



Mofete v Slovenskih goricah

Mofettes in Slovenske gorice, Slovenia

Laura GABOR¹ & Nina RMAN²

¹Laura Gabor, Tropovci, Kolesarska ulica 72, SI-9251 Tišina; e-mail: laura.gabor666@gmail.com

²Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, SI-1000 Ljubljana; e-mail: nina.rman@geo-zs.si

Prejeto / Received 12. 9. 2016; Sprejeto / Accepted 3. 11. 2016; Objavljeno na spletu / Published online 23. 12. 2016

Ključne besede: mofeta, razplinjevanje CO₂, mineralna voda, slatina, batimetrični 3D model, Ščavniška dolina, Radenci, Slovenija

Key words: mofette, CO₂ degassing, mineral water, slatina, bathymetric 3D model, Ščavniška dolina, Radenci, Slovenia

Izvleček

Pojavi naravnih izvirov CO₂ in vode z veliko prostega plina v Sloveniji so poznani predvsem v Slovenskih goricah. S terenskim delom v letih 2014–2015 smo hidrogeološko opisali enajst izvirov vode in/ali plina: Ihovska slatina, Ivanjševska slatina, Lokavska slatina, Polička slatina, Radvenska slatina, mofeta Rihtarovci, Stavešinske Slepice, Stavešinske mofete Strmec, Ujterska slatina, Verjanska slatina in Žekš. Za pet nezajetih izvirov smo ugotovili, da lahko premer presega 4 m, globina dna pa 2 m, čeprav je njihov obseg večinoma skromnejši. Izdelali smo batimetrične 3D modele izvirnega območja ter na tlorisu označili mesta izhajanja plina in ocenili intenzivnost dotoka po subjektivni, vizualni petstopenjski lestvici. Izmerili smo tudi fizikalno-kemijske parametre vode. Opazovane pojave smo razvrstili med *mofete* in *mineralne vode*. Dve sta mokri *mofeti* (Polička slatina in Slepice), tri pa suhe (mofeta Rihtarovci, mofeta Strmec, mofeta pri Lokavski slatini). Iz njih stalno izhaja hladen CO₂, površinska ali padavinska voda je kislja, v okolici pa je opazno spremenjeno rastje in/ali gola tla. *Mineralna voda* z nad 1 g/l skupnih raztopljenih snovi izvira v Ihovski, Ivanjševski in Radvenski slatini ter Žekšu in je bogata s prostim CO₂ z intenzivnostjo izhajanja plina 2–4. Verjanska in Ujterska slatina nista niti *mofeti* niti *mineralni vodi*. Prva je mogoče, tako kot večina, *slatina*, z nad 250 mg/l prostega CO₂ (CO₂)_g. Povezave med globino dna izvira in intenzivnostjo izhajanja plina na vodni površini nismo našli.

Abstract

Natural CO₂ springs and groundwater rich in free gas in Slovenia occur mainly in the Slovenske gorice hills. Within the frame of fieldwork performed in 2014–2015 we investigated 11 springs: Ihovska slatina, Ivanjševska slatina, Lokavska slatina, Polička slatina, Radvenska slatina, Mofette Rihtarovci, mofettes Stavešinske Slepice, and Strmec, Ujterska slatina, Verjanska slatina and Žekš. The diameter of five uncaptured springs can exceed 4 m, with depression depths of 2 m, but most are smaller. We elaborated bathymetric 3D models of these spring areas, marked degassing locations in a plan view, and evaluated the gas flux according to a subjective, visual five-level scale. We also measured physicochemical parameters of the water. The observed phenomena were classified among *mofettes* and *mineral waters*. Two are wet *mofettes* (Polička slatina and Slepice) and three dry *mofettes* (Rihtarovci, Strmec, mofette at Lokavska slatina). These constantly emit cold CO₂, hold acid surface or meteoric water, and bare soil or changed vegetation may also be present. *Mineral water* consisting of more than 1 g/l of total dissolved solids surfaces at Ihovska, Ivanjševska and Radvenska slatina, and Žekš. It is rich in free CO₂, having a flux intensity of 2–4. Verjanska slatina and Ujterska slatina are neither *mofettes* nor *mineral waters*. The first, like most others, may be a *slatina*, having more than 250 mg/l of free CO₂ (CO₂)_g. We found no connection between the depth of the springs and the intensity of gas emissions.

Uvod

Naravni izviri plinov se pojavljajo tako na vulkanskih kot nevulkanskih območjih. V Evropi so raziskani številni naravni izviri metana (MINISSALE et al., 2000; ETIOPE, 2009), tisti na Hrvaškem so na žalost že presahnili (MARKIČ, 2013). V tem prispevku se posvečamo naravnim izvirom ogljikovega dioksida. Najpogostejše jih opredeljujejo kot posebno vrsto *fumarol* in jih imenujejo *mofete*. *Mofete* so najpogostejše v bližini vulkanov, njihove raziskave potekajo na primer v Kaliforniji (ZDA) (EVANS et al., 2002) in Romuniji (VASELLI et al., 2002), ter na območjih s hidrogeotermalnim sistemi, včasih tudi vezanimi na vulkane. Takšni primeri so jarek Salton v Kaliforniji (ZDA) in Taupo vulkanska cona na Novi Zelandiji (DERRILL et al., 1995), Dixie Valley v Nevadi (ZDA) (BERGFELD et al., 2001), Liu–Huang–Ku na Tajvanu (LAN et al., 2007) idr. Na nevulkanskih območjih se izviri CO₂ pojavljajo ob izrazitih aktivnih prelomih, kot na primer v Marmara regiji v SZ Turčiji (DOĞAN et al., 2009), ob prelomih Sv. Andreja in Calaveras v Kaliforniji (ZDA) (LEWICKI et al., 2003), v osrednji Italiji (ROGIE et al., 2000), v Mefite d'Ansanto v južni Italiji (CHIODINI et al., 2010) in na Oherský příkop (Eger Rift) v zahodni Češki (ALBU et al., 1997; KÄMPF et al., 2013).

Zahodna Češka je Sloveniji podobno nevulkansko območje z aktivnimi prelomi in številnimi *mineralnimi izviri* in *mofetami* s hladnim CO₂ iz plašča. KÄMPF et al. (2013) opisujejo suhe in mokre *mofete*, pri čemer so NICKSCHICH et al. (2015) ugotovili, da se velike količine CO₂ (tudi nad 100 kg/dan) sproščajo iz kotanj, ki so široke manj kot 1 m. Poleg takšnega koncentriranega iztoka se pojavljajo tudi območja z difuznim izhajanjem plina, s posameznimi mehurčki. Za ločnico med difuznim in koncentriranim izhajanjem predlagajo ocenjen tok prostega CO₂ nad 500 g/dan/m² (kar znese 11,1 l/h/m² pri p = 1 atm in T = 12 °C) za slednjo. SAUER et al. (2013) omenjajo, da je difuzno izhajanje brez podrobnih geofizikalnih meritev opazno le v primeru tako močnega in stalnega dotoka plina, da spremeni rastje. Na najbolj izpostavljenih mestih geogeni CO₂ nadomesti kisik v tleh in ustvari hipoksične ali celo anoksične pogoje, zato tam uspeva le posebna vegetacija (VODNIK et al., 2002, 2009). Ta vpliv so slovenski raziskovalci opazovali pri *mofetah* pri Stavešincih v Slovenskih goricah, imenovanih Strmec in Slepice. OGOREVC (2008) je meril tok CO₂ in vsebnost vode v tleh in ugotovil, da je v najožjem območju Strmca stalen skozi celo leto. MAČEK (2013) je ugotavljala vpliv abiotskih

dejavnikov okolja na biodiverziteto in strukturo združb mikrobov. Ker je vsebnost CO₂ v tleh na najožjem območju *mofet* tudi nad 99 vol% (WEINLICH et al., 1998), lahko ob njih pogosto najdemo mrtve manjše živali, včasih pa so nevarne celo za ljudi (CHIODINI et al., 2010).

Ob izviri CO₂ poteka intenzivna interakcija med plini, kamnino, tlemi in podzemno in/ali površinsko vodo, ki lahko povzroči mobilizacijo kovin (MEHLHORN et al., 2014) ali nastanek visokomineraliziranih voda (WEINLICH et al., 1998; VASELLI et al., 2002; ŽLEBNIK, 2009 in številni tuji avtorji). WEINLICH in sodelavci (1998) so raziskovali izvor in tok CO₂ v 74 *mineralnih vodah* na Češkem, pri čemer so vključili *mofete* s skupnimi raztopljenimi snovmi (TDS) med 78 in 5407 mg/l ter izvire s TDS 126–4290 mg/l. Sklepajo, da ponekod plin pospešuje iztekanje tople in mineralizirane vode iz globin na površje, pri čemer ne omenjajo možnosti, da migrira le plin in pospešuje raztapljanje kamnin v plitvih vodonosnikih. Mineralni izviri v Počátky-Plesná prelomni coni na Češkem (KÄMPF et al., 2013) imajo pH vrednost približno 4,4, elektroprevodnost (EC) 114–349 µS/cm in pogosto tudi rdečkaste oborine.

V Slovenskih goricah, na območju med Lenartom, Gornjo Radgono in Radenci, t.j. v dolini reke Ščavnice ter na desnem bregu reke Mure pri Radencih, je poznanih največ naravnih izvirov plina in *mineralne vode* v Sloveniji (NOVAK, 1974–1977; ŽLEBNIK, 1978a,b, 1980; MIOČ, 1996, 1997). Nekateri izviri so zavarovani kot naravne vrednote (NARAVOVARSTVENI ATLAS, 2013). *Mineralne vode* običajno vsebujejo vsaj 1 g/l skupnih raztopljenih snovi ali nad 1 g/l prostega CO₂ (CO₂)_g (MIOČ, 1996). Te *mineralne vode* so pomembne za zdravljenje obolenj in pridobivanje pijač, saj v Boračevi deluje največja polnilnica *naravne mineralne vode* v Sloveniji, Radenska d.d. Izraz *naravna mineralna voda* se uporablja le za ustekleničene vode, ki imajo lahko zelo različno vsebnost skupnih raztopljenih snovi in/ali plinov (glej URADNI LIST RS, 2004, 2005, 2008). Številni izviri so poimenovani po bližnjih domačijah ali krajih in marsikatero ime vsebuje izraz *vrelec* ali *slatina*. Medtem ko *vrelec* običajno pomeni mesto, kjer podzemna voda naravno ali umetno izteka na površje (PAVŠIČ et al., 2006), *slatina* pogosto označuje kislo mineralno vodo oziroma njen izvir (BEZLAJ, 1995). Ker ponekod iztekata tako podzemna voda kot plin, fizikalno-kemijske lastnosti teh voda pa so izredno raznolike, se zdi raba izrazov problematična ali pa vsaj

nedosledna. Težave z enoznačno opredelitvijo, kaj je *mofeta*, *mineralna voda* in *slatina*, so opazne tudi v svetovni literaturi.

