvorišnoga područja zabilježeno je, u devet terenskih izlazaka između veljače i svibnja 2022., ukupno 95 izvora.



Sl. 1. Geografski smještaj izvora Vrapčaka zabilježenih istraživanjem u Parku prirode Medvednica i Gradu Zagrebu.

Izvorišno područje smješteno je na JZ području PP Medvednica (Sl. 2.) te na SI rubu upravno-teritorijalne jedinice Grada Zagreba, točnije, gradske četvrti Podsused – Vrapče (Sl. 1.).



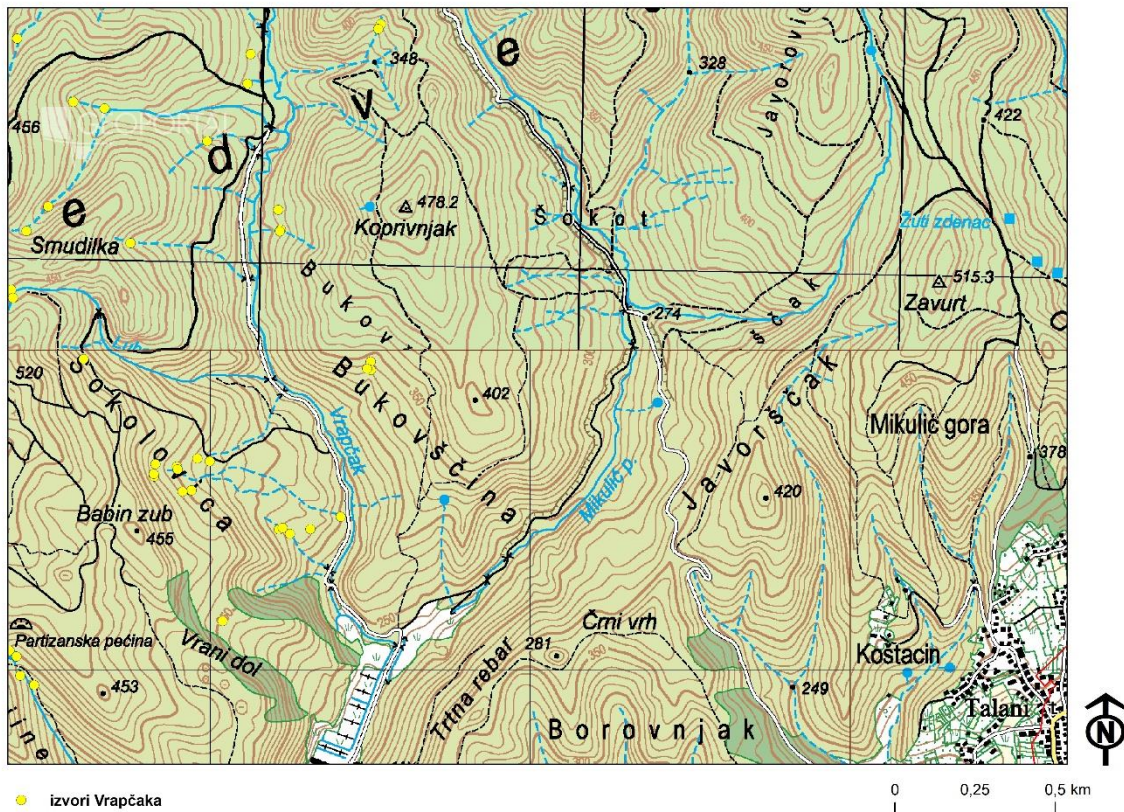
Sl. 2. Geografski smještaj izvora Vrapčaka zabilježenih istraživanjem na podlozi Topografske karte Republike Hrvatske u mjerilu 1:25 000.

Izvor: DGU, 2011

Među tridesetak potoka na „zagrebačkoj strani“ Medvednice (Faber, 2022), Vrapčak je jedan od dužih, s najdužim (otvorenim) tokom među potocima (jugo)zapadnoga dijela Zagreba (usp. Brletić, 2017; Faber, 2022). Sjeverno se od Gornjega Vrapča u Vrapčak ulijeva potok Ferendol, slijevnoga područja oko 0,92 km² (Faber, 2022).

Izvorišno područje Vrapčaka ne proteže se na geološki jednoličnoj podlozi (Sl. 4.). Ono se geološki može uvjetno podijeliti na „gornji“, kredno-trijaski (približne površine 2,25 km²) i „donji“, miocenski bazen (približno 1,1 km²). Mezozojske dijelove izvorišta grade kako karbonatne (primjerice, vapnenci taloženi nakon tektonskih pokreta na granici kampan-maastricht, kao i npr. srednje- i krupnozrnati karbonatni pješčenjaci na lijevoj padini Lubeničice, pritoke Vrapčaka, ali i u njegovoj dolini; Marinčić i dr., 1995), tako i nekarbonatne stijene (konglomerati, pješčenjaci i lapori; Crnjaković, 1997). Njihov postanak i strukturno-tektonski odnosi predmetom su različitih tumačenja i shvaćanja, ovisno o

Odabrani dio izvorišnoga područja Vrapčaka na topografskoj podlozi (TK 25)

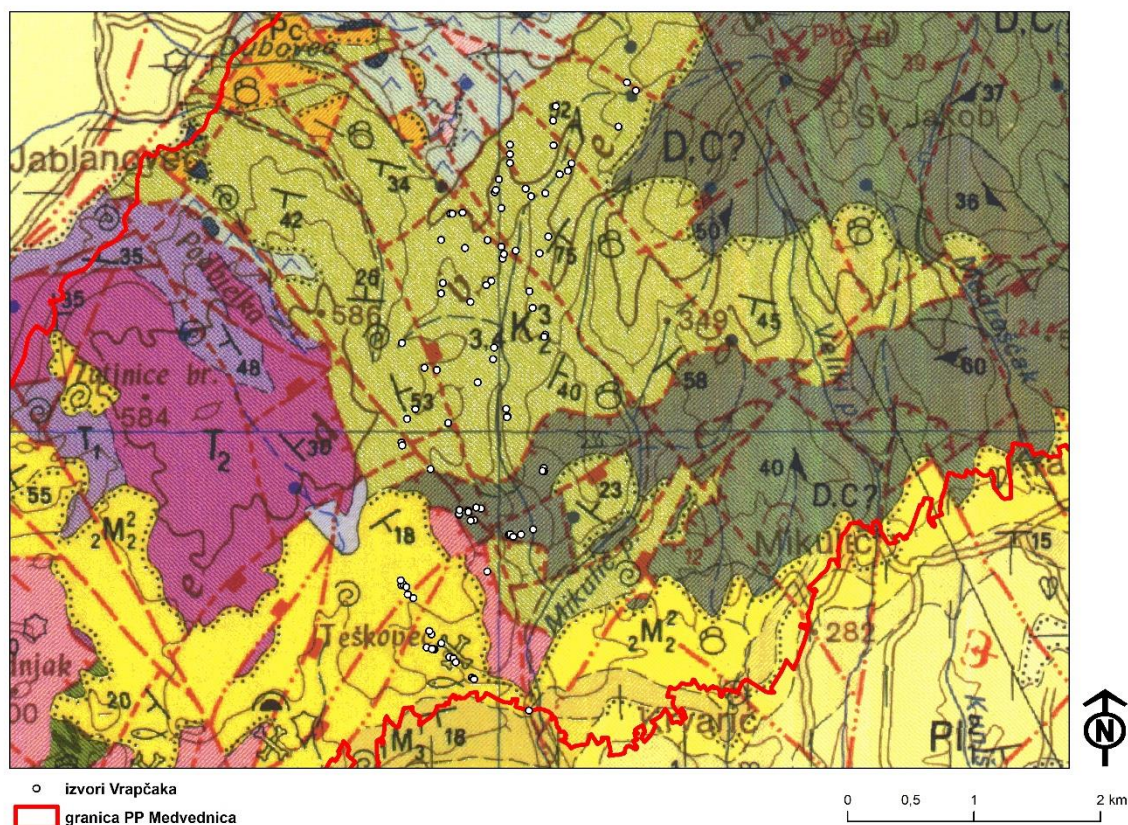


Sl. 3. Detalj Topografske karte Republike Hrvatske u mjerilu 1:25 000 s naznačenim izvorima u odabranome dijelu izvorišnoga područja Vrapčaka.

Izvor: DGU, 2011

postojećim spoznajama (nedoumica ima i u svezi s paleozojskim naslagama; Herak, 2006) – tako, primjerice, u slučaju (krednih) karbonata još uvijek nije sa sigurnošću objašnjeno pripadaju li dinarskom ili alpskom sustavu, s obzirom na njihov postanak i geodinamiku (usp. Herak, 2006). Miocenske naslage, kako se ide južnije to u pravilu mlađe starosti (sarmat – panon – pont; usp. Basch, 1995), nastavljaju se spuštajući se dolinom Vrapčaka prema Gornjemu Vrapču, u kojemu se nalaze bioklastični badenski (tzv. litavac) i sarmatski vapnenci (Vrsaljko i dr., 1995). Nadalje, miocenski se sedimenti nastavljaju uz tzv. Zelenu magistralu i Ponikve, ponajviše u vidu badenskih vapnenaca različitih vrsta (biolitit, bioklasti i ini) te sarmatske i panonske naslage (međusobno raznorodni vapnenci i pješčenjaci; Pikija i dr., 1995). Prema dostupnim klimatskim obilježjima (PPM, 2019) Medvednica bi se mogla smjestiti u klimatsko-zonsko vegetacijsko (pod)područje DII (usp. Martinović, 1997). Prevlast kiselih i smeđih tala (kiselih na škriljalcima i pješčenjacima, smeđih na karbonatima i bazičnim stijenama; PPM, 2019) u pedološkoj građi uzajamno uvjetuje šumske sastojine i raslinje, pr. bukove šume na kiselom smeđem tlu (distričnom kambiosolu; Martinović, 1997),

Geološka građa izvorišnog područja Vrapčaka na JZ Medvednice



Sl. 4. Smještaj i rasprostranjenost izvora Vrapčaka s obzirom na geološku podlogu. (Svjetlozeleno: kampan-maastricht, tamnozeleno: devon-karbon, ružičasto: trijas, žuto: gornji torton).

Izvor: isječak karte Šikić i dr., 1977.

najzastupljenijem medvedničkom tlu (PPM, 2019). Nije, stoga, slučajno kako su, uzevši u obzir pedologiju, upravo šume (ponajprije bukove, potom hrastove, grabove i mješovite), različitih stupnjeva kiselosti tla i sastojina, temeljni fenomen PP Medvednice (PPM, 2019). Sam potok Vrapčak i njegovi pritoci usijecaju nove ili svojim tokom proširuju postojeće jaruge i vododerine (usp. Bognar i Klein, 1976), tvoreći, morfogenetski gledano, fluviodenudacijski reljef u izvorišnom području i poriječju Vrapčaka. Pogodna propusnija kredna podloga nije uvjetovala znatniju pojavu (fluvio)krških oblika (usp. Martinić i dr., 2019), izuzev morfološkoga ulegnuća Ponikve, na miocenskim vapnencima i trijaskim dolomitima (Klein, 1968), koje *de facto* predstavlja svojevrсно krško polje, a o čijoj okršenosti svjedoči mjestimična pojava krških reljefnih oblika (uvala, vrtača; Božićević, 1995). Pojavnost i razdioba izvora donekle je uvjetovana i geomorfološkim odlikama JZ dijela Medvednice, gore s pripadajućim podgorjem, s iznimkom SZ strane (Klein, 1968). Svojestvenost je JZ dijela Medvednice, koji se proteže od najsjevernijih izvora Vrapčaka do

Podsuseda, izostanak središnjega bila, pa „s udaljenijih vidikovaca, šire područje vrapčanske rasjedne zone morfološki dolazi do izražaja kao blag prijevaj većeg raspona“ (Klein, 1968). Prema Geomorfološkoj regionalizaciji Republike Hrvatske (Bognar, 1999), Vrapčakovo izvorišno područje pripada subgeomorfološkoj regiji *Gorski hrbat Medvednice* (Vidić, 2020).

3. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

3.1. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA IZVORA

Kako je voda jedan od uvjeta čovjekova opstanka, tako su i izvori, njihovo pronalaženje i održavanje predmet čovjekova zanimanja od samih početaka ljudske civilizacije. Izvori pitke vode bili su preduvjet za razvoj stalnih ljudskih naseobina, poljoprivrede i stočarstva, a potom i razvoj gradova i država. Nužan su resurs, kako u ratu, tako i u razdobljima mira, kako za čovjekove osobne, tako i za potrebe šire zajednice (crpke, hidranti, vodoskoci, zdenci). Ishodište su za gradnju vodoopskrbnih sustava za potrebe stanovništva, gospodarskih djelatnosti i održavanje javnih površina. Stoga i ne čudi što su izvori još od antike bili predmetom zanimanja učenjaka, vladara, vojskovođa, ali i širega pučanstva. Perraultovim pionirskim djelom *O podrijetlu izvora* (1674.) započinje razdoblje primjene načela znanstvene metode u istraživanjima izvora, a koje u znatno većem obujmu traje i danas. Izvori nisu samo predmet znanstvenoga zanimanja s gledišta *resursa* (vodno upravljanje), nego i kao važna *sastavnica* svakoga ekosustava ((geo)ekologija), kao *stanište* (hidrobiologija, mikrobiologija), *erozijski agens* (geomorfologija i geokemija), *zapis* geološke prošlosti i *pokazatelj* geoloških odlika prostora (hidrogeologija), ali i, promatrani zasebno i u odnosu na i s okolnim prostorom, kao *hidrološki objekt* (usp. Brletić, 2017; Martinić, 2022). Razvojem ekološke svijesti i znanstveno-stručnih djelatnosti zaštite okoliša i prirode, izvori postaju predmetom i njihova znanstvenoga interesa, posebno u sklopu zaštićenih područja (kao što je npr. PP Medvednica).

U svojemu opširnome radu posvećenomu izvorima Martinić (2022.) donosi pregled znanstvenih istraživanja izvora u Hrvatskoj i svijetu. Pregledom literature pokazuje kako se izvori „uglavnom istražuju kao jedan segment unutar širega istraživanja“, a rjeđe kao zaseban fenomen. Nadalje, nekrški izvori su iz niza razloga bitno manje istraženi od krških izvora u Gorskoj i Primorskoj Hrvatskoj (usp. Martinić, 2022). Većina dosadašnjih istraživanja vezana je uz hidrološka obilježja krških izvora, često u istraživanjima tokova podzemne vode trasiranjem (Martinić, 2022) te „za potrebe vodoopskrbe i određivanje zona sanitarne zaštite izvora uključenih u vodoopskrbni sustav“ (Martinić, 2022).

3.2. PROBLEMATIKA I PRIMJENE ISTRAŽIVANJA IZVORA

Kako je istraživanje izvora u odnosu na druge vodne pojave u hidrologiji relativno mlada disciplina, za mnoga izvorišna područja nedostaju osnovni podataka ili dostatan višegodišnji slijed istih. U tom je smislu nasušno provoditi temeljna istraživanja, popisati (inventarizirati) i kartirati izvore te odrediti geološka i geomorfološka obilježja podloge i vodonosnika, kao preduvjet za daljnja, specijalistička istraživanja. To mogu biti ispitivanja kemizma i kakvoće (boniteta) vode ili odredbe i popisi zastupljenoga živoga svijeta (osobito vrsta ovisnih o izvorima, eng. *spring dependent species*; Martinić, 2022), no najčešća su tzv. hidrološka istraživanja, koja se odnose na određivanje režima, izdašnosti izvora i brzine njihova odgovora na količinu oborina (Martinić, 2022). Izrada i analiza hidrograma i krivulja otjecanja izvora omogućuju složenija matematička modeliranja i stvaranje različitih hidroloških modela, ovisno o namjeni istraživanja i potrebama proučavanoga područja (usp. Martinić, 2022). Prostorni raspored i gustoća izvora pokazatelji su (hidro)geoloških obilježja vodonosnika, s obzirom na to da su geološke odlike izvorišnoga područja odsudan čimbenik intenziteta njihove pojavnosti (usp. Martinić, 2022). Osim geologije, za istraživanje izvora važna je i njihova geomorfologija, koja je, uz promjenjivost fizikalno-kemijskih i hidroloških uvjeta, u uskoj svezi s bioraznolikošću izvora kao staništa (Martinić, 2022).

3.3. TERENSKI DIO ISTRAŽIVANJA

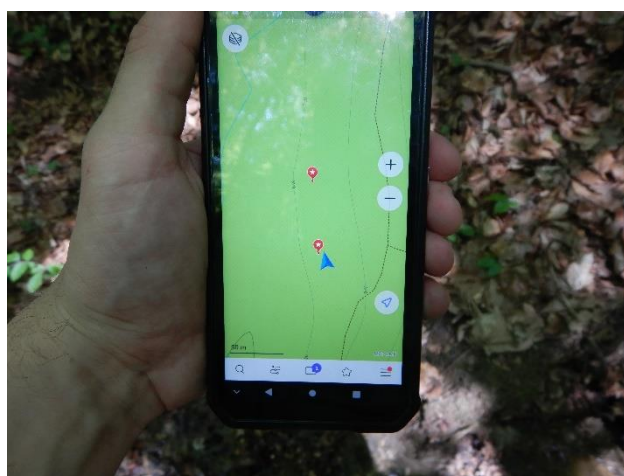
Terenski dio istraživanja uključivao je devet izlazaka na teren, izvorišno područje Vrapčaka, u razdoblju između veljače i svibnja 2022. (7. i 27. veljače, 13., 19. i 23. ožujka, 13. travnja te 3., 11. i 18. svibnja). Većina terenskih izlazaka kretala je od Ponikvi. Prethodno unesene moguće geolokacije izvora u mobilnoj aplikaciji Maps.me (verzija 12.3.3, v. Sl. 9.) olakšale su orijentaciju u prostoru i usmjeravanje istraživanja. Lokacije su unaprijed određene temeljem dostupnih kartografskih podloga (Osnovna geološka karta, Topografska karta 1:25 000, Hrvatska osnovna karta 1:5 000) te digitalnoga modela reljefa. Svaki je uočeni i potvrđeni izvor georeferenciran, zabilježen uz opis smještaja u neposrednoj okolini, fotografiran te podvrgnut unaprijed određenim mjerenjima. Onim izvorima na kojima je to bilo moguće (koji nisu bili zakrčeni ili nedostupni, v. Sl. 10. i 11.) određena je izdašnost, tj. volumetrijskom im je metodom izmjeren protok, kao i električna provodnost (konduktivitet), vrijednost pH i temperature vode te ukupna količina otopljenih krutih tvari (TDS), pomoću multimetra tvrtke Hanna Instruments® (Sl. 5. – 8.). Prigodom istraživanja, a osobito provođenja potrebnih mjerenja, nastojalo se u najvećoj mogućoj mjeri umanjiti ikakav (štetan) utjecaj na same izvore i okoliš.



Sl. 5. (*lijevo*, neodređeni izvor) i **Sl. 6.** (*desno*, izvor „M. Barić“) Slikopisi s terena: mjerenje hidroloških parametara i bilježenje podataka.



Sl. 7. i 8. Mjerenje odabranih hidroloških pokazatelja multimetrom tvrtke Hanna Instruments®.



Sl. 9. Pronalazak geolokacija izvora pomoću aplikacije Maps.me 12.3.3.



Sl. 10. i 11. Primjeri prirodnih smetnji u istraživanju izvora: trupci posječenih ili srušenih stabala (*lijevo*) i nabujalo raslinje (*desno*).

3.4. KABINETSKI DIO ISTRAŽIVANJA

Kabinetski dio istraživanja uključivao je prikupljanje i obradu podataka, rad u GIS-u (kartiranje), tumačenje i analizu podataka dobivenih istraživanjem. Prikupljeni podatci ustrojani su u tablicu u Microsoft Excelu i oblikovani u atributivnu tablicu u ArcMap-u 10.4, u kojemu su provedena kartiranja te prostorne, geološke, hidrološke i osnovne geomorfološke analize (usp. Čirjak i Mamut, 2016).

Hidrološka analiza obuhvatila je osnovne hidrometrijske parametre, za stjecanje temeljnih znanja o Vrapčakovim izvorima. Oni uključuju podatke o izdašnosti (protoke), temperaturi vode, lužnatosti (vrijednosti pH), električnoj provodnosti (konduktivnosti) i količini otopljenih tvari (TDS; usp. Haas i dr., 2019), koji su i prikupljeni ovim istraživanjem. Za izradu krivulja i možebitno modeliranje potrebni su sustavniji i dugoročniji podatci, koji bi, zajedno s većim brojem praćenih hidrometrijskih pokazatelja, dali pouzdan temelj budućim hidrološkim interpretacijama.

Za klasifikaciju izvora prema izdašnosti korištena je Meinzerova razdioba u osam razreda (usp. Martinić, 2022), a prema obliku staništa koje izvor tvori vodilo se za polazišnim tipovima, limnokrenim (jezerastim), reokrenim (koritastim) i helokrenim (blatnim, močvarnim) te njihovim kombinacijama (usp. Martinić, 2022).

Pri interpretaciji podataka vodilo se dvjema načelima hidrogeografskoga pristupa, *sveobuhvatnošću* (izvori u odnosu na fizičke i društveno-geografske sastavnice prostora) i *cjelovitošću* (izvori kao spremište vodnih resursa i njihova uloga u vodnom upravljanju; usp. Riđanović, 1993).