Namen pričujočega prispevka je prikazati rezultate hidrogeološkega kartiranja enajstih izvirov vode in/ali plina v Slovenskih goricah, ki obsega opis fizikalno-kemijskih lastnosti vode, pojavov prostega plina ter izris batimetričnih 3D kart naravnih izvirov. Na podlagi teh rezultatov smo preiskane izvire oziroma vode razvrstili med *mineralne vode*, *mofete* oziroma *slatine*.

Geološki opis območja

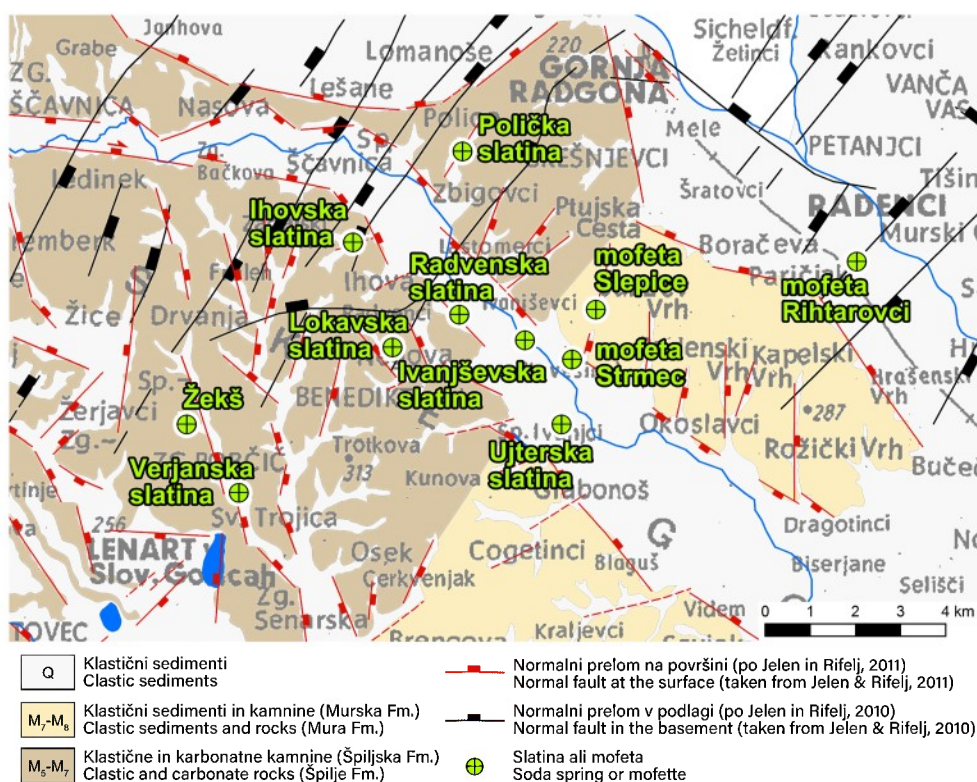
Raziskano območje obsega osrednji del Slovenskih goric med Lenartom, Gornjo Radgono in Radenci, torej predvsem Ščavniško dolino in Radence ter okoliške vrhove do približno 300 m n.v. (sl. 1). V Gornji Radgoni v subpanonskem podnebju znaša povprečna letna količina padavin za obdobje 1961–1990 le 926 mm, temperatura zraka pa 9,5 °C (ARSO, 2016).

Geološka zgradba je podana na OGK SFRJ 1:100.000, na listih Maribor in Čakovec ter njunih tolmačih (MIOČ & ŽNIDARČIČ, 1987; MIOČ & MARKOVIČ, 1998). V zadnjih letih je bila podrobneje raziskana v okviru več mednarodnih projektov, npr. TRANSTHERMAL (LAPANJE et al., 2007),

T-JAM (JELEN & RIFELJ, 2011; NÁDOR et al., 2012), TRANSENERGY in GeoMol (ŠRAM et al., 2015) ter z drugimi raziskavami (LUČIĆ et al., 2001; FODOR et al., 2002, 2005; JELEN et al., 2006; PAVŠIČ & HORVAT, 2009). Slovenske gorice pripadajo geotektonski enoti Panonskega bazena (PLENIČAR & NOSAN, 1958), ki je nastal s pogrezanjem in ekstenzijo sedimentacijskih bazenov Centralne Paratetide ob trku Jadranske in Evropske litosferske plošče v miocenu (SAFTIĆ et al., 2003; VRABEC et al., 2009; HORVÁTH et al., 2015).

Teren je presekán s prelomi različnih smeri (JELEN, 2010; JELEN & RIFELJ, 2011). Med Benediktom in Hodošem ter naprej na Madžarsko v kamninah predneogenske podlage Mursko-zalskega bazena poteka Rabska prelomna cona, ob kateri je razvit Radgonsko-vaški subbazen. Njegov južni rob se dviga proti preiskanemu območju, ki že leži na Murskosoboškem ekstenzijskem bloku (JELEN & RIFELJ, 2005; JELEN et al., 2006; JELEN, 2010), kjer je globina do podlage tudi manj kot 500 m.

Na pretežno paleozojske metamorfne kamnine v podlagi bazena so diskordantno odloženi neogenski sedimenti Špiljske in Murske formacije (sl. 1), medtem ko vmesna Lendavska formacija tu ni razvita (JELEN & RIFELJ, 2011). Špiljska formacija je sestavljena iz Selniškega in Oseškega člena. Selniški člen (srednji badenij do sarmatij)



Sl. 1. Poenostavljena litostratigrafska zgradba obravnavanega območja. Povzeto po JELEN, 2010; JELEN & RIFELJ, 2011. Več podatkov je v tabeli 1.

Fig. 1. Simplified lithostratigraphic map of the investigated area. Modified after JELEN, 2010; JELEN & RIFELJ, 2011. More data is given in Table 1.

gradi menjavanje peska, peščenjaka, peščenega in meljastega laporja/laporovca, melja, meljevca, laporaste in meljne gline in konglomerata ter lokalno pešчени algni in oolitni apnenec. Oseški člen (spodnji panonij) je v zgornjem delu sestavljen iz menjavanja peščenega laporovca, peska in redkih plasti peščenega proda, v spodnjem delu pa iz peščenega laporovca, glinastega laporja, laporaste gline in peščenega proda. Cogetinško-Kuzemski člen Murske formacije (zgornji del spodnjega panonija do zgornji pontij) tvori menjavanje meljaste gline, gline, melja, glinastega, prodnega in peščenega melja, peska, meljastega in prodnatega peska, proda in vložkov fragmentov dreves. Najmlajše so kvartarne aluvialne terase, sestavljene iz proda, peščenega in glinastega proda in prodnatega peska, ter peščena glina.

Hidrogeološki opis območja

Turbiditni peščenjaki ali redkeje apnenci Špiljske formacije tvorijo razmeroma izolirane lokalne vodonosnike, ki so ponekod bogati z *mineralno* (TDS > 1 g/l) in *termomineralno* (TDS > 1 g/l in temperatura vode nad 20 °C) vodo ter prostimi plini (ŽLEBNIK, 1974, 1978a,b; Szócs et al., 2013). Zanje je značilna razmeroma slaba prepustnost in nizka izdatnost. Slabo sprijeti peski deltnega čela Murske formacije tvorijo najpomembnejši regionalni in čezmejni geotermalni vodonosnik v SV Sloveniji (RMAN et al., 2012, 2016; Tóth et al., 2016), a ker na preiskanem območju izdanjajo predvsem slabše prepustne plasti deltne ravnice, so razviti predvsem lokalni in manj izdatni vodonosniki. Z izdatnimi kvartarnimi aluvialnimi vodonosniki se v članku ne ukvarjamo.

Naravni izviri *slatin* v Benediktu (KRALJ, 2007), Lenartu (NOVAK, 1974–1977; SENEKOVIČ 2011), Pesnici (ŽLEBNIK, 1978b), Nuskovi (NOSAN, 1973; ŽLEBNIK, 1974), Ščavniški dolini in Radencih (NOSAN, 1973; ŽLEBNIK, 1978a,b; PEZDIČ, 1991; BAGAR POVŠE et al., 2007; KOKOL, 2008; VRZEL, 2012; RMAN & KANDUČ, 2015) so poznani že dolgo, a zajem in turizem v Radencih na osnovi »radenske slatine« se je pričel šele konec 19. stoletja (ŽLEBNIK, 1978a, 1980). ŽLEBNIK (1975, 2009) meni, da izviri v Ščavniški dolini in Radencih niso hidrogeološko povezani. V sedemdesetih letih prejšnjega stoletja so na območju Radencev in Ščavniške doline izvedli njihov popis za pripravo karte *termalnih in mineralnih vod* Slovenije (ŽLEBNIK, 1978b), za potrebe zajema *mineralne vode* pa so bile izvrtane tudi nove vrtine. V Boračevi je bila

izvrtana 780 m globoka vrtina T-1, iz katere je po treh mesecih prenehala iztekati *mineralna voda* in je namesto nje izhajal le suh plin CO₂ (ŽLEBNIK, 2009). Leta 1974 je bila izvrtana tudi vrtina pri Rihtarovcih, kjer so zajeli visoko mineralizirano vodo z veliko CO₂.

Hidrogeokemične značilnosti podzemnih voda

Z analizo izvora voda in plinov v SV Sloveniji se je ukvarjal predvsem PEZDIČ (1991; PEZDIČ et al., 1995), ki je z analizo njihove izotopske sestave pokazal, da se pri Radencih in v dolini Ščavnice mešajo mlada in stara meteorna voda ter razredčena slanica z lastnostmi morske vode. Vertikalno conacijo voda je ugotovilo veliko raziskovalcev (glej razlago v RMAN, 2016). Mlada deževnica pretežno Ca²⁺-Mg²⁺-HCO₃⁻ tipa prehaja v Na⁺-HCO₃⁻ in vmesne tipe pri starejši deževnici, medtem ko so razredčene slanice Na⁺-HCO₃⁻-Cl⁻ in Na⁺-Cl⁻ tipa. VRZEL (2012) potrjuje mešanje v bližini prelomov, ki ga je ugotovil PEZDIČ (1991), in meni, da sta v Radencih prisotna dva različna sistema mešanja vode. *Mineralne vode* tega območja spadajo med hladne, blago do srednje mineralizirane in bogate s CO₂. V Rihtarovcih vsebujejo več kot 1000 mg/l CO₂ in so Na⁺-HCO₃⁻ tipa, v Radencih približno 2048 mg/l CO₂ in so Ca²⁺-HCO₃⁻ tipa. Ca²⁺-HCO₃⁻ tipa so tudi vode v Stavešincih, Ihovi, Benediktu in Negovi. Vse vode vsebujejo več kot 1000 mg/l skupnih raztopljenih snovi, v Radencih celo približno 2055 mg/l (NOVAK, 1974). *Mineralna voda* v dolini Ščavnice pripada Ca²⁺-HCO₃⁻ in delno Ca²⁺-Na⁺-HCO₃⁻ tipu (MIOČ, 1997). MIOČ (1997) tudi podaja, da je največja mineralizacija vode v Radencih nad 8 g/l TDS in vsebnost CO₂ skoraj 2 g/l, medtem ko LAPANJE & RMAN (2009) poročata o koncentraciji do 11 g/l TDS.