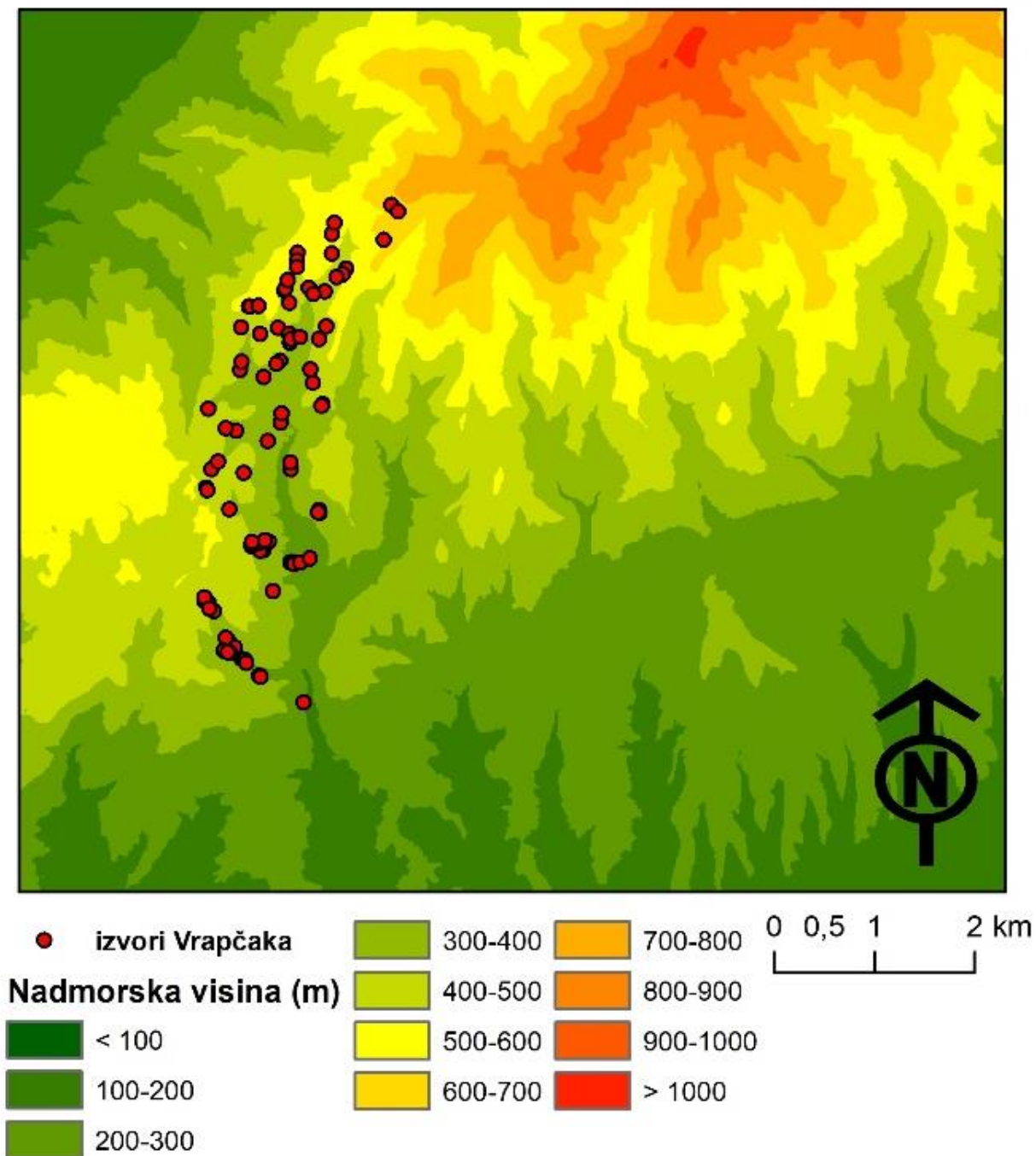
4. PROSTORNE ANALIZE

4.1. IZVORI I GEOLOŠKA OBILJEŽJA

Ne ulazeći u geodinamički postanak promatranoga područja Medvednice, koji je složen i još uvijek nerazjašnjen (usp. Herak, 2006; Crnjaković, 1997), georeferenciranjem utvrđenih izvora na geološku podlogu (Šikić i dr., 1977; usporedba s Basch, 1995; Sl. 4.) utvrđena je dvojnost u litološkoj građi izvorišnoga područja Vrapčaka. Izvori u sjevernomu dijelu izvorišnoga područja, odnosno, gornjemu dijelu toka pojavljuju se na naslagama kredne (PPM, 2019) i gornjotrijaske starosti (Herak, 2006). Petrološki, u ovomu području prevladavaju breče, konglomerati, vapnenci, lapori i pješčenjaci. Kredne naslage potječu iz doba kampana i maastrichta (usp. Šikić i dr., 1977). Dok u ostatku medvedničkih trijaskih naslaga prevladavaju dolomiti (Herak, 2006), ovdje se dolomitna podloga javlja rjeđe u odnosu na vapnenačku (usp. Šikić i dr., 1977). Ukupno gledano, najveći je broj izvora smješten upravo u tom „kredno-trijaskom bazenu“ (v. Sl. 4.). Sedamnaest izvora pojavljuje se na miocenskoj podlozi badenske i sarmatske starosti (usp. Basch, 1995), s manjim pojavama škriljavih orto- i parametamorfita koji datiraju od silura do karbona (usp. Šikić i dr., 1977; Basch, 1995), a pretpostavlja se da su dio preobražena vulkanogeno-sedimentna sklopa (usp. Šikić i dr., 1977) čije je strukturno oblikovanje i dalje predmetom rasprava (usp. Herak, 2006). Donji, najjužniji dio izvorišnoga područja obuhvaća šesnaest izvora na organogenim i bioklasitnim vapnencima, pješčenjacima, vapnenim i glinovitim laporima gornjega tortona (usp. Šikić i dr., 1977). Zbirno, od 95 utvrđenih izvora, 62 su smještena na mezozojskoj, krednoj ili trijaskoj podlozi (gustoće pojave 27 izvora po km²), a 33 na miocenskim naslagama (gustoće 30 izvora po km²). U mlađemu, miocenskome bazenu zabilježena su po 3 izvora više po km² negoli u starijem, sjevernijem i površinom većemu mezozojskome.

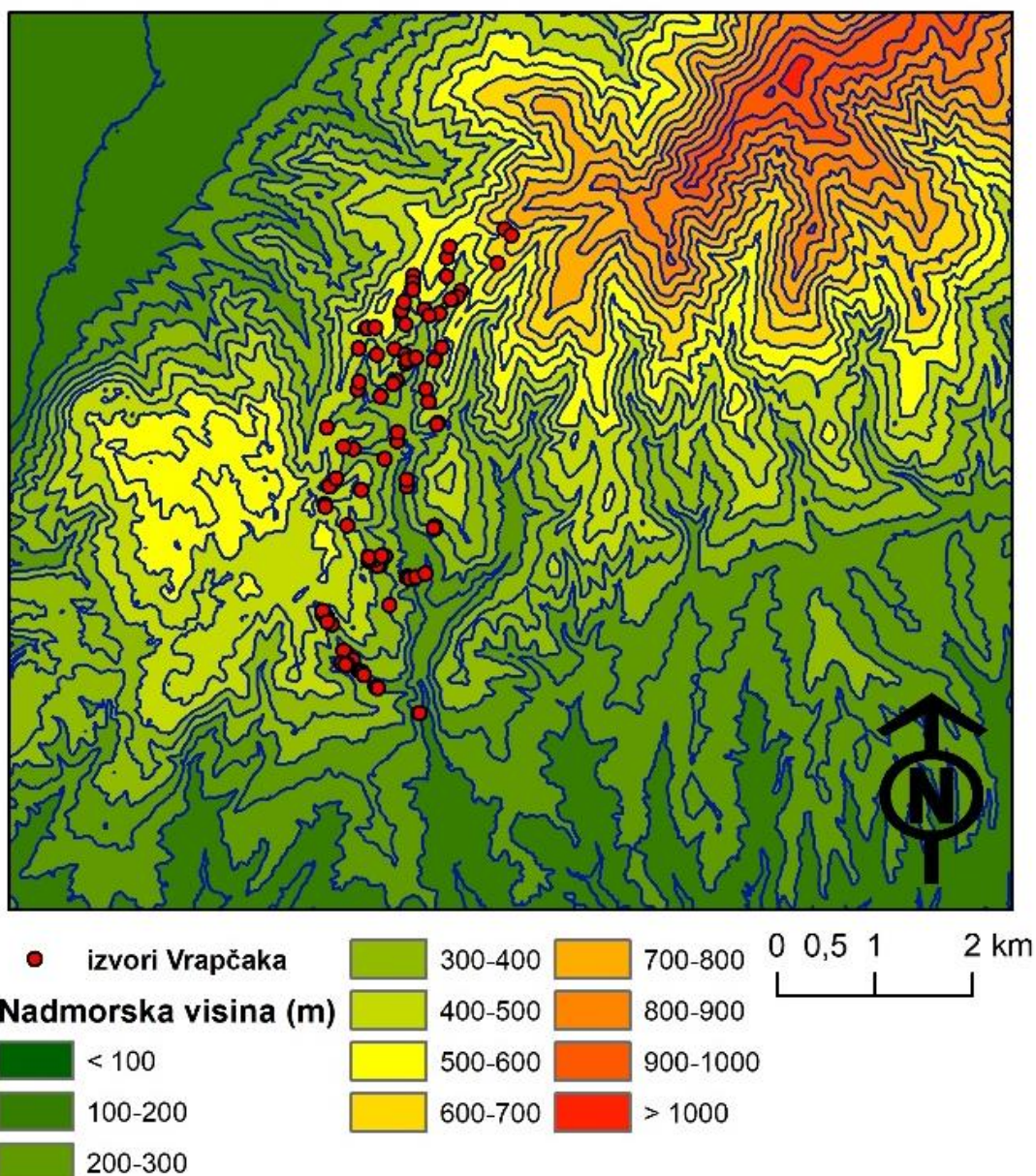
Iz topografske karte (Sl. 2. i 3.) vidljivo je kako se izvori javljaju u područjima jaruženja. Sjeverni izvori, na gornjokrednim naslagama (kampan-maastricht), pojavljuju se u skupinama smještenim između geoloških granica stalnoga prijelaza i poprečnih rasjeda bez oznake karaktera (usp. Basch, 1995). Taj je gornji bazen djelomično omeđen trima ili četirima relativno spuštenim blokovima, među kojima se nalazi većina izvora (usp. Šikić i dr., 1977). Jugozapadnije, u području oko Teškovca, izvori na miocenskim vapnencima, pješčenjacima, laporima i konglomeratima gornjega tortona također se javljaju u skupinama, ali između rasjeda neodređene starosti sa značajnijom aktivnošću (usp. Šikić i dr., 1977). Trijas je od miocena u tom području odvojen tektonsko-erozijskom diskordancijom (usp. Basch, 1995).

Hipsometrija izvorišnega področja Vrapčaka



Sl. 12. Hipsometrijski prikaz izvora Vrapčaka.

Hipsometrija izvorišnoga područja Vrapčaka



Sl. 13. Hipsometrija izvorišnoga područja Vrapčaka sa slojnicama (ekvidistancija 50 m).

Izvori su smješteni u visinskom rasponu od 100 do 700 metara (Sl. 12. i 13.). Najjužniji izvor smješten je između slojnica 100 i 120 m, a izvor koji se pruža najdalje u smjeru istoka približno na izohipsi od 660 m. Najsjeverniji je, pak, izvor uz slojnicu od 640 m. Dolina potoka Vrapčaka pruža se izvorišnim područjem u smjeru JZ-SI. Izborom 20-metarske ekvidistancije razvidno je kako se izvori, unutar iste slojnice i s obzirom na bližu okolinu (tj. krupnije mjerilo), pojavljuju ili pojedinačno ili u paru. U široj slici izvorišnoga područja mogla bi se izdvojiti tri područja okupljanja izvora, koja se djelomično i poklapaju s različitim geološkim obilježjima: *sjevni bazen*, na najvišim nadmorskim visinama (od 400 m naviše),

središnji i južni bazen, s izvorima na najnižim nadmorskim visinama. Južni bazen odgovarao bi onom miocenskom, a središnji i sjeverni mezozojskom (usp. Sl. 4. i Sl. 12.).

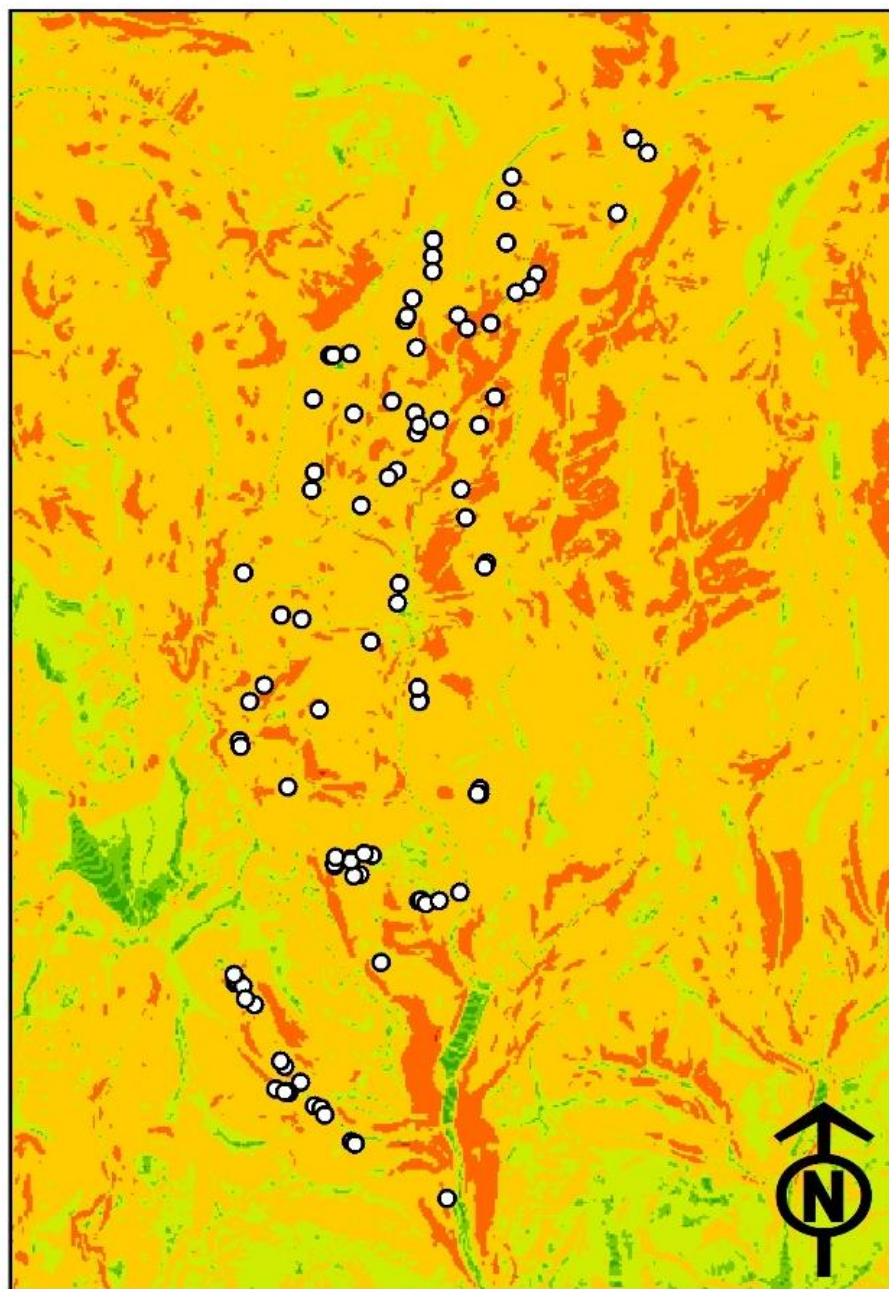
4.3. IZVORI I NAGIBI PADINA

Pomoću alata *Slope* u ArcMap-u analizirana je nagnutost reljefa izvorišnoga područja Vrapčaka. Iz kartografskoga prikaza (Sl. 15.) vidljivo je kako se najveći broj izvora javlja u područjima *znatno nagnutoga terena*, na padinama nagiba $12 - 32^\circ$ (razdioba terena prema: Bognar, 1992). Mjestimično se, u gornjem dijelu izvorišnoga područja i na rubovima Vrapčakove doline pojavljuju izvori i na *vrlo strmim padinama* ($32 - 55^\circ$). Tek nekolicina izvora javlja se na *nagnutom terenu* ($5 - 12^\circ$). Iako su unutar izvorišnoga područja prisutna manja područja *blago nagnutoga terena* ($2 - 5^\circ$), u njima ovim istraživanjem nije zabilježena pojava izvora.



Sl. 14. Primjer nagiba padina u izvorišnome području Vrapčaka.

Nagibi padina u izvorišnom području Vrapčaka



Sl. 15. Nagibi terena u izvorišnomu području Vrapčaka.

4.4. IZVORI I ENERGIJA RELJEFA

Uporabom alata za mjerenje udaljenosti (*Measure*) u sučelju GIS-a, određeno je kako je zračna udaljenost najsjevernijega i najjužnijega izvora Vrapčaka 5,052 km. Na toj razdaljini prostor izvorišnoga područja odlikuje visinska razlika od oko 540 m te se nagibi terena kreću u rasponu od 5 do 32 °. Već i to su, ubrojivši i poznavanje geoloških obilježja, dostatni pokazatelji kako prostor izvorišnoga područja svojim odlikama, tj. vertikalnom raščlanjenošću pogoduje erozijskim i padinskim procesima (Sl. 14. i 16.). Prevladava *umjereno raščlanjen reljef* (100 – 300 m/km²; prema Bognar, 1992), što upućuje na postojanje određenoga intenziteta fluviudenudacijskih procesa, poput spiranja i jaruženja (usp. Faber, 2022), čiji su rezultat vododerine i jaruge u dolini Vrapčaka i njegovih pritoka. Što se tiče gustoće horizontalne raščlanjenosti reljefa u JZ dijelu Medvednice, ona je najviša između naselja Mikulić i krškoga polja Ponikve (Klein, 1968).



Sl. 16. Primjer dijela izvorišnoga područja istaknute energije reljefa, s primjetnim jaruženjem u podnožju.

4.5. IZVORI I USMJERENJE PADINA

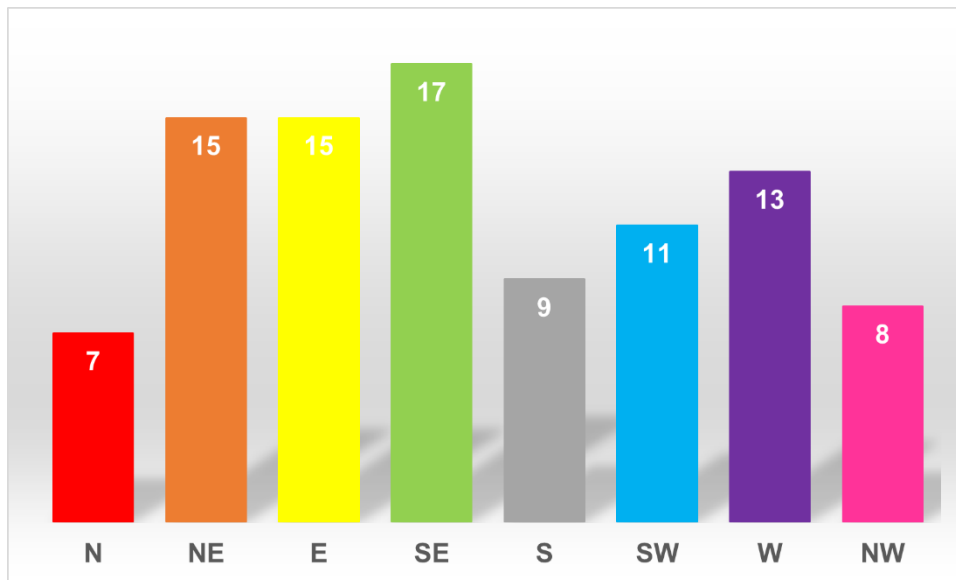
Usmjerenje, odnosno, orijentacija (ekspozicija) padina u smjeru najvećega nagiba u odnosu na strane svijeta također je pokazatelj intenziteta geomorfoloških procesa. S obzirom na to da uvjetuje količinu insolacije i zasjenjenost, važnu u zadržavanju snijega na padinama (osojne strane dulje su pod utjecajem snijega; Vidić, 2020), ekspozicija tako utječe i na biljni pokrov i na prihranjivanje toka i izvora Vrapčaka površinskim i podzemnim otjecanjem vode od kopnjenja snijega i padalina.

Usmjerenje padina izvorišnoga područja Vrapčaka

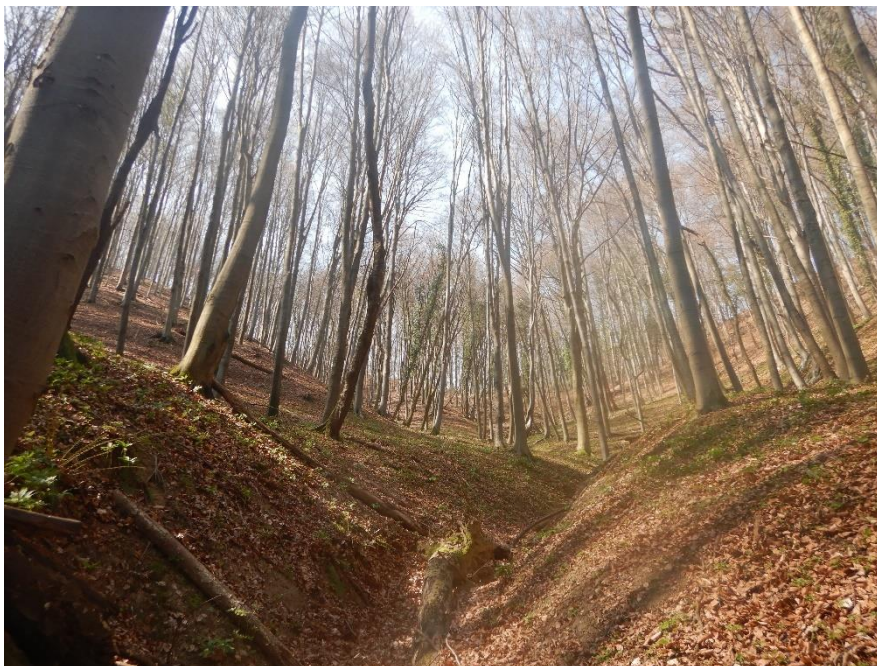


Sl. 17. Prikaz izvorišnoga područja Vrapčaka s naznačenim usmjerenjima padina (crne točke predstavljaju izvore Vrapčaka).

Ekspozicija padina u izvorišnom području vrlo je raznolika (Sl. 17.). Najviše izvora zabilježeno je na padinama jugoistočne (17), sjeveroistočne i istočne (15) orijentacije, a najmanje na onima sjevernoga (7) i sjeverozapadnoga (8) usmjerenja. Očekivano, više izvora smješteno je na prisojnim negoli osojnim stranama, s obzirom na to da se dolina Vrapčaka općenito nalazi na osojnoj padini Medvednice. Nadalje, više je izvora na padinama istočne u odnosu na zapadnu orijentaciju (Sl. 18.).



Sl. 18. Grafički prikaz brojnosti izvora Vrapčaka u ovisnosti o ekspoziciji padina.