ŠLEBINGER (1955) je opazoval pojavljanje sulfidov v pomurskih slatinah in ugotavljal njihov pomen. Ugotovil je, da je železo nestalna sestavina in da nekatere vsebujejo H₂S, kar naj bi bilo povezano z genetsko zvezo obeh prvin preko razpada pirita oziroma sekundarnih limonitiziranih mineralov v kamninah.

Izvor plina

Raziskave izvirov plina oziroma *mofet* na območju Slovenskih goric so redke. PEZDIČ (1991) omenja, da na več mestih vzdolž Boračevskega preloma od Negove do Radencev izhajajo praktično suh plin CO₂ (100 vol.% CO₂) medtem ko ima v okolici povprečno 1 vol.% primesi (N₂, CH₄,

H₂S...). Zelo čist CO₂ je tudi v Ščavniški dolini (PEZDIČ, 1991; BRAUER et al., 2016). Drugi avtorji omenjajo, da se izloča vzdolž prepustnih con Rabskega preloma (KRALJ & KRALJ, 2000; LAPANJE, 2006, 2007).

Izvor plina v *mineralnih vodah* je prvi interpretiral ŠLEBINGER (1955), ki meni, da izhaja iz magmatskih kamnin, ki oddajajo CO₂ počasi in stalno, čeprav so že ohlajene. ŽLEBNIK (1975) je njegov izvor pripisal dvema nastankoma. Prva hipoteza je, da izhaja iz globoko ležečega magmatskega telesa, ki je v srednjem pliocenu predrlo v metamorfne kamnine in se ohlajalo, pri čemer je izhajal plin, ki se je raztopljen kopičil in akumuliral v poroznih neogenskih plasteh. Po drugi hipotezi je plin nastal s kemičnimi reakcijami pri temperaturah 50–120 °C iz laporjev. PEZDIČ (1991) je opravil kemijske in izotopske analize vode in plina v Ihovcih, Ivanjševcih, Lokavcih, Očeslavcih, Radvencih, Stavešincih, v Slepici, Leljakovi, Norički, Matjaževi in Ujterski slatini, a ni podal njihovih natančnih lokacij. PEZDIČ (1991, 2003) meni tudi, da je CO₂ nastal v pliocenu in pleistocenu z dekarbonatizacijo dolomita v prisotnosti kremenice in silikatov, predvsem mineralov glin, v temperaturnem razponu 80–150 °C, nekaj pa ga prispevata tudi redukcija sulfatov in zorenje organskih osnovi. KOKOL (2008) je opisala Ivanjševsko, Lokavsko, Poličko, Radvensko in Ujtersko slatino, Stavešinske mofete in Slepice, a se ni poglobljala v izvor fluidov. Ravno tako ne SENEKOVIČ (2011), ki je interpretirala kemijsko sestavo vode izvira Žekš in nekaterih slatin pri Lenartu. KRALJ et al., (2009) so preučevali hidrotermalni sistem v 1,9 km globoki vrtini v Benediktu in na podlagi izotopske sestave ogljika v CO₂ ($\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2} = -4,6 \text{ ‰}$) pripisali izvor plina vulkanskem delovanju. Nekateri raziskovalci (ŽLEBNIK, 1978A; KRALJ et al., 1998; LAPANJE, 2007) menijo, da plin nastaja pri razplinjanju metamorfnih kamnin v Rabski prelomni coni.

Čeprav ŽLEBNIK (2009) meni, da plinski CO₂ migrira skupaj z vodo ter s tem povečuje njeno mineralizacijo, najnovejše raziskave vsebnosti helija in žlahtnih plinov v plinu v Slepicih in *mineralni in termomineralni vodi* v Radencih, opravljene v letih 2013 in 2014, dokazujejo prevladujoč dotok plina iz plašča (BRAUER et al., 2016). Avtorji potrjujejo tudi sklepanja predhodnikov (PEZDIČ, 1991; LAPANJE et al., 2007; KRALJ et al., 2009), da plin prodira proti površini ob prelomih in ločeno od podzemne vode ter se koncentrira pod plitvejšimi, zelo slabo prepustnimi plastmi.

Metode dela

Raziskava je obsegala enajst izvirov vode in/ali plina na območju med Benediktom, Ščavniško dolino in Radenci (sl. 1). Po zbiranju podatkov o lokacijah in stanju izvirov smo izvedli hidrogeološko kartiranje. Zajemalo je ogled lokacij, meritve obsega in globine nezajetih izvirov, fizikalno-kemijske meritve vode ter popis mest in jakosti izhajanja plina. Sledil je kabinetni izris preglednih kart in postavitev katastra izvirov (glej GABOR, 2015), izris batimetričnih 3D modelov nezajetih izvirov in razvrstitev preiskanih pojavov.

Hidrogeološko kartiranje

Terensko delo je obsegalo geološki in hidrogeološki pregled enajstih lokacij med decembrom 2014 in marcem 2015 (tab. 1). Pregledali smo jih trikrat: 19. 12. 2014, 16. 1. in 20. 3. 2015. Razen Ihovske in Verjanske slatine, mofete Rihtarovci in izvira Žekš smo jih našli na podlagi opisov in karte v brošuri Med vrelci življenja (BAGAR POVŠE et al., 2007), kljub temu, da so ponekod zelo zaraščene.

Z GPS-om TRIMBLE Juno 5D smo določili natančen položaj pojavov vode in plina, njihov obseg pa premerili z metrom. Vris opazovanih točk smo kontrolirali z izrisom na topografskih kartah 1: 5.000. V naravnih izvirih smo izmerili globine dna tako, da smo glede na velikost izvira določili mrežo 10 cm × 10 cm za manjše ali 20 cm × 20 cm za večje, jo izrisali v lokalnem koordinatnem sistemu in z merilcem (lesena palica z označenimi centimetrskimi razdaljami) izmerili globino dna pod vodno gladino na vsaki točki. Pridobljene podatke smo uporabili za izdelavo batimetričnih 3D modelov.

Merjeni fizikalno-kemijski parametri vode so bili: temperatura, pH vrednost, elektroprevodnost (EC) in oksidacijsko-redukcijski potencial (ORP). Prve tri smo določili z merilnikom pH/Cond 340i, ORP pa z inštrumentom SentixORP, oba proizvajalca WTW. Točnost meritev pH je ±0.01, temperature ±0.1 °C ter elektroprevodnosti vode ±0.5 %. Večina meritev je bila opravljena trikrat. Pri interpretaciji smo zaradi ugotavljanja spremenljivosti opazovanih lastnosti uporabili tudi podatke iz drugih raziskav (glej RMAN & KANDUČ, 2015; neobjavljeno gradivo). Kjer podatki za skupno količino raztopljenih snovi v vodi (TDS) niso bili na voljo, smo parameter izračunali s pomočjo empirične enačbe HOUNSLOWA (1995) (en. 1), pri čemer smo za faktor A uporabili obe mejni vrednosti:

Tabela 1. Lokacije (v Gauss-Krugerjevem KS D-48), naravovarstveni status in drugi parametri preiskanih izvirov (NVDP = naravna vrednota državnega pomena, NVLP = naravna vrednota lokalnega pomena, identifikacijska št.).

Table 1. Location (Gauss-Kruger CS D-48), nature protection status and other characteristics of the investigated springs (NVDP = natural feature of national importance; NVLP = natural feature of local importance, ID No.).

Št. / No.	Izvir / Spring	X _{SI}	Y _{SI}	Z _{SI}	Naravovarstveni status / Nature protection status	Tip izvira / Type of spring	Uporaba / Use
1	Ihovska slatina	166333	570165	237	NVLP 869	Zajetje / Captured	Ni v uporabi / No use*
2	Ivanjševska slatina	164164	573978	213	NVLP 737	Zajetje vrtine / Capture of a well	Pitna voda / Drinking water
3	Lokavska slatina	164005	571043	250	NVLP 856	Zajetje / Captured	Ni v uporabi / No use*
4	Mofeta Rihtarovci	165905	581325	196	NVLP 2017	Naraven / Natural	Ni v uporabi / No use
5	Polička slatina	168349	572593	237	NVLP 867	Naraven / Natural	Ni v uporabi / No use*
6	Radvenska slatina	164733	572524	217	NVLP 736	Zajetje / Captured	Ni v uporabi / No use*
7	Mofeta Strmec / Stavešinske mofete / Mofeta Ivanjševci	163739	575019	209	NVDP 79	Naraven / Natural	Ni v uporabi / No use
8	Mofeta Slepice / Stavešinske slepice	164840	575545	222	NVDP 7044	Naraven / Natural	Ni v uporabi / No use
9	Ujterska slatina	162299	574788	208	NVLP 738	Zajetje / Captured	Ni v uporabi / No use*
10	Verjanska slatina	160784	567639	243	NVLP 854	Naraven / Natural	Ni v uporabi / No use*
11	Žekš	162303	566486	258	/	Naraven / Natural	Ni v uporabi / No use*

* V preteklosti se je izvirna voda uporabljala za pitje. / Spring water was used as drinking water in the past.

$$TDS \left(\frac{mg}{l} \right) = A \cdot EC (\mu S/cm) [A = 0,55 - 0,76] \quad (1)$$

Kjer je izhajal tudi plin, smo določili mesta in intenzivnost izhajanja. Ker nismo razpolagali z merilci za določanje toka plina, smo razvrstili intenzivnost izhajanja plina subjektivno, po nominalni vizualni petstopenjski lestvici, pri čemer je bila ena (1) najmanjša in pet (5) največja intenzivnost (tab. 2). Z višjo vrednostjo narašča pogostost (nad vključno 3 stalen iztok plina), številčnost (en ali več mehurčkov) in velikost mehurčkov plina oziroma obseg razburkane vodne površine.