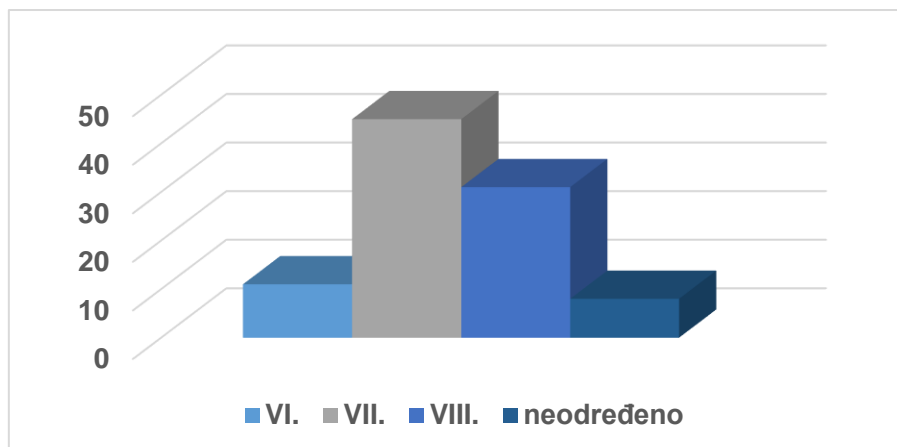


Sl. 19. Lijeva i desna obala korita (jaruge) različitih ekspozicija i nagiba.

5. HIDROLOGIJA IZVORA

5.1. IZDAŠNOST

Makar je istraživanjem u relativno malom izvorišnom području (oko 3,37 km²) popisano 95, većinom stalnih izvora (a konačni broj bi mogao biti i veći, uzevši u obzir moguće povremene izvore nezabilježene zbog nedostupnosti ili presušenosti, kao i pribrajanjem Ferendolovih deset izvora; usp. Faber, 2022), malih su izdašnosti, što je i očekivano s obzirom na to da Vrapčak, kao i neki drugi medvednički potoci, ne prenosi velike količine vode (u odnosu na potoke koji se ponegdje iskorištavaju u vodoopskrbi Podsljemenske zone ili istočnoga dijela Medvednice; usp. Faber, 2022). Faber (2022) donosi prikaz srednjih mjesečnih, srednjih najviših mjesečnih i srednjih najnižih mjesečnih vodostaja te srednje mjesečne protoke Vrapčaka, temeljene na mjerenjima DHMZ-a na postaji Zagreb 3125 u razdoblju od 2007. do 2016. (za protoke) odn. 2011. – 2020. (za vodostaje). Najviši mjesečni protoci zabilježeni su u zimskome dijelu godine (veljači – 0,29 m³s⁻¹, ožujku – 0,24 m³s⁻¹ i studenom – 0,17 m³s⁻¹), a slično tako i vodostaji (maksimumi većinom zimi i u rano proljeće, što je povezano s količinom padalina i sočnice s Medvednice). Unatoč relativno niskim vrijednostima, Vrapčak u donjem toku (kroz grad) rijetko presušuje (usp. Faber, 2022). Hidrometrijom pronađenih izvora dobiveni su prvi podatci o njihovoj izdašnosti (Sl. 20., Tab. 1.). Uporabom Meinzerove razredbe (usp. Martinić, 2022) utvrđeno je kako najviše izvora, njih 45, pripada VII. razredu (0,01 – 0,1 Ls⁻¹). Za osam izvora nije bilo moguće izmjeriti protok (uglavnom zbog nedostupnosti uslijed zaraštenosti raslinjem ili nagiba), no tok je vidljiv (premda slab) i fotodokumentiran. Za jedanaest izvora izmjeren je protok VI. razreda (0,1 – 1 Ls⁻¹), najviši u iznosu 0,22 Ls⁻¹ (krak Dragolineca). Ostalih tridesetak izvora izdašnošću ulaze u najniži, VIII. razred (< 0,01 Ls⁻¹; Sl. 20., Tab. 1.). Proljeće 2022., osobito ožujak (DHMZ, 2022), i prethodna zima bili su relativno suhi te nije bilo snježnoga pokrivača koji bi se dulje zadržao tijekom zime, što je važno za izdašnost izvora zabilježenu na terenu. Također, važno je napomenuti kako pojedini izvori prilikom kišnih razdoblja mogu prijeći u viši razred izdašnosti, a u sušnijim razdobljima u niži, pa je kategorizacija takvih izvora prema izdašnosti uvelike uvjetovana meteorološkim čimbenicima.



Sl. 20. Brojnost Vrapčakovih izvora prema Meinzerovim razredima izdašnosti.

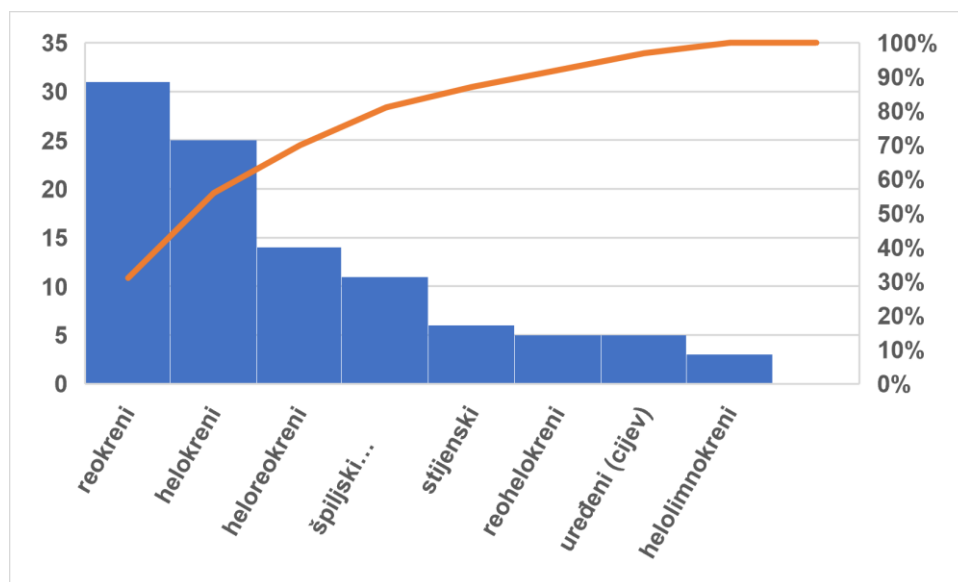
Tab. 1. Izdašnost izvora Vrapčaka prema Meinzerovim razredima i obilježja izdašnosti izvora po razredima.

obilježje	VI.	VII.	VIII.	neodređeni
broj izvora	11	45	31	8
najveća zabilježena izdašnost (Ls^{-1})	0,22	0,08	0,009	
najniža zabilježena izdašnost (Ls^{-1})	0,1	0,011	0,001	
prosječna izdašnost izvora u razredu (Ls^{-1})	0,14	0,04178	0,00768	

Najzastupljeniji je VII. razred, s četverostruko većim brojem izvora od VI. razreda, koji je ujedno i najmanji prema broju izvora. U razredu najmanje izdašnosti (VIII.) zabilježeno je dvadeset izvora više negoli u onomu najvećega protoka (VI.). Zanimljivo je kako je u VIII. razredu prosječna izdašnost tek za 14,7% niža od najveće izdašnosti izmjerene u njegovim granicama, zbog velikoga broja izvora s vrijednostima protoka između 0,008 i 0,009 Ls^{-1} . Najveća razlika između prosječne i najveće izmjerene izdašnosti jest u VII. razredu (47,8 %). Iz podataka proizlazi kako je VI. razred najujednačeniji, tj. izvori toga razreda najslabijih su vrijednosti izdašnosti, a kreću se oko 0,14 Ls^{-1} . No, te su vrijednosti blizu donje granice razreda (0,01 Ls^{-1} ; samo pet izvora ima protok $\geq 0,02 Ls^{-1}$). Prosječna izdašnost za 87 izvora na kojima je ona mogla biti izmjerena iznosi 0,0263 Ls^{-1} , što je protok VII. razreda po Meinzeru.

5.2. OBLIK STANIŠTA

Oblici staništa koje tvore Vrapčakovi izvori u njegovom izvorišnom području raznovrsni su i odraz složenih litoloških, geomorfoloških i pedoloških mikroreljefnih odnosa (v. Sl. 22. – 27). Dio izvora nije bilo moguće jednoznačno odrediti, pa su opisani dvjema odrednicama (npr. špiljski i reokren). Trima izvorima nije bilo moguće odrediti vrstu zbog nedostupnosti. Glavni stanišni tipovi izvora jesu *reokreni* (koji tvore korito), *helokreni* („blatni“ izvori) i *limnokreni* (koji tvore jezerce ili lokvu). Kod kombiniranih vrsta izvora, za *reohelokreni* izvor uzimao se takav izvor koji započinje koritasto i onda ubrzo (nakon najviše nekoliko metara) tvori blatnu ili močvarnu površinu. *Heloreokreni* je izvor, s druge strane, svaki onaj koji je oblikom u koritu, i ono se ne mijenja, ali je zablaceno ili zamočvareno. *Helolimnokreni* je blatni izvor koji nedaleko od mjesta izviranja tvori zamočvareno jezerce ili lokvu. *Stijenskim* izvorom smatrao se onaj koji izbija između slojeva u stijeni, a *špiljskim* ili *pukotinskim* one izvore koji se, kao što im i ime kaže, pojavljuju iz špiljastih zaklonjenja ili izbijaju iz izraženih pukotina (rupa). Uz tri izvora primijećena je i pojava (negdašnjega) sedrenja. Manji dio izvora (njih 5) bio je izmijenjen čovjekovim djelovanjem, najčešće ucjevljenjem toka. Tek su rijetki izvori imenovani, i to oni koje su uredili izletnici i planinari (npr., izvor M. Barić, v. Sl. 6.), što i ne iznenađuje s obzirom na to da je većina izvora ovim istraživanjem prvi put zabilježena.



Sl. 21. Stanišni tipovi Vrapčakovih izvora prikazani Paretovim grafikonom.

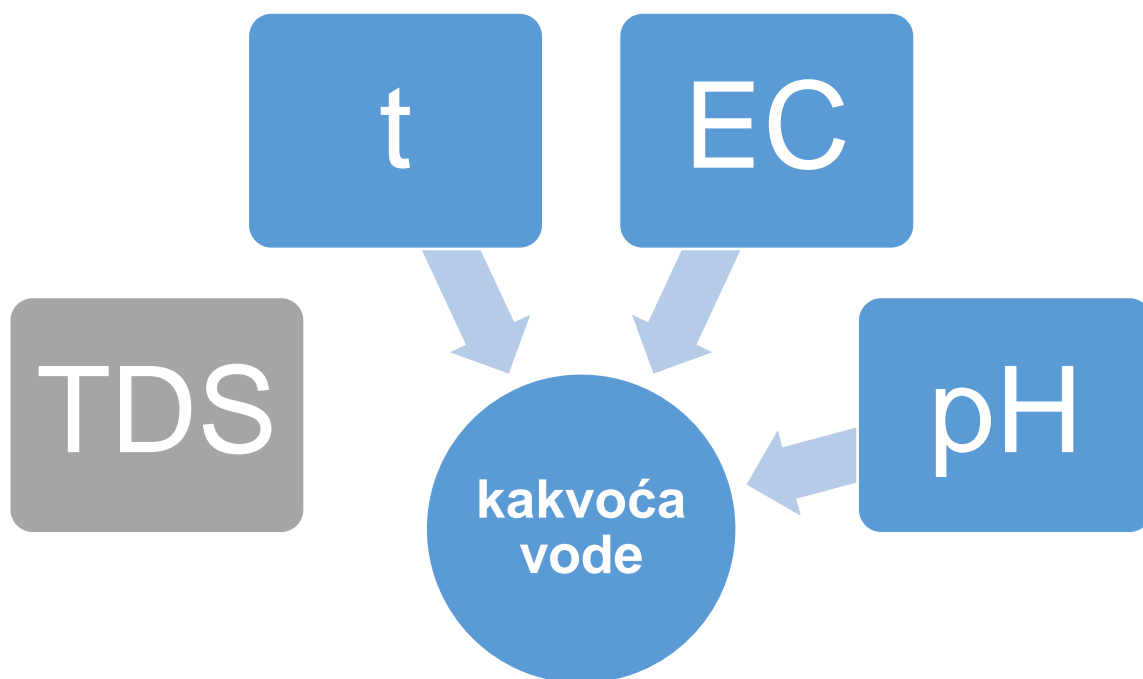
Vidljivo je kako prevladavaju reokreni (31) i helokreni (25) tipovi izvora, čineći zajedno gotovo 60% svih opisanih izvora. Među kombiniranim tipovima izvora opisano je gotovo trostruko više heloreokrenih (14) od reohelokrenih (5), a zabilježena su i tri helolimnokrena izvora. Zabilježeno je i 11 špiljskih ili pukotinskih te 6 stijenskih izvora (Sl. 21.).