Izdelava batimetričnih 3D modelov naravnih izvirov

Batimetrične karte ponazarjajo opise in vizualne prikaze terena pod koto tal oziroma vodno gladino – relief in globino dna morja, jezera ali v tem primeru izvira. S podatki globin dna se izdelajo batimetrični 3D modeli, s katerimi si vizualiziramo obliko dna (KLANJŠČEK & RADOVAN, 2005). Batimetrične modele smo izdelali za pet izmed enajstih izvirov, ki niso videti zajeti in njihova oblika najverjetneje več desetletij ni bila spremenjena: Slepice (mala in velika mofeta), Poličko slatino, Verjansko slatino in Žekš.

Za njihovo izdelavo smo uporabili terenske podatke iz mrež izmerjenih globin gostote točk 10 cm × 10 cm pri manjših izviroh in 20 cm × 20 cm pri večjih. Za obdelavo in prikaz podatkov smo uporabili računalniške programe MS Office Excel, AutoCAD, Surfer 9 in ArcGIS. V Excel smo vnesli koordinate točk v skicirani mreži v lokalnem koordinatnem sistemu z označenim severom in izmerjene globine dna. V programu AutoCAD smo skice digitalizirali, na njih označili mesta izhajanja plina in jim pripisali intenzivnost od 1 do 5. Oboje smo uvozili v Surfer 9, kjer smo izrisali topografijo dna izvirov. Iz Surferja 9 smo slike uvozili v ArcGIS in sestavili batimetrične 3D modele.

Razvrstitev opazovanih izvirov

Zbrane definicije *mofete*, *mineralne vode* in *slatine* smo razvrstili glede na letnico vira ter poiskali njihove skupne točke. Na njihovi podlagi smo ocenili ustreznost poimenovanja preiskanih enajstih izvirov.

Tabela 2. Vizualna lestvica za oceno intenzivnosti izhajanja plina s petimi stopnjami.

Table 2. Visual scale for evaluation of intensity of gas emissions has five levels.

	suha <i>mofeta</i> (če ni poplavljen, se intenzivnosti izhajanja ne da oceniti)/ dry <i>mofette</i> (the intensity can not be evaluated if it is not flooded) primer/example: Strmec, foto: N. Rman
	(1) posamezen mehurček v nerednem časovnem intervalu / random individual bubbles primer/example: potok ob Slepica / stream at Slepice, foto: T. Kanduč
	(2) več mehurčkov v nerednem časovnem intervalu / several random bubbles primer/example: mofeta ob Polički slatini / mofette at Polička slatina, foto: N. Rman
	(3) stalni posamezni mehurčki – šibek tok manjšega obsega / constant individual bubbles – weak flow of minor extent primer/example: mofeta / mofette Rihtarovci, foto: N. Rman
	(4) skupina stalnih mehurčkov, da površina žubori – močan tok manjšega obsega / group of constant bubbles causing rippling surface – strong flow of minor extent primer/example: Žekš, foto: N. Rman
	(5) večja skupina stalnih mehurčkov, da površina žubori in je razburkana v obsegu več cm – stalen močan tok večjega obsega / larger group of constant bubbles causing rippling turbulent surface – strong flow of major extent primer/example: Slepice, foto: N. Rman

Tabela 3. Lastnosti preiskanih izvirov in fizikalno-kemijske značilnosti vode.

Table 3. Properties of investigated springs and physicochemical characteristics of water.

Izvir / Spring	Iztok vode / Water outflow	Izhajanje plina / Gas emissions		Videz vode / Water appearance	T (°C)	pH	EC (μS/ cm)	O ₂ (%)	ORP (mV)
		Št. mest / No. of sites	Intenzivnost/ Intensity						
Ihovska slatina	Neopazen / Unnoticeable	3	1–3	Motna, z mehurčki / Turbid, with bubbles	8,6– 11,2	5,5– 6,2	1370– 2050	12,6– 17,4	172,1– 243,9
Ivanjševska slatina	< 0,1 l/s	1 v zajetju in več v reki / 1 in the capture and several in the river	5 v zajetju / in the captured spring; 1 v reki / in the river	Bistra, oranžna oborina, z mehurčki / Transparent, orange precipitate, with bubbles	5,2– 8,2	7,6– 8,9	3008– 3285	103– 121	93,0– 123,0
Mofeta ob Lokavski slatini	Neopazen / Unnoticeable	1 (2r = 40 cm)	5	Siva, motna, z mehurčki / Grey, turbid, with bubbles	9,9– 10,8	4,5– 5,0	66–92	0,3**	-16,5
Mofeta Rihtarovci	Neopazen / Unnoticeable	Vsaj 4 suhe <i>mofete</i> / At least 4 dry <i>mofettes</i> (4,5 m x 3,6 m)	1–3	Bistra, oranžna oborina, z mehurčki / Transparent, orange precipitate, with bubbles	6,6– 6,8	6,2– 6,8	455– 737	73,4**	73,6
Polička slatina	Neopazen / Unnoticeable	1 mokra <i>mofeta</i> in več suhih / 1 wet <i>mofette</i> and several dry ones	1–4	Bistra, oranžna oborina, z mehurčki / Transparent, orange precipitate, with bubbles	4,1– 6,8	4,5– 5,2	50–81	24,8– 40,8	292,8– 334,7
Radvenska slatina	Neopazen / Unnoticeable	6	1–2	Rahlo motna, z mehurčki / Slightly turbid, with bubbles	8,2– 9,5	6,2– 6,6	1105– 2280	24,3– 29,6	195,2– 205,0
Mofeta Strmec	Neopazen / Unnoticeable	6 večjih in 5 manjših suhih <i>mofet</i> ter 1 na drugi strani ceste / 6 larger and 5 smaller dry <i>mofettes</i> , one across the road	1–5	Siva, motna, z mehurčki / Grey, turbid, with bubbles	4,6– 7,1	4,9**	274– 562	0,3**	6,6**
Mofeta Slepice	Neopazen / Unnoticeable	2 mokri <i>mofeti</i> oddaljeni 6,6 m, 5 difuznih izvirov v reki / 2 wet <i>mofettes</i> at a distance of 6.6 m, 5 diffuse springs in the river	3–5 večja / bigger; 2–4 manjša / smaller; 1–2 v potoku / in the stream	Rjavkasta, v bližnjem potoku bistra, z mehurčki / Brownish, transparent in near-by spring, with bubbles	6,4– 7,3	4,4– 6,1	62–86	1,2–1,4	182,7– 297,0
Ujterska slatina	Neopazen / Unnoticeable	Brez / No	Ni mehurčkov / No bubbles	Rahlo motna, brez mehurčkov / Slightly turbid, no bubbles	7,8*	7,3*	115*	1,1*	58,5*
Verjanska slatina	Zelo majhen / Very small	1	1	Bistra, z rjavo usedlino, z mehurčki / Transparent, brown precipitate, with bubbles	4,4*	5,9*	430*	11,0*	18,6*
Žekš	Zelo majhen / Very small	1 <i>mofeta</i> s 36 mesti / 1 <i>mofette</i> with 36 sites (4,5 m x 3,8 m)	1–4	Siva, kalna, z mehurčki / Grey, turbid, with bubbles	7,3*	6,4*	1183*	43,8*	196,7*

* le ena meritev, opravljena / only one measurement, performed on 20.3.2015

** le ena meritev, opravljena / only one measurement, performed on 19.12.2014

Rezultati in diskusija

Rezultati hidrogeološkega kartiranja

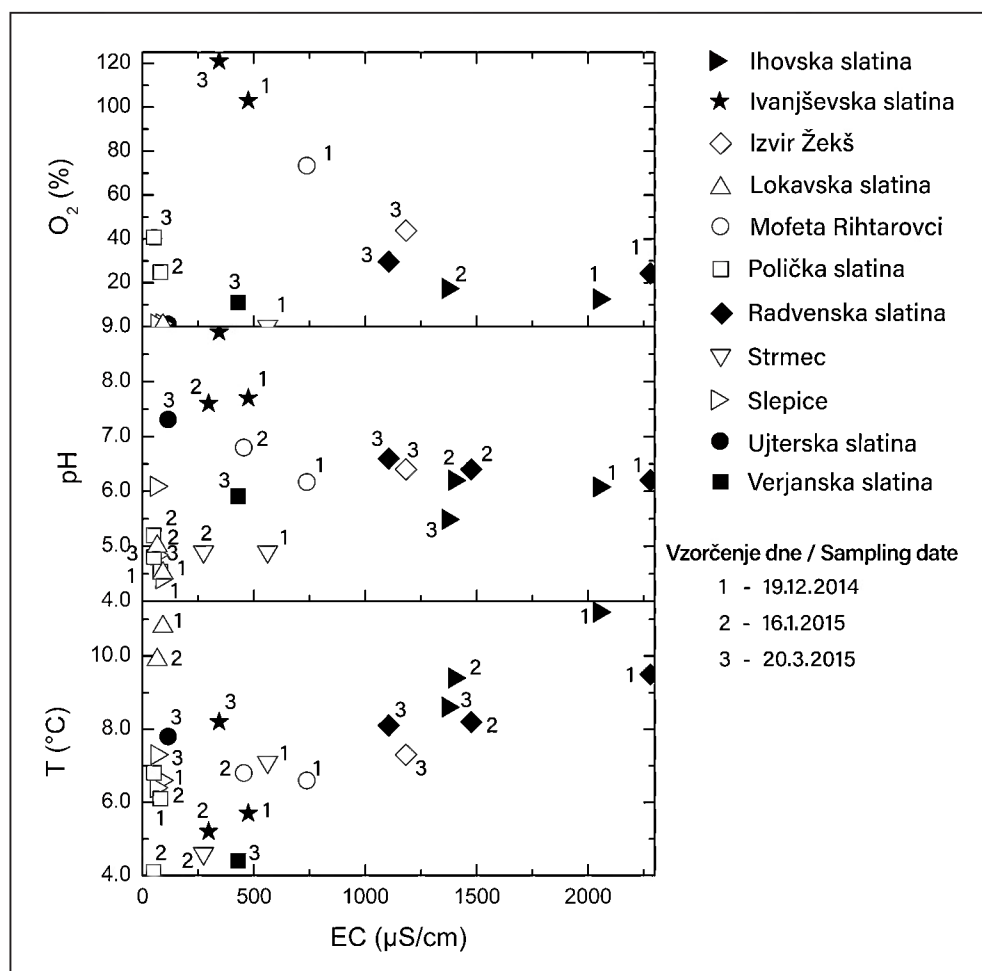
Na podlagi hidrogeološkega kartiranja smo opredelili globino naravnih izvirov, ocenili količino iztoka vode in jakost izhajanja plina, opisali videz vode, v kolikor je prisotna, ter podali njene fizikalno-kemijske značilnosti (tab. 3, sl. 2).