SI. 22. – 27. Različiti stanišni tipovi izvora u izvorišnomu području Vrapčaka: reohelokreni (*gore lijevo*), heloreokreni (*gore desno*), helokreni (*sredina lijevo*), reokreni (*sredina desno*), uređeni (ucjevljeni, *dolje lijevo*) i špiljski/pukotinski (*dolje desno*).

5.3. POKAZATELJI KAKVOĆE VODE IZVORA

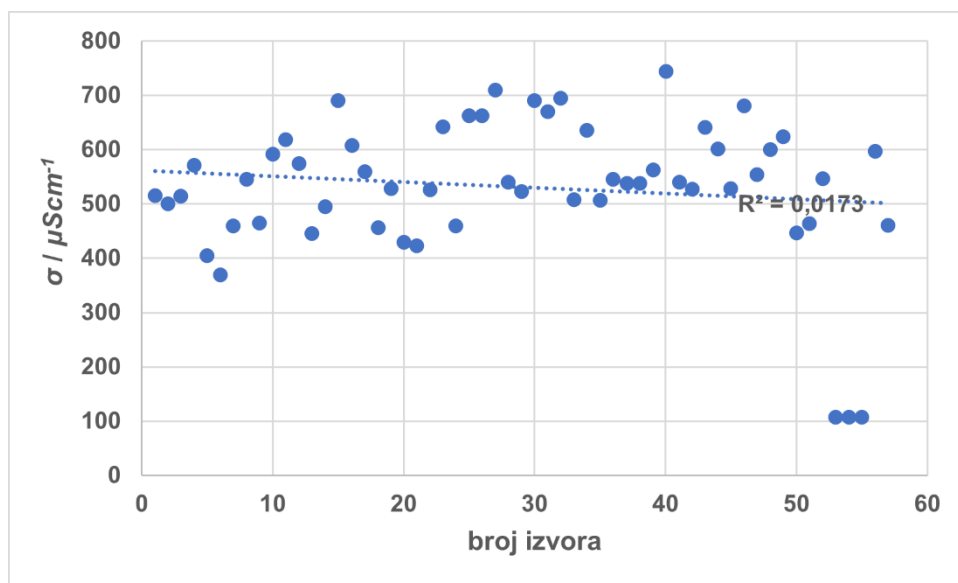
Kao što je već i navedeno, na svakom izvoru na kojemu su prilike to dopuštale (na njih otprilike dvije trećine), izmjereni su i neki osnovni fizikalno-kemijski pokazatelji kakvoće vode: temperatura, pH i električna provodnost (konduktivitet). Obuhvatnije istraživanje moglo bi uključiti i mjerenja količine otopljenoga kisika, prozirnosti, alkaliteta i tvrdoće vode, kao i (mikro)biološke pokazatelje, za određivanje stupnja kakvoće (boniteta) vode. *Uredba o standardu kakvoće voda* Vlade RH (NN 96/2019) donosi elemente za ocjenu stanja i kakvoće površinskih i podzemnih voda te propisuje potrebnu učestalost provedbe praćenja stanja (eng. *monitoring*) vodnih tijela na tlu Hrvatske. Treba napomenuti i kako je izdašnost vodnoga tijela (obrađena u 5.1.) element za ocjenu količinskoga stanja tijela podzemnih voda, kao i mineralnih i geotermalnih voda (VRH, 2019, čl. 38).



Sl. 28. Prikaz fizikalno-kemijskih veličina korištenih u istraživanju i njihov utjecaj na kakvoću vode. TDS je jedini hidrološki parametar koji ujedno i nije (dovoljno dobar) pokazatelj kakvoće vode izvora (TDS - količina otopljenih krutih tvari, t – temperatura vode, EC – električna provodnost, pH – lužnatost/kiselost vode).

5.3.1. ELEKTRIČNA PROVODNOST VODE IZVORA

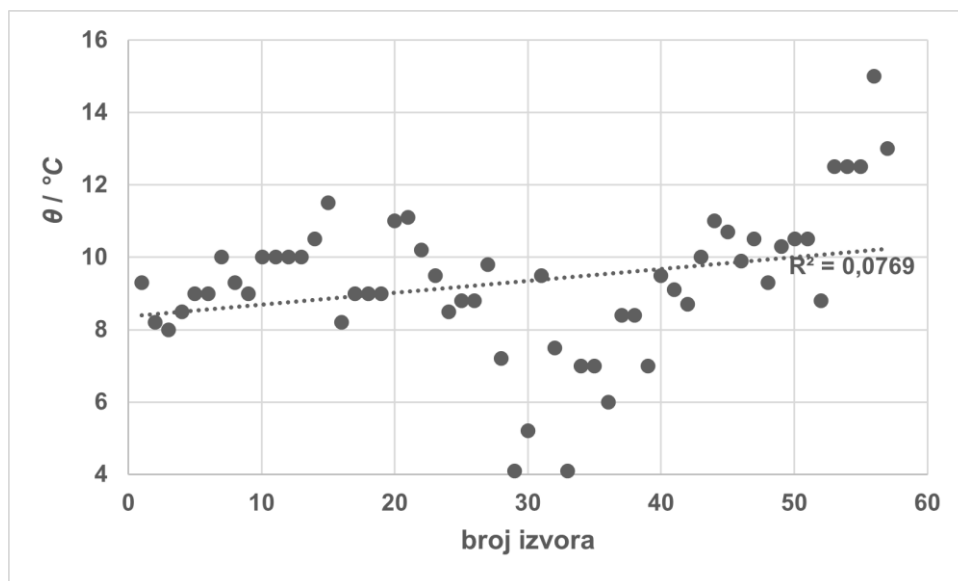
Električna provodnost ili konduktivnost (σ ili EC , [Sm^{-1}], lat. *conducere*: provoditi) svojstvo je tvari, u ovom slučaju vode, koje opisuje mogućnost provođenja električne struje i razmjerna je električnoj vodljivosti (G , [S]; usp. HE, 2021). Konduktivnost tekuće vode uvelike ovisi o količini otopljenih minerala i soli te temperaturi, a pokazatelj je, osim njezine kakvoće, i podrijetla tekuće vode (površinske i podzemne vode imaju različite vrijednosti električne provodnosti, kao i oborinske vode u odnosu na one u koritu, ali i voda u različitim dijelovima površinskoga toka; usp. SRWMD, 2022). Električna vodljivost, koja je razmjerna električnoj provodnosti, element je za ocjenu kemijskoga stanja tijela podzemnih, kao i mineralnih i geotermalnih voda (VRH, 2019, čl. 38). Granična vrijednost specifičnih onečišćujućih tvari za električnu vodljivost iznosi $2500 \mu\text{Scm}^{-1}$ (VRH, 2019, prilog 6, tablica 3.) Sl. 29. prikazuje izmjerene razine električne provodnosti u izvorima Vrapčaka. Razvidno je kako se većina izmjerenih vrijednosti kreće u rasponu od 400 do $700 \mu\text{Scm}^{-1}$, s iznimkom dvaju izvora iznad (710 i $744 \mu\text{Scm}^{-1}$) i tri izvora ispod ($107 \mu\text{Scm}^{-1}$) toga raspona. Crta trenda (eng. *trendline*) za 57 izvora na kojima je bilo moguće provesti mjerenje pokazuje kako je prosječna srednja vrijednost električne provodnosti izvora u izvorišnome području Vrapčaka blizu $500 \mu\text{Scm}^{-1}$.



Sl. 29. Izmjerene vrijednosti električne provodnosti (σ) u izvorima potoka Vrapčaka.

5.3.2. TEMPERATURA VODE IZVORA

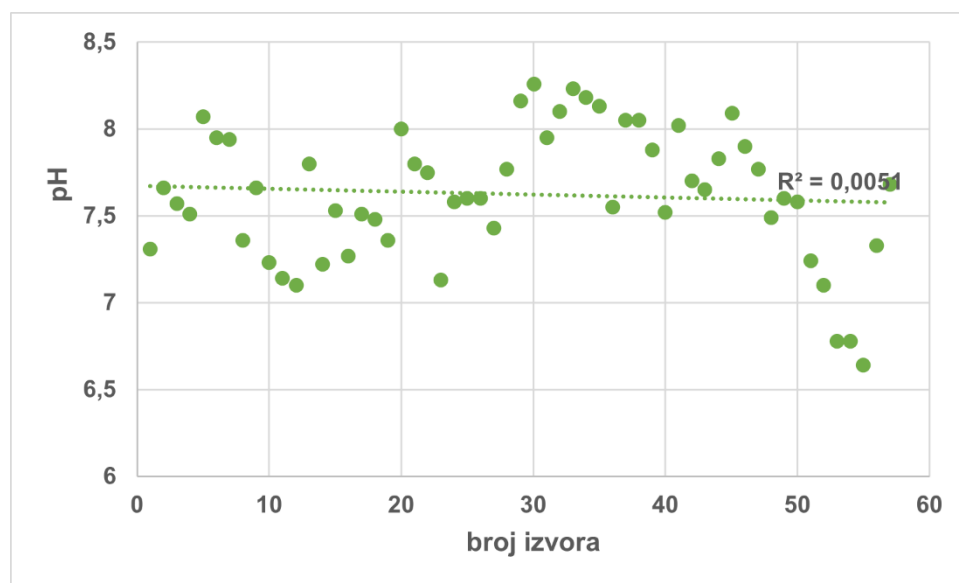
Temperatura je još jedan osnovni fizikalno-kemijski pokazatelj za ocjenu kakvoće kako geotermalnih i mineralnih voda (usp. VRH, 2019, čl. 38), tako i rijeka, jezera, prijelaznih i priobalnih vode (usp. VRH, 2019, prilog 1.), kao i pokazatelj ekološkoga stanja istih (usp. VRH, 2019, prilog 2.). Temperatura izvorske vode odraz je geoloških (mineraloških i petroloških) obilježja prostora, količine i brzine toka podzemnih voda, dubine na kojoj se podzemna voda kreće prema površini (smanjenjem dubine načelno se smanjuje i temperatura vode), ali i veličine samoga izvora (veći izvori, tj. izvori većega obujma vode teže ju zagrijavaju i održavaju zagrijanom; Manga, 2022). Srednja godišnja temperatura zraka na području PP Medvednice iznosi oko 6,2 °C (PPM, 2019). Prigodom mjerenja, temperatura vode u izvorima redovito je bila niža od trenutne temperature zraka. Nekolicinu krajnje visokih temperatura (iznad 12 °C) trebalo bi uzeti sa zadržkom jer su vjerojatno posljedica zagrijanosti vode tijekom dana u uvjetima vrlo sporoga otjecanja. Prosječna temperature vode u izvorima iznosi malo više od 10 °C (Sl. 30.).



Sl. 30. Temperature vode (θ) u izvorima Vrapčaka.

5.3.3. VRIJEDNOST pH VODE IZVORA

Vrijednost pH element je za ocjenu kemijskoga stanja tijela podzemnih voda (VRH, 2019, čl. 38.) te osnovni fizikalno-kemijski pokazatelj kakvoće vode u rijekama i jezerima (VRH, 2019, prilog 1.), kao i pokazatelj zakiseljenosti za rijeke, jezera, prijelazne i priobalne vode (VRH, 2019, prilog 2.) Granične vrijednosti pH za vrlo dobro ekološko stanje rijeka u Panonskoj ekoregiji RH kreću se od 7,4 do 8,5, a za dobro ekološko stanje u rasponima 7,0 – 7,4 i 8,5 – 9,0 (VRH, 2019, prilog 2., tablica 6.). Vrijednost pH je i osnovni pokazatelj koji se prati u okviru nadzornoga monitoringa za ocjenu kemijskoga stanja podzemnih voda (VRH, 2019, prilog 6., tablica 1.) Propisana vrijednost pH za vode (i salmonidne i ciripidne) u kojima obitavaju slatkovodne ribe je raspon 6,0 – 9,0, pri čemu odstupanja ne smiju prelaziti za 0,5 iznad ili ispod njega (VRH, 2019, prilog 8., tablica 1.). Pri tumačenju vrijednosti pH treba imati na umu kako kiša ima blago kiseli pH (oko 5), a njome se površinskim i podzemnim otjecanjem izvori umnogome prihranjuju. Ako se voda brzo procijedi, tj. ne uspije dulje zadržati u podzemlju, ne stiže otapati minerale i pH ostaje nizak (usp. Riđanović, 1993).

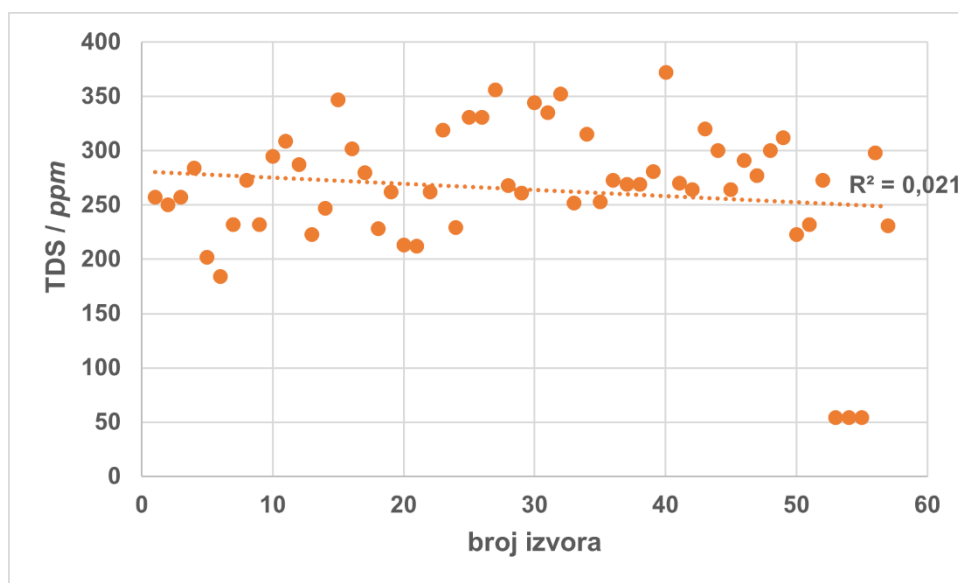


Sl. 31. Izmjerene vrijednosti pH u izvorima Vrapčaka.

Prosječne se vrijednosti pH u istraživanim izvorima kreću u području blago lužnatih, malo iznad 7,5 (Sl. 31.). Na trima izvorima zabilježene su blago kisele vrijednosti pH (6,64 i dvaput 6,78), a na njih desetak pH iznad 8 (najviši 8,26). Prema tomu, većina izvora je vrlo dobroga ekološkoga stanja te je u svim izvorima voda dostatne kakvoće za život slatkovodnih riba (usp. VRH, 2019). Nadalje, svi izvori pokazuju zadovoljavajući stupanj lužnatosti za korištenje njihove vode za piće, barem u slučaju ovoga pokazatelja (usp. Sučić, 2013).

5.3.4. UKUPNE OTOPLJENE TVARI U VODI IZVORA

Ukupna količina otopljenih krutih tvari (eng. *Total dissolved solids*, TDS, [mgL^{-1} ili ppm]) jest masa otopljenih (anorganskih i organskih) tvari u litri vode, preostalih nakon specifičnih postupaka filtracije i sušenja (Bekavac-Basić, 2019), a koje obično potječu iz humusa, gline i od mikroorganizama (Bekavac-Basić, 2019). Premda nije odsudan pokazatelj kakvoće vode za piće (Jern, 2020), važan je u (pr)ocjeni stanja površinskih i podzemnih voda, kao jedan od činitelja Indeksa kakvoće vode (eng. *Water Quality Index*, WQI; usp. Tomas i dr., 2013). U tom se svojstvu u istraživanjima često dovodi u moguću korelaciju s električnom provodnosti (usp. Sl. 29. i 32.), otopljenim kisikom i vrijednosti pH (Sl. 31.; usp. Patni i dr., 2022). Kako su u vodi ukupne otopljene tvari većinom zastupljene u ionskom obliku, pomoću električne provodnosti može se pratiti količina TDS-a koja doprinosi promjeni vodljivosti otopine, odnosno, konduktivnost se može primijeniti kao mjera koncentracije iona u uzorku vode (usp. Jakelić i dr., 2016). Drugim riječima, što je veći udio (otopljenih) anorganskih spojeva, to je električna vodljivost (a time i električna provodnost, koja joj je razmjerna) veća.



Sl. 32. Izmjerene ukupne otopljene tvari (TDS) u izvorima Vrapčaka.

Prosječna količina TDS-a u Vrapčakovim izvorima iznosi oko 250 ppm (Sl. 32.). Kod većine izvora zabilježene su vrijednosti TDS-a u rasponu između 200 i 350 ppm, s nekoćinom lokaliteta iznad (352, 356 i 372 ppm) i ispod (54 i 184 ppm). Relativna ujednačenost izmjerenih TDS-a u izvorima mogla bi upućivati na sličnosti u litologiji, pedologiji i geomorfologiji izvorišnoga područja, no količina TDS-a uvijek je i odraz fizikalno-kemijskih uvjeta na mikroreljefnoj, tj. na razini svakoga izvora posebno.

5.4. IZVOR „M. BARIĆ“

Izvor „M. Barić“ je uređeni ucjevljeni izvor uz planinarsku stazu (v. Sl. 6.), jedan od nekolicine takvih u izvorišnom području Vrapčaka, na kojemu su u četiri navrata provedena mjerenja kao i na svim ostalim izvorima tijekom istraživanja. Makar se dobiveni rezultati odnose na tromjesečno razdoblje (ožujak – svibanj 2022.) te su za svaku ozbiljniju analizu nedostadni, svakako su reprezentativniji u odnosu na sve ostale izvore, na kojima su mjerenja provedena samo prilikom njihova pronalaska.

Tab. 2. Protoci (Q), električna provodnost (EC), količina ukupnih otopljenih tvari (TDS), vrijednosti pH i temperature vode (t) na izvoru „M. Barić“.

nadnevak	Q / Ls^{-1}	EC / μS_{cm}^{-1}	TDS / ppm	pH	t / °C
13. 3. 2022.	0,009	575	286	8,14	5,8*
13. 4. 2022.	0,015	670	335	7,95	9,5
3. 5. 2022.	0,021	664	332	7,78	9,5
18. 5. 2022.	0,013	668	334	7,84	10,5

Iz Tab. 2. vidljivo je kako su rezultati mjerenja uglavnom ujednačeni, s iznimkom prvoga, 13. ožujka 2022. Iako je upotrijebljen isti uređaj (multimetar tvrtke Hanna Instruments®), tu značajniju razliku u podacima moglo bi objasniti mjerenje u drukčijem dijelu dana u odnosu na ostale izvore ili neka pogriješka prigodom samoga mjerenja. Posebno „odskake“ izmjerena temperatura, koja je za gotovo 4 – 4,5 °C niža od ostalih, pa stoga i naznačena zvjezdicom (*). Navedeno odstupanje moglo bi proizlaziti iz toga što je 13. ožujka bio hladan dan na kojemu se zbog male izdašnosti voda hladila od površine tla. Također, konduktivnost je za 13,6%, a TDS 14,6% niži u prosjeku od ostalih. Prema mjerenjima protoka jasno je kako izvor pripada VII. razredu izdašnosti po Meinzeru (s izuzetkom prvoga mjerenja, po kojemu pripada razredu niže), barem u promatranom dijelu godine. S obzirom na to da se vodom iz izvora prolaznici služe za piće, uzevši u obzir podatke o konduktivnosti, količini TDS-a i vrijednosti pH (Tab. 2.) i usporedivši ih s propisanim vrijednostima (usp. VRH, 2019), može se zaključiti kako je voda dostatne kakvoće za piće, barem prema navedenim pokazateljima.

Redovita i dugotrajnija mjerenja odabranih pokazatelja nužna su za stjecanje boljšeg uvida u kakvoću izvorišnih voda Vrapčaka. Takav skup podataka svakako bi pomogao u razumijevanju utjecaja i međuodnosa podloge (litologije), tla (pedologije), živoga svijeta (ekologije), čovjekova utjecaja i promatranih vodnih tijela (hidrologije).

6. ZAKLJUČAK

Ostvareni su svi ciljevi istraživanja izvora potoka Vrapčaka na Medvednici. Određeno je izvorišno područje, pomoću literature i geoloških karata opisana je njegova litologija, svi zabilježeni izvori su georeferencirani i kartirani s obzirom na topografsku i geološku podlogu, kao i na određene geografske odlike prostora (hipsometriju, nagibe i usmjerenja padina), provedenim hidrološkim analizama utvrđene su izdašnosti izvora te razine odabranih osnovnih fizikalno-kemijskih pokazatelja (temperatura vode, konduktivnosti, količine ukupnih otopljenih tvari i vrijednosti pH). Izvorima su, drugim riječima, određena prostorna i hidrološka obilježja.

Ipak, rezultati istraživanja ukazali su na potrebu za daljnjim, sustavnijim, obuhvatnijim i dugoročnijim istraživanjima, kako bi se dobila veća količina podataka, a samim time i točnije i lakše moglo povezati novostečena znanja s dosadašnjim spoznajama o potoku Vrapčaku, njegovom izvorišnom području i cijelom slijevnom području zagrebačkih potoka na zapadnoj strani Zagrebačke gore. Također, istraživanja je potrebno proširiti i u smjeru inter- i multidisciplinarnosti, uključujući kolege šumare, zoologe, ekologe, geologe, pedologe, djelatnike Parka prirode Medvednica, kao i sve dionike koji u izvorišnomu području Vrapčaka pronalaze određene usluge ekosustava. Nove spoznaje o izvorišnomu području Vrapčaka nužne su za kvalitetnije, održivije i prikladnije prostorno planiranje njegova toka kroz naseljena područja zapadnoga dijela Zagreba, no zasigurno su i od pomoći Parku prirode Medvednica u boljemu i usmjerenijemu upravljanju ovim zaštićenim područjem, posebice njegovim hidrološkim sastavnicama.