Temperatura vode v izvirihi je v obdobju izvajanja meritev, od decembra 2014 do marca 2015, nihala od 4,1 do 11,2 °C (sl. 2, tab. 3). Najnižjo smo izmerili v Polički slatini, najvišjo v Ihovski slatini. Največje nihanje temperature smo opazili pri Ivanjševski slatini in sicer 3 °C, čeprav ima opazen in stalen iztok vode. Na ostalih lokacijah so temperature vode nihale v povprečju za 1,7 °C. Spreminjanje temperature je najverjetneje pogojeno z nihanjem temperature zraka. Na to kažejo tudi predhodne meritve temperature vode v Ihovski, Polički, Radvenski in Verjanski slatini ter Žekšu, izvedene v septembru 2014 (neobjavljeno gradivo), ki podajajo 10–11 °C, razen v Ihovski in Radvenski slatini, kjer sta bili 15,2 oziroma 15,6 °C. Slednji sta za približno 5 °C višji od povprečne letne temperature zraka in izmerjene tem-

perature vode v zimi 2014/2015 (tab. 3), kar kaže na velik vpliv temperature zraka na temperaturo vode v izvirihi in s tem potrjuje domnevo o razmeroma majhni količini iztoka podzemne vode.

pH vrednost je večinoma rahlo kislja in v obsegu 4,4–6,8 (sl. 2, tab. 3). Razlikuje se le v Ivanjševski slatini, kjer smo izmerili povprečno vrednost 8,1, in v Ujterski slatini s 7,3. Najnižja pH vrednost je v Slepica. Pred tem, septembra 2014 izmerjene pH vrednosti (neobjavljeno gradivo) so v razponu predstavljenih meritev.

Najnižja elektroprevodnost (50 µS/cm) je bila izmerjena v Polički slatini, najvišja (3285 µS/cm) pa v Ivanjševski slatini (sl. 2, tab. 3). Elektroprevodnosti do 100 µS/cm smo izmerili tudi v mofeti ob Lokavski slatini, v Slepica in Ujterski slatini, kjer kažejo na prevladujočo komponento sveže padavinske vode. Pri mofetah Rihtarovci in Strmec ter Verjanski slatini je bila EC 430–590 µS/cm, zato sklepamo na prevladujočo komponento podzemne vode. Največje spremembe vrednosti EC smo opazili v Radvenski slatini (za 1175 µS/cm), kjer je bila najvišja vrednost izmerjena decembra 2014, najnižja pa marca 2015. Tudi v



Sl. 2. Razsewni diagrami fizikalno-kemijskih parametrov vode v izvirihi. Meritve za Lokavsko slatino so opravljene v mofeti pri vodnjaku.

Fig. 2. Scatter plots of physicochemical parameters of spring water. Measurements for Lokavska slatina are performed in a near-by mofette.

tem primeru so pred tem, septembra 2014 izmerjene vrednosti (neobjavljeno gradivo), v razponu predstavljenih meritev. V Ihovski slatini in Žekšu je bila najvišja vrednost izmerjena septembra 2014, a se razlikuje od najvišje v zimi 2014/2015 le do 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Nihanje in nižja vrednost EC je v večini primerov posledica vdora sveže padavinske vode v malo izdaten izvir ali zajetje, ki ima pogosto tudi omogočeno komunikacijo s plitvo podzemno vodo.

Najnižji ORP (-16,5 mV) smo izmerili v mofeti ob Lokavski slatini in kaže, da voda ni prezračena. Na ostalih lokacijah je bil ORP pozitiven. Najvišjega (334,7 mV) smo izmerili v Polički slatini. Vrednosti so najbolj nihale v Slepica, in sicer od 182,7 do 297 mV.

Najnižje vrednosti raztopljenega kisika (0,3–1,4 %) smo izmerili v mofeti ob Lokavski slatini, Strmcu, Slepica, ter Ujterski in Verjanski slatini (sl. 2, tab. 3). Najvišje vrednosti (103–121 %) in največje nihanje smo izmerili v Ivanjševski slatini, kjer je meritev možna le na iztoku cevi iz zajetja. Na ostalih lokacijah je bila 17–30 %, v mofeti Rihtarovci 73 %.

Izračun količine skupnih raztopljenih snovi v vodi je bil opravljen za vzorce, odvzete septembra 2014 (neobjavljeno gradivo) ter julija 2014 (GABOR, 2015; str. 10). Njihova mineralizacija je določena na: 2171 mg/l v Ihovski slatini, 1933 mg/l v Radvenski slatini, 1743 mg/l v Žekšu, 576 mg/l v Verjanski slatini in 31 mg/l v Polički slatini, oziroma približno 3,5 g/l v Ivanjševski slatini. Primerjava s tabelo 3 razkrije, da za oceno TDS pri opazovanih vodah ne moremo uporabiti predlagane enačbe 1, kajti njihov faktor A je med 1,02 (Ihovska in Radvenska slatina) in 1,42 (Žekš), izjema je le Polička slatina z 0,42. Lokalno povišan faktor A je posledica večje koncentracije CO_2 in sposobnosti vode, da raztaplja kamnine, kar viša njeno mineralizacijo. Preostali od 11 izvirov imajo elektroprevodnost vode do 737 $\mu\text{S}/\text{cm}$ in malo prostega plina (tab. 3), zato sklepamo, da ne presegajo 1 g/l TDS. Da bi bili uvrščeni med *mineralne vode*, bi morala biti njihova elektroprevodnost po enačbi 1 vsaj 1317 oziroma 1819 $\mu\text{S}/\text{cm}$, odvisno od faktorja A.

Batimetrični 3D modeli naravnih izvirov

Na slikah 3 do 7 so prikazani batimetrični 3D modeli petih naravnih izvirov z mesti in intenzivnostjo izhajanja plina, v preglednici 3 pa nji-

hov opis. Domnevali smo, da v kolikor je vodni stolpec previsok in tok plina ni dovolj močan, se mehurčki plina ne pojavljajo oziroma so šibkejši.

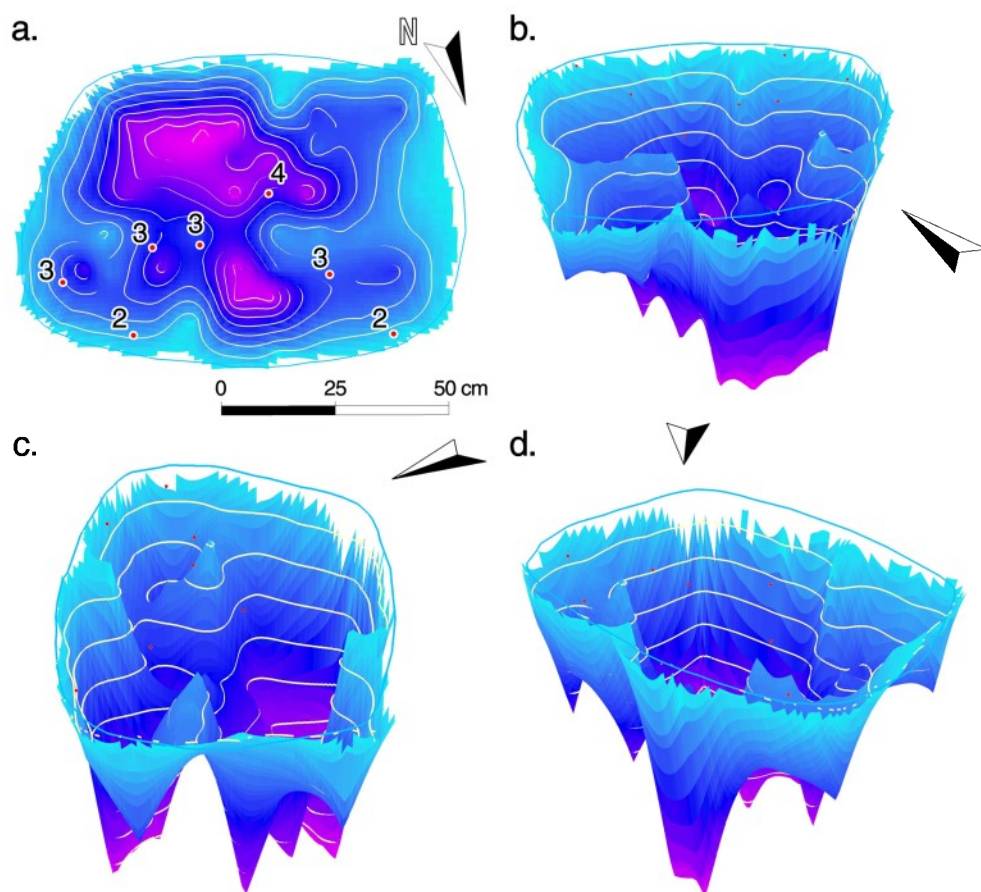
Obe najizrazitejši mofeti Slepice, tako mala (sl. 3) kot velika (sl. 4) kotanja, sta ovalne oblike. Globina se pri obeh povečuje proti sredini izvira, dno je razgibano. V plitvejši (0,6 m), a večji (premer 1,4 m) Slepici smo ponekod na dnu opazili kamenje, kar dodatno (umetno) vpliva na razgibanost dna. Točke izhajanja plina so v večji razporejene po celotni površini, pri manjši (premer 1 m), a globlji (0,8 m) pa je večina točk na eni polovici. Jakosti izhajanja plina so od 2 do 5 po lestvici od 1 do 5 in niso povezane z globino (sl. 8).

Dno 2 m globoke Poličke slatine (sl. 5) je razgibano, globina narašča proti sredini izvira. Izrazita uravnava in plitvina na modelu je posledica tega, da je del izvira prekrit s široko leseno desko. Ta tudi preprečuje izhajanje plina. Točke izhajanja plina intenzivnosti 1 do 4 niso vezane na globino, ampak se pojavljajo po celotni površini, razen nad desko. KOKOL (2008) omenja, da je bil izvir nekoč obdan z leseno kašto, a tega, niti njene oblike, nismo mogli potrditi.

Verjanska slatina je globoka prek 1,7 m in je kroglaste oblike, premera približno 1,8 m (sl. 6). Globina homogenega dna se povečuje proti sredini izvira. Točka izhajanja plina z intenzivnostjo 1 je ena sama in v srednjem, globljem delu izvira. Podatka, ali je bil izvir nekoč obzidan, nimamo.

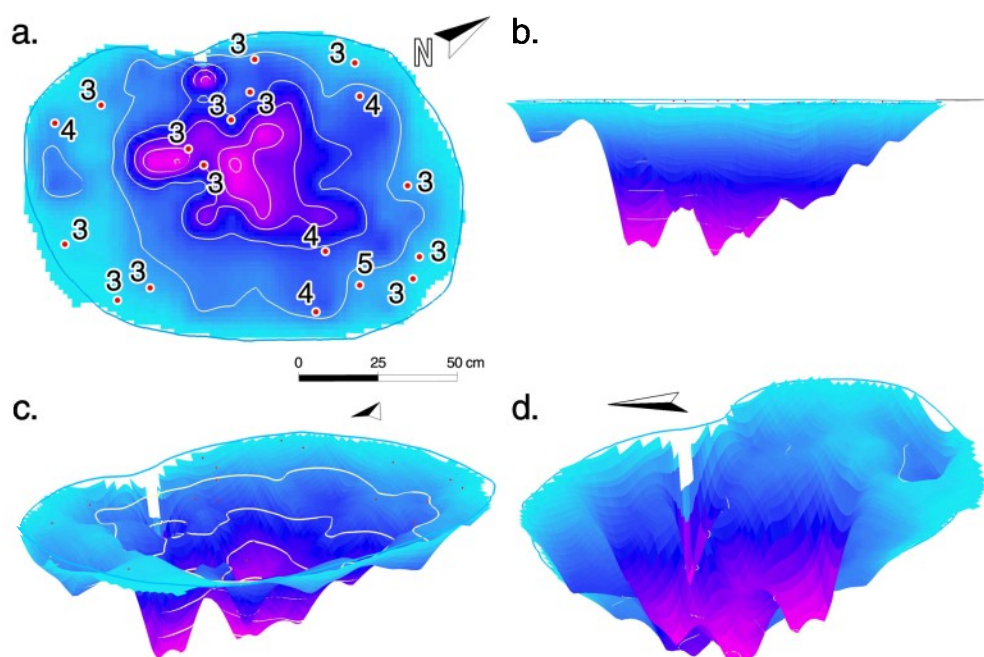
Izvir Žekš (sl. 7) je pravokotne oblike. Dno je ob robu plitvejše (20 cm) in bolj razgibano, nato se proti sredini zelo hitro poglobi do čez 2 m in je homogeno. V izviru so ostanki nekdanje vrtine, ob kateri je dno bistveno plitvejše. Morda je bil izvir nekoč oblikovan s pravokotno postavljenimi zagatnicami, ki so se ohranile do danes. Točke izhajanja plina z intenzivnostjo 1 do 4 so skoraj enakomerno razporejene ob robu v plitvejšem delu, nekaj jih je ob vrtini, v globokem delu jih ni. Iz tega sklepamo, da je možna povezava med višino vodnega stolpca nad dnom izvira (in točko izhajanja plina) in mesti izhajanja plina na površini, saj se mehurčki pojavljajo predvsem do globine dna 85 cm.

Na razgibanost dna izvirov lahko vplivajo tudi različno zgoščeni (številčni in intenzivni) dotoki plina, ki pripomorejo k hitrejšemu raztapljanju kamnin, razgradnji mineralov v tleh in stalnemu turbulentnemu dviganju usedlin z dna.



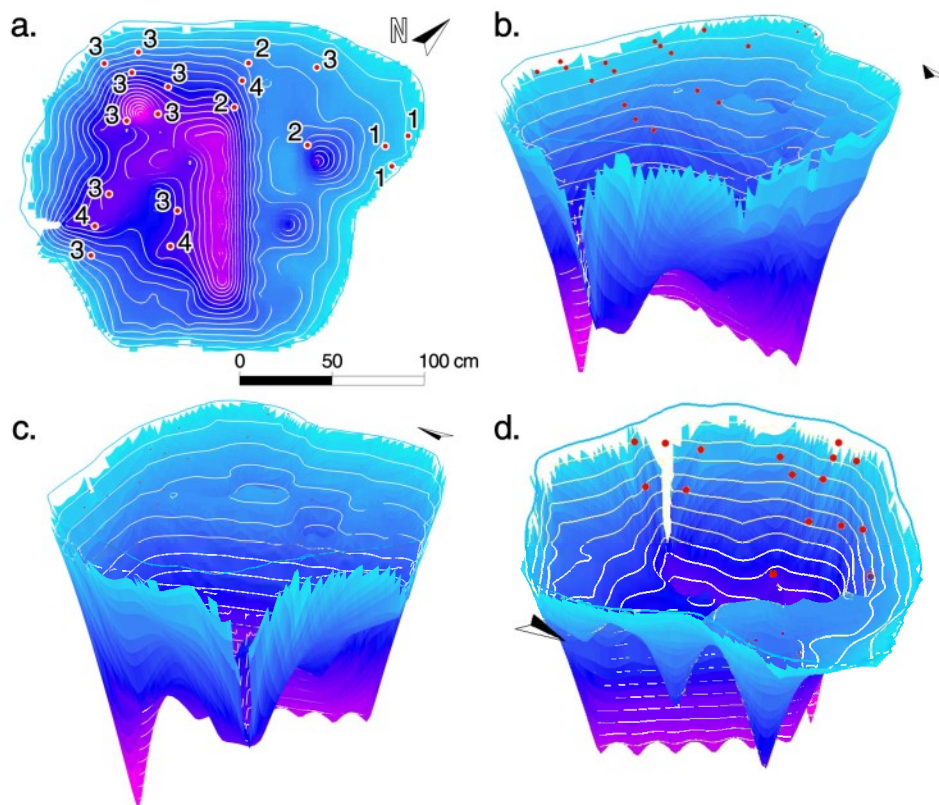
Sl. 3. Batimetrični 3D model male *mofete* Slepice. Izobate so na 10 cm globine. Pike označujejo mesta, številke pa intenzivnost izhajanja plina na petstopenjski lestvici (glej tab. 2).

Fig. 3. Bathymetric 3D model of the small *mofette* of Slepice. Isobaths mark 10 cm distance in depth. Dots mark location and numbers intensity of gas emissions at a five-level scale (see Tab. 2).



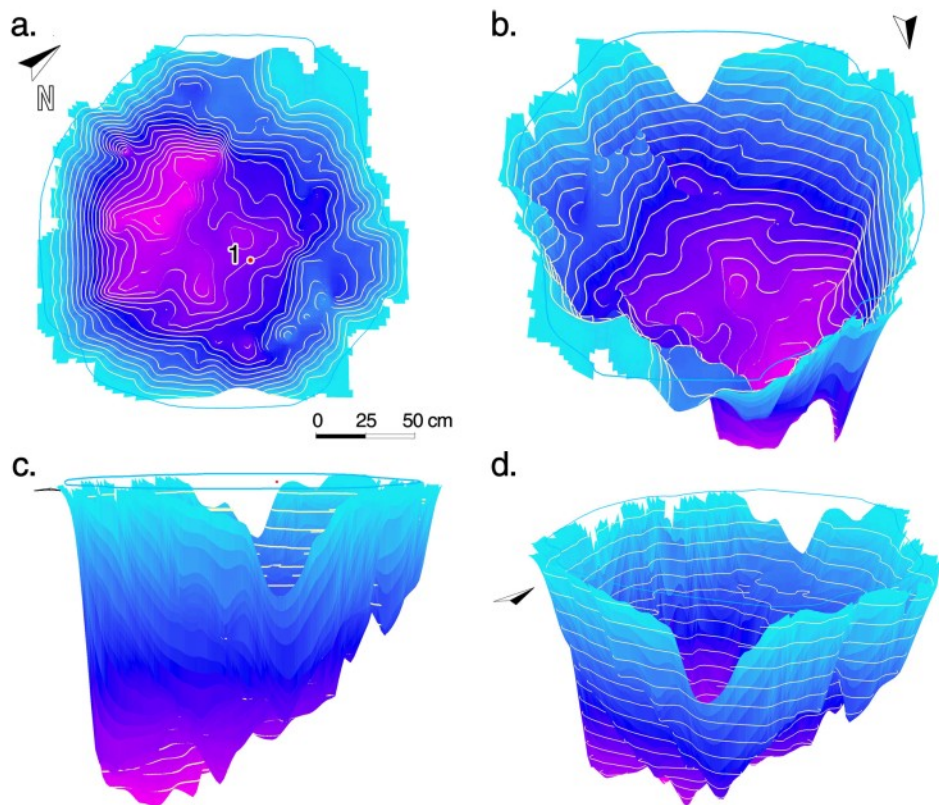
Sl. 4. Batimetrični 3D model velike *mofete* v Slepica. Izobate so na 10 cm globine. Pike označujejo mesta, številke pa intenzivnost izhajanja plina na petstopenjski lestvici (glej tab. 2).

Fig. 4. Bathymetric 3D model of the large *mofette* of Slepice. Isobaths mark 10 cm distance in depth. Dots mark location and numbers intensity of gas emissions at a five-level scale (see Tab. 2).



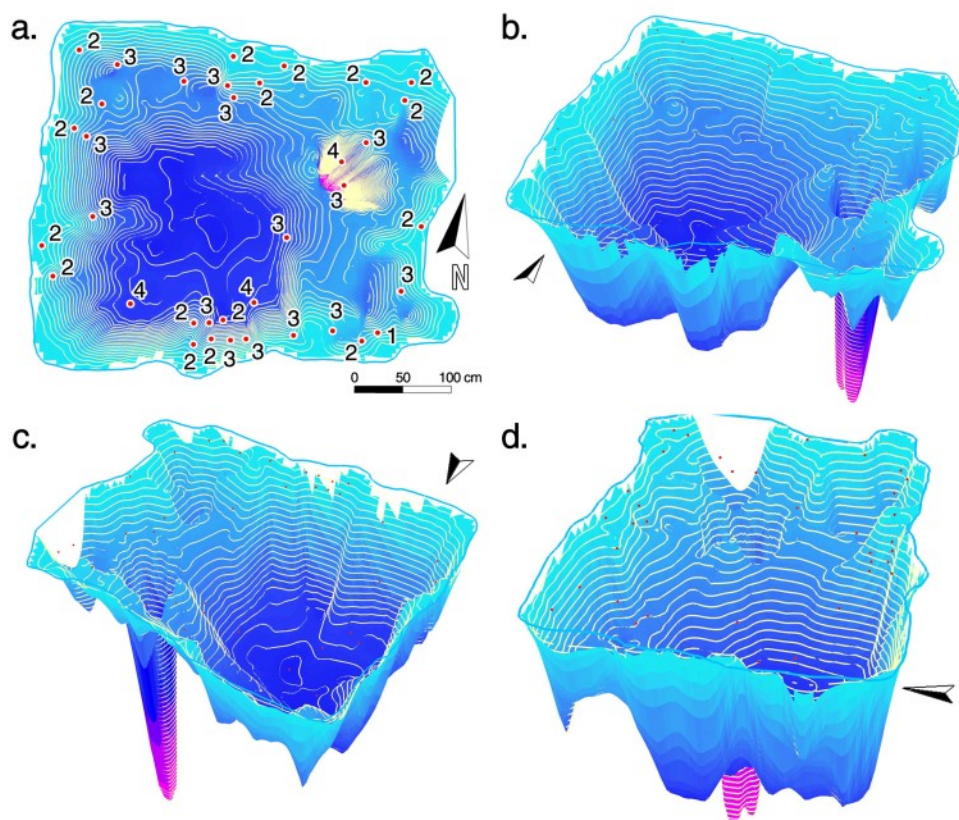
Sl. 5. Batimetrični 3D model Poličke slatine. Izobate so na 10 cm globine. Pike označujejo mesta, številke pa intenzivnost izhajanja plina na petstopenjski lestvici (glej tab. 2).