7. LITERATURA

- Bekavac-Basić, I., 2019: Određivanje ukupnih suspendiranih čestica u prirodnim i otpadnim vodama, Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb.
- Brletić, F., 2017: Hidrološki objekti na jugozapadnim objektima Parka prirode Medvednica, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.
- Bognar, A., Klein, V., 1976: Litostratigrafski profil pleistocenskih sedimenata Grmoščice i njegovo značenje u tumačenju geomorfološkog razvoja prigorja Medvednice, *Geografski glasnik* 38 (1), 30-51.
- Bognar, A., 1992: Inženjerskogeomorfološko kartiranje, *Acta Geographica Croatica* 27 (1), 173-184.
- Bognar, A., 1999: Geomorfološka regionalizacija Hrvatske, *Acta Geographica Croatica* 34 (1), 7-26.
- Božićević, S., 1995: Ponikve i Kameni svati, u: Šikić, K. (ur.): *Geološki vodič Medvednice*, Institut za geološka istraživanja i INA-Industrija nafte d.d., Naftaplin, Zagreb, 46-47.
- Crnjaković, M., 1997: Geologija Medvednice, u: Vuković, M., Bukovec, D. (ur.): *Medvednica: eko muzej*, Hrvatski prirodoslovni muzej, Zagreb, 9-19.
- Čirjak, B. R., Mamut, M., 2016: Geoekološko vrednovanje reljefa otoka Hvara s aspekta poljodjelske valorizacije, *Socijalna ekologija* 25 (3): 211-234. DOI: 10.17234/SocEkol.25.3.1.
- Faber, M., 2022: Medvednički potoci u prostornom planiranju Zagreba, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb.
- Haas, N., Werner, M., Sertić Perić, M., 2019: Kratkoročni učinci prirodnog protoka na kvalitetu vode duž dva urbana potoka – pilot-istraživanje, *Natura Croatica* 28 (2), 289-303. DOI: 10.20302/NC.2019.28.21.
- Herak, M., 2006: *Medvednica: zagonetno zagrebačko gorje*, Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti i Hrvatski geološki institut, Zagreb.
- Jakelić, M., Benković, M., Valinger, D., Jurina, T., Jurinjak Tušek, A., Gajdoš Kljusurić, J., 2016: Odnosi suhe tvari ekstrakata ljekovitog bilja, električne vodljivosti i ukupnih otopljenih tvari, u: Jurina, T., Valinger, D., Benković, M., Tušek Jurinjak, A., Belščak Cvitanović, A. (ur.): *Knjiga sažetaka s radionice u sklopu projekta "Primjena mikroreaktora u praćenju antioksidacijske aktivnosti samoniklog bilja (MICRO-AA)"*, Prehrambeno-biotehnoški fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Klein, V., 1968: Morfometrijska analiza horizontalne raščlanjenosti reljefa Medvednice, *Geografski glasnik* 30 (1), 79-87.

- Marinčić, S., Šparica, M., Pavelić, D., Benić, J., 1995: Sedimenti gornjeg senona u dolini potoka Vrapčaka, u: Šikić, K. (ur.): *Geološki vodič Medvednice*, Institut za geološka istraživanja i INA-Industrija nafte d.d., Naftaplin, Zagreb, 51-52.
- Martinić, I., Vinković, K., Płazckowska, E., 2019: Geomorfološko i hidrogeografsko istraživanje Malog i Velikog potoka na Medvednici, u: Orešić, D., Lončar, J., Maradin, M. (ur.): *7. Hrvatski geografski kongres, knjiga sažetaka*, Hrvatsko geografsko društvo, Čakovec, 59-62.
- Martinić, I., 2022: Pregled klasifikacija i suvremenih istraživanja izvora u svijetu i Hrvatskoj, *Hrvatski geografski glasnik* 84 (1), 31-68. DOI: 10.21861/HGG.2022.84.01.02.
- Martinović, J., 1997: *Tloznanstvo u zaštiti okoliša*, Državna uprava za zaštitu okoliša, Zagreb.
- Patni, K., Pande, A. P., Pande, C., 2022: Physicochemical investigation of some primitive water sources in District Champawat for potability and preservation of historical aesthetics, Uttarakhand, India, *The holistic approach to environment* 12 (1), 1-8. DOI: 10.33765/thate.12.1.1
- Pikija, M., Šikić, K., Tišljar, J., Miknić, M., 1995: Miocenski sedimenti uz trasu Zelene magistrale, u: Šikić, K. (ur.): *Geološki vodič Medvednice*, Institut za geološka istraživanja i INA-Industrija nafte d.d., Naftaplin, Zagreb, 49-51.
- Riđanović, J., 1993: *Hidrogeografija*, Školska knjiga, Zagreb.
- Sučić, H., 2013: Potenciometrijsko određivanje pH vrijednosti vode za piće kao dio sustava praćenja kakvoće vode na području Osječko-baranjske županije, Medicinski fakultet, Osijek.
- Tomas, D., Maldini, K., Matić, N., Marijanović Rajčić, M., 2013: Primjena indeksa kvalitete vode u ocjeni kakvoće vode krških jezera, *Hrvatske vode* 21 (86), 303-310.
- Vidić, P., 2020: Morfogeneza krškog reljefa na području Družanice i Drenovače (Zapadna Medvednica), Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb.
- Vrsaljko, D., Šikić, K., Pikija, M., Glovacki-Jernej, Ž., Miknić, M., 1995: Miocenske naslage Gornjeg Vrapča, u: Šikić, K. (ur.): *Geološki vodič Medvednice*, Institut za geološka istraživanja i INA-Industrija nafte d.d., Naftaplin, Zagreb, 61-66.

8. IZVORI

- Basch, O., 1995: Geološka karta Medvednice, Institut za geološka istraživanja, Zagreb.
- Državna geodetska uprava (DGU), 2011: Topografska karta u mjerilu 1:25 000 (GIS shapefileovi), Zagreb.
- Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ), 2022: Kumulativna oborina i odstupanje, https://meteo.hr/klima.php?section=klima_pracenje¶m=spi&el=koa&Grad=ZagrebMaksimir&Mjesec=03&Godina=2022 (29. 8. 2022.)
- Glavaš, L., 2011: *Znamen*, Naša ognjišta, Tomislavgrad.
- Hrvatska enciklopedija (HE), 2021: električna provodnost, <https://enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=69718> (20. 8. 2022.)
- Jern, M., 2020: Why TDS is a poor measure for water quality, <https://tappwater.co/en/tds-tap-water-filter-quality/> (20. 8. 2022.)
- Manga, M., 2022: Springs, <http://www.waterencyclopedia.com/Re-St/Springs.html> (31. 8. 2020.)
- Park prirode Medvednica (PPM), 2019: Plan upravljanja: Park prirode Medvednica, pp-medvednica.hr (8. 8. 2022.).
- Suwannee River Water Management District (SRWMD), 2022: Conductivity, <https://www.mysuwanneeriver.com/421/Conductivity> (20. 8. 2022.)
- Šikić, K., Basch, O., Šimunić, A., 1977: Osnovna geološka karta SFRJ, list Zagreb 1:100 000 L 38-80, Institut za geološka istraživanja, Zagreb (1972), Savezni geološki zavod, Beograd.
- Vlada Republike Hrvatske (VRH), 2019: Uredba o standardu kakvoće voda, https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019_10_96_1879.html (20. 8. 2022.)

Dodatak 1: Popis slikovnih priloga

Sl. 1. Geografski smještaj izvora Vrapčaka zabilježenih istraživanjem u Parku prirode Medvednica i Gradu Zagrebu.	1
Sl. 2. Geografski smještaj izvora Vrapčaka zabilježenih istraživanjem na podlozi Topografske karte Republike Hrvatske u mjerilu 1:25 000.	2
Sl. 3. Detalj Topografske karte Republike Hrvatske u mjerilu 1:25 000 s naznačenim izvorima u odabranome dijelu izvorišnoga područja Vrapčaka.	3
Sl. 4. Smještaj i rasprostranjenost izvora Vrapčaka s obzirom na geološku podlogu.	4
Sl. 5. Neodređen izvor.	7
Sl. 6. Izvor „M. Barić“.	7
Sl. 7. Mjerenje odabranih hidroloških pokazatelja multimetrom tvrtke Hanna Instruments®.	7
Sl. 8. Mjerenje odabranih hidroloških pokazatelja multimetrom tvrtke Hanna Instruments®.	7
Sl. 9. Pronalazak geolokacija izvora pomoću aplikacije Maps.me 12.3.3.	7
Sl. 10. Primjeri prirodnih smetnji u istraživanju izvora: trupci posječenih ili srušenih stabala.	8
Sl. 11. Primjeri prirodnih smetnji u istraživanju izvora: nabujalo raslinje.	8
Sl. 12. Hipsometrijski prikaz izvora Vrapčaka.	10
Sl. 13. Hipsometrija izvorišnoga područja Vrapčaka sa slojnicama (ekvidistancija 50 m).	11
Sl. 14. Primjer nagiba padina u izvorišnome području Vrapčaka.	12
Sl. 15. Nagibi terena u izvorišnomu području Vrapčaka.	13
Sl. 16. Primjer dijela izvorišnoga područja istaknute energije reljefa, s primjetnim jaruženjem u podnožju.	14
Sl. 17. Prikaz izvorišnoga područja Vrapčaka s naznačenim usmjerenjima padina.	15
Sl. 18. Grafički prikaz brojnosti izvora Vrapčaka u ovisnosti o ekspoziciji padina.	16
Sl. 19. Lijeva i desna obala korita (jaruge) različitih ekspozicija i nagiba.	16
Sl. 20. Brojnost Vrapčakovih izvora prema Meinzerovim razredima izdašnosti.	18
Sl. 21. Stanišni tipovi Vrapčakovih izvora prikazani Paretovim grafikonom.	19
Sl. 22. Različiti stanišni tipovi izvora u izvorišnomu području Vrapčaka: reohelokreni.	20
Sl. 23. Različiti stanišni tipovi izvora u izvorišnomu području Vrapčaka: heloreokreni.	20
Sl. 24. Različiti stanišni tipovi izvora u izvorišnomu području Vrapčaka: helokreni.	20
Sl. 25. Različiti stanišni tipovi izvora u izvorišnomu području Vrapčaka: reokreni.	20
Sl. 26. Različiti stanišni tipovi izvora u izvorišnomu području Vrapčaka: uređeni.	20
Sl. 27. Različiti stanišni tipovi izvora u izvorišnomu području Vrapčaka: špiljski.	20

Sl. 28. Prikaz fizikalno-kemijskih veličina korištenih u istraživanju i njihov utjecaj na kakvoću vode.	21
Sl. 29. Izmjerene vrijednosti električne provodnosti u izvorima potoka Vrapčaka.	22
Sl. 30. Temperature vode u izvorima Vrapčaka.	23
Sl. 31. Izmjerene vrijednosti pH u izvorima Vrapčaka.	24
Sl. 32. Izmjerene ukupne otopljene tvari (TDS) u izvorima Vrapčaka.	25

Dodatak 2: Popis tablica.

Tab. 1. Izdašnost izvora Vrapčaka prema Meinzerovim razredima i obilježja izdašnosti izvora po razredima.	18
Tab. 2. Protoci, električna provodnost, količina ukupnih otopljenih tvari, vrijednosti pH i temperature vode na izvoru „M. Barić“.	26