Fig. 5. Bathymetric 3D model of Polička slatina. Isobaths mark 10 cm distance in depth. Dots mark location and numbers intensity of gas emissions at a five-level scale (see Tab. 2).



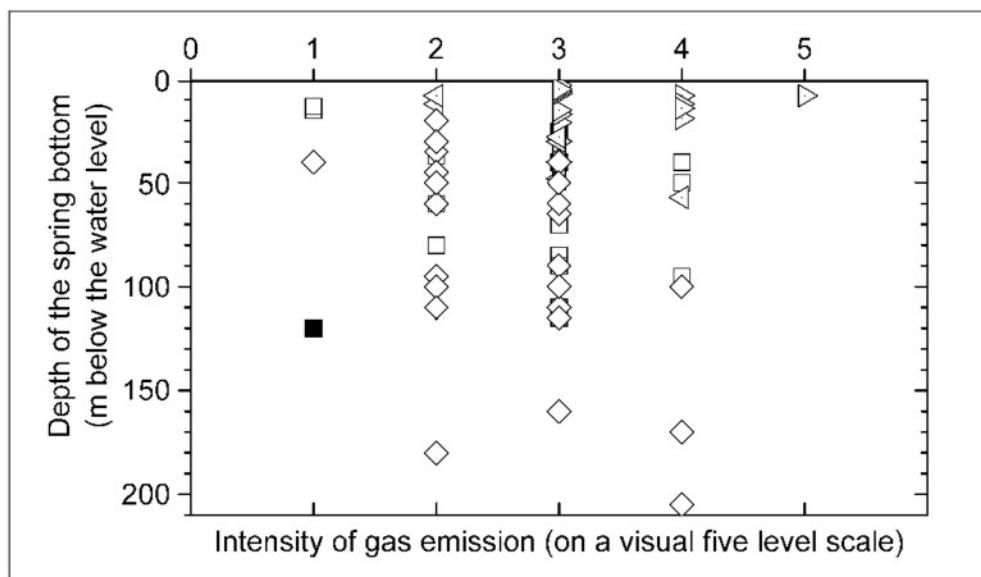
Sl. 6. Batimetrični 3D model Verjanske slatine. Izobate so na 10 cm globine. Pike označujejo mesta, številke pa intenzivnost izhajanja plina na petstopenjski lestvici (glej tab. 2).

Fig. 6. Bathymetric 3D model of Verjanska slatina. Isobaths mark 10 cm distance in depth. Dots mark location and numbers intensity of gas emissions at a five-level scale (see Tab. 2).



Sl. 7. Batimetrični 3D model izvira Žekš. Izobate so na 10 cm globine. Pike označujejo mesta, številke pa intenzivnost izhajanja plina na petstopenjski lestvici (glej tab. 2).

Fig. 7. Bathymetric 3D model of the spring Žekš. Isobaths mark 10 cm distance in depth. Dots mark location and numbers intensity of gas emissions at a five-level scale (see Tab. 2).



Sl. 8. Prikaz odnosa med globino dna izvira in intenzivnostjo izločanja plina glede na razvrstitev opazovanih točk na vizualni petstopenjski lestvici. Legenda simbolov je podana na sl. 2.

Fig. 8. Plot shows the relation between the depth of the spring bottom and the intensity of gas emissions as determined at a visual five-level scale. Legend of the symbols is shown on Fig. 2.

Glede na izdelane batimetrične 3D modele in 81 opazovanih točk izhajanja plina (sl. 8) nismo našli jasne povezave med globino dna izvira in intenzivnostjo izhajanja plina na vodni površini. Šibek odnos je lahko tudi posledica rabe subjektivne metode za oceno količine iztoka plina in uporabe rangov namesto absolutnih izmerjenih vrednosti.

Iztok plina v Stavešinskih mofetah Strmec so prvič merili na približno 60 m² veliki površini v letih 2002–2003 (VODNIK et al., 2006) ter nato še v 2005–2006 (OGOREVC, 2008). Ugotovili so, da je na območju z izrazitim dotokom geogenega CO₂ izhajalo med 244,8 in 964,8 mol/h/m² (kar znese 5726–22575 l/h/m² pri p = 1 atm in T = 12 °C) plina. Glede na opazovano izrazitost pojavov (obseg

kotanj, rastje, stalnost in izrazitost mehurčkov...) in primerjavo izgleda z mokrimi *mofetami* na Češkem (KÄMPF et al., 2013), kjer so tok plina tudi merili, količina iztoka verjetno upada od mofet Rihtarovci in Slepice, Ivanjševske slatine in Žekša, mofete ob Lokavski slatini, Poličke slatine, Ihovske slatine ter Radvenske slatine do Verjanske slatine. Slednja zaradi majhne količine prostega plina verjetno že spada med difuzne oblike razplinjevanja. Ta razvrstitev lahko služi kot osnovna informacija pri načrtovanju bioloških, geoloških ali geofizikalnih raziskav, kjer je različna jakost toka plina zaželena in pomembna.

Pregled definicij

Problematika rabe pojmov *mofeta*, *mineralna voda* in *slatina* zahteva poglobljeno terminološko in geoznantveno študijo, ki ni bila namen pričujočega prispevka. Da bi lahko preiskanih 11 izvirov ustrezno razvrstili, smo najprej pripravili kratek povzetek oziroma primerjavo podobnosti in razliki obstoječih definicij v tab. 4–6.

Glede na 24 zbranih definicij *mofete* (tab. 4) povzemamo, da s tem izrazom označujemo površinski pojav izhajanja hladnega plina, predvsem CO₂, ki je lahko vulkanskega ali nevulkanskega izvora. *Mofeta* je lahko suha, pri čemer sta opazna spremenjeno/značilno rastje in gola tla na območju najbolj intenzivnega iztekanja plina, ali mokra, kjer se v kotanjah nabira površinska ali padavinska voda z nizkim (kislim) pH. Intenzivnost izhajanja plina mora biti vsaj 2 na vizualni lestvici z razponom 1–5 (tab. 2).

Definicije *mineralne vode* se bistveno razlikujejo glede na namen rabe vode, npr. kot naravni pojav, za zdravljenje, za ustekleničene vode. Na področju geologije in hidrogeologije s tem izrazom označujejo predvsem vode z veliko količino skupnih raztopljenih snovi, pogosto tudi plina (KAČURA, 1980; INTERNET 4; MIOČ, 1996; JAVORNIK, 1998; PAVŠIČ et al., 2006; DRAGIŠIČ IN POLOMIČIČ, 2009; INTERNET 3), čeprav mejne vrednosti niso vedno enake (tab. 5). Podobne zahteve se uporabljajo v balneologiji (KIRSCHNER, 2005; BUDAPEST WATER SUMMIT, 2013). Nasprotno v industriji ustekleničenih voda uporabljajo izraz *naravna mineralna voda*, ki ne opredeljuje najnižje vsebnosti TDS, ampak določa nekatere druge pogoje, kot npr. stalnost sestave, jasno razlikovanje od pitne vode... (CCA, 1983; URADNI LIST RS, 2004, 2005; CENZON, 2014; EFBW, 2014; IBWA, 2016; GNI, 2016). Za potrebe našega prispevka smo kot

mineralne vode opredelili tiste, ki vsebujejo vsaj 1 g/l skupnih raztopljenih snovi ali nad 250 mg/l prostega CO₂ (CO₂)_g.

Slatina je izraz, ki v prevodu nima povsem ustrezne sopomenke. Pogosto se uporablja za izvire visoko mineralizirane vode, lahko z veliko plina (tab. 6), in kot sopomenka *mineralni vodi* (BAJEC et al., 1970; LAH, 2002; VASELLI et al., 2002; PAVŠIČ et al., 2006; DRAGIŠIČ & POLOMIČIČ, 2009) oziroma *kisli mineralni vodi* (BEZLAJ, 1995). V balneologiji z nemškim izrazom »die Sauerlinge« označujejo vode z veliko CO₂ (KIRSCHNER, 2005). Izraz *slatina* se uporablja še v industriji ustekleničenih voda (URADNI LIST RS, 2004, 2005, 2008) in prevaja s številnimi angleškimi izrazi kot npr. »carbonated water, soda water, sparkling water, fizzy water«, ki označujejo vode z visoko vsebnostjo CO₂. Ker se za izvire ponekod v Sloveniji uporablja tudi hidronim Slatina, ki pa ne označuje pojava vode s posebno kemijsko sestavo (BEZLAJ, 1995), to še dodatno prispeva k neenotni rabi izraza. Pri razvrstitvi izvirov smo kot *slatine* opredelili tiste podzemne vode, ki vsebujejo nad 250 mg/l prostega CO₂ (CO₂)_g.

Razvrstitev preiskanih izvirov

V tabeli 7 podajamo povzetek opazovanih lastnosti 11 izvirov v Slovenskih goricah, na podlagi katerih smo jih razvrstili med *mofete*, *mineralno vodo* in *slatine*.

Mofet je pet: mofeta ob Lokavski slatini, mofeta Rihtarovci, Strmec in Slepice ter Polička slatina. Izhaja hladni plin, pretežno CO₂ iz plašča (BRÄUER et al., 2016), z intenzivnostjo 3 ali več. V kotanjah se nabira večinoma nizkomineralizirana padavinska voda, ki je razmeroma kislja (pH = 4,5–6,8). Pri vseh *mofetah* razen pri Slepica in Lokavski slatini, ki se nahajata v gozdu brez po drasti, je opazna sprememba rastja.

Med *mineralne vode* smo uvrstili štiri izvire: Ihovsko, Ivanjševsko in Radvensko slatino ter Žekš, saj vsebujejo nad 1 g/l skupnih raztopljenih snovi in prosti plin. Pri vseh je izhajanje plina z intenzivnostjo do 4 na lestvici 1–5 omejeno na sam izvir oziroma vrtino, kajti v okolici ni opaziti spremenjenega rastja. pH vode je nekoliko višji kot pri *mofetah*, 5,5–8,9.

Ker s podatkom o vsebnosti CO₂ v preiskanih vodah ne razpolagamo, jih nismo mogli ovrednotiti kot *slatine*. Elektroprevodnost Verjanske

Tabela 4. Primerjava 24 definicij *mofete* glede na izvor in vrsto plina, povezavo z geotermalnimi sistemi ter spremembami okolja.
 Table 4. Comparison of 24 definitions of a *mofette* based on gas origin and type, connection to geothermal systems and changes of the environment.

Št. / No.	Vir / Reference	Izvor plina / Gas origin			Vsebuje / Contains				Povezana z geotermalni- mi sistemi / Connected to geothermal systems	Sprememba / Change of	
		Vulkanski / Volcanic	Nevulkanski / Non volcanic	Iz plašča / Mantle	Pline / Gases	CO ₂	Hladni / Cold CO ₂	Suhi/ Dry CO ₂		Ekosistema / Ecosystem	Tal / Soil
1	BAJEC et al., 1970	X			X	X					
2	COLLINS, 1986	X			X	X					
3	INTERNET 4, 1994	X			X	X					
4	HOCHSTEIN & BROWNE, 2000	X	X				X		X		
5	MINISSALE et al., 2000 (original DUCHI & MINISSALE, 1995)						X	X			X
6	LYNNE, 2003				X	X			X		
7	KIRSCHNER, 2005	X			X	X					
8	NEUENDORF et al., 2005				X						
9	PFANZ et al., 2007	X					X				
10	NÉDA et al., 2008	X						X			
11	VODNIK et al., 2006; MAČEK et al., 2009					X				X	
12	DRAGIŠIĆ & POLOMIČIĆ 2009	X			X	X					
13	KRÖLL, 2010; WEINLICH et al., 1998						X	X			
14	MOTYČKOVÁ et al., 2012	X			X	X			X		
15	RENNERT et al., 2012					X					
16	BUDAPEST WATER SUM- MIT, 2013					X					
17	KÄMPF et al., 2013		X	X	X	X				X	
18	MEHLHORN et al., 2014				X	X				X	X
19	INTERNET 1, 2015	X			X						
20	OXFORD UNIVERSITY PRESS, 2015					X					X
21	BEULIG et al., 2015										
22	NICKSCHICK et al., 2015			X		X					
23	HOHBERG et al., 2015	X					X				
24	RENNERT & PFANZ, 2016	X		X		X				X	X

Tabela 5. Primerjava 14 definicij *mineralne vode* glede na vsebnost raztopljenih snovi in plina, stalnost sestave, razlikovanje od pitne vode, naravni izvor in čistost.

Table 5. Comparison of 14 definitions of a *mineral water* based on content of dissolved solids and gas, constant composition, distinction from drinking water, natural source and purity of water.

Št. / No.	Vir / Reference	Visoka vsebnost / High content of		Stalna sestava / Constant composition	Drugačna od pitne vode / Differs from drinking water	Naraven izvor / Natural source	Čistost kot na izvoru / Purity as at a source
		Skupne raztopljene snovi / Total dissolved solids	Plinov / Gases				
1	KAČURA, 1980	Ni nujno / Not necessarily	>1 g/l CO _{2(g)}		X		
2	CCA, 1983	>1000 g /l	>250 CO _{2(g)}	X		X	X
3	INTERNET 4, 1994	X	X			X	
4	MIOČ, 1996	>1 g/l TDS	>1 g/l CO _{2(g)}				
5	JAVORNIK, 1998	X					
6	URADNI LIST RS, 2004, 2005	Ni nujno / Not necessarily	Ni nujno / Not necessarily	X	X	X	X
7	KIRSCHNER, 2005	>1 g/l TDS				X	
8	PAVŠIČ et al., 2006	X	X				
9	DRAGIŠIČ & POLOMIČIČ, 2009	>1 g/l TDS	Ni nujno / Not necessarily		X		
10	BUDAPEST WATER SUMMIT, 2013	400–2500 mg/l TDS					
11	INTERNET 3, 2015	>1 g/l TDS	>250 mg/l CO _{2(aq)}			X	
12	CENZON, 2014	>250 ppm (~mg/l) TDS			X	X	X
13	EFBW, 2014	Ni nujno / Not necessarily	Ni nujno / Not necessarily	X	X	X	
14	IBWA, 2016; GNI, 2016	>250 ppm (~mg/l) TDS		X	X	X	X

Tabela 6. Primerjava 10 definicij *slatine* glede na izvor ter vsebnost raztopljenih snovi in plina.

Table 6. Comparison of 10 definitions of a *slatina* based on its source, and content of dissolved solids and gas.

Št. / No.	Vir / Reference	Naraven izvor / Natural source	Je mineralna voda / Is mineral water	Visoka vsebnost / High content of	
				Skupnih raztopljenih snovi / Total dissolved solids	Plinov / Gases
1	BAJEC et al., 1970			X	
2	BEZLAJ, 1995		X	X	
3	LAH, 2002			>0,5 % soli ali mineralov / salts or minerals	
4	VASELLI et al., 2002	X			X
5	URADNI LIST RS, 2004, 2005, 2008	X	X		>250 mg/l CO _{2(g)}
6	KIRSCHNER, 2005				>1000 oz. / or 500 mg/l CO _{2(aq)}
7	PAVŠIČ et al., 2006			X	X
8	DRAGIŠIČ & POLOMIČIČ, 2009	X	X		>250 mg/l CO _{2(g)}
9	INTERNET 2, 6, 2015	X	X		
10	INTERNET 5, 2016				X

Tabela 7. Razvrstitev 11 opazovanih izvirov med *mofete*, *mineralne vode* in *slatine*.Table 7. Classification of the 11 investigated springs into *mofettes*, *mineral waters* and *slatinas*.

Izvir / Spring	Značilnosti izvira / Characteristics of the spring			Mofeta / Mofette	Mineralna voda / Mineral water	Slatina / Slatina
	Prosti plin / Free gas	Spremenjeno rastje / Changed vegetation	Skupne raz- topljene snovi / Total dissolved solids >1 g/l			
Ihovska slatina	X		X (2,2 g/l)*		X	?
Ivanjševska slatina	X		X (3,5 g/l)*		X	?
mofeta ob Lokavski slatini	X		(0,69 g/l)**	X (suha / dry)		
Mofeta Rihtarovci	X	X	(0,56 g/l)**	X (suha / dry)		
Polička slatina	X	X	(0,03 g/l)*	X (mokra / wet)		?
Radvenska slatina	X		(2,0 g/l)*		X	?
Mofeta Strmec	X	X	(0,39 g/l)**	X (suha / dry)		
Mofeta Slepice	X		(0,06 g/l)**	X (mokra / wet)		?
Ujterska slatina			(0,01 g/l)**			
Verjanska slatina	X		(0,6 g/l)*			?
Žekš	X		(1,7 g/l)*		X	?

* izračunano na podlagi kemijskih analiz / calculated from chemical analyses

** izračunano z uporabo enačbe 1 in faktorja A=0,76. Tudi če A=1, vredosti ne presegajo 1 g/l. / Calculated using the Equation 1 and factor A=0.76. Even if A=1, the results do not exceed 1 g/l.

slatine je v pričakovanem razponu za podzemne vode na tem območju. Intenzivnost plina je zelo nizka, pH pa višji kot pri *mofetah*, zato menimo, da uvrstitev mednje ni upravičena, glede na mineralizacijo pa tudi ne ustreza *mineralni vodi*. Ujterska slatina je nizkomineralizirana podzemna voda brez opaznega izhajanja plina in ne ustreza nobeni od kategorij.

Zaključki

Ugotovili smo, da se preiskanih 11 izvirov zelo razlikuje po svojem izgledu in fizikalno-kemijskih lastnostih vode. Temperatura vode je nihala od 4,1 (Polička slatina) do 11,2 °C (Ihovska slatina), elektroprevodnost od 50 µS/cm (Polička slatina) do 3285 µS/cm (Ivanjševska slatina), pH vrednost od 4,4 (Slepice) do 8,9 (Ivanjševska slatina), ORP od -16,5 mV (mofeta ob Lokavski slatini) do 334,7 mV (Polička slatina), raztopljen kisik od 0,3 % (mofeta Strmec) do 73,4 % (mofeta Rihtarovci), z izjemo Ivanjševske slatine (121 %), kjer je meritev možna le na iztoku cevi iz zajetja. Izračunana količina skupnih raztopljenih snovi je bila od 31 mg/l (Polička slatina) do 3,5 g/l (Ivanjševska slatina). Spremenljivost izmerjenih vrednosti je vsaj deloma pogojena z možnostjo vdora sveže padavinske in/ali plitve, hladne podzemne vode v izvir.

Izdelali smo batimetrične 3D modele izvirnega območja za mofeti Slepice, Poličko slatino, Verjansko slatino in Žekš ter na tlorisih označili skupno 81 mest izhajanja plina. Ocenjena intenzivnost dotoka po subjektivni, vizualni petstopenjski lestvici z rangi 1–5 je od 1 pri Verjanski slatini do 5 pri največji mofeti Slepice. Izviri niso povsem okrogli, kar je lahko v določenih primerih posledica njihove rabe v preteklosti in zdaj neopaznih zagatnic. Daljša stranica dosega tudi čez 4 m, a večinoma je 1–2 m. Globina je do 2 m, le v primeru Žekša več. Povezave med globino dna izvira in intenzivnostjo izhajanja plina na vodni površini nismo našli.

Pregled definicij *mofete*, *mineralne vode* in *slatine* je povzel neenotnost izrazoslovja. Kot *mofete* smo označili stalni površinski pojav izhajanja hladnega plina, predvsem CO₂, z intenzivnostjo večjo kot 2 (po lestvici od 1 do 5). Za *suhe mofete* (mofeta Rihtarovci, mofeta Strmec, mofeta pri Lokavski slatini) je značilno spremenjeno rastje in lokalno gola tla. V *mokrih mofetah* (Polička slatina in Slepice) je v kotanjah prisotna nizko mineralizirana padavinska voda s kislim pH.

Ihovska, Ivanjševska in Radvenska slatina ter Žekš so izviri *mineralne vode*, ki vsebuje nad 1 g/l skupnih raztopljenih snovi in je bogata s prostim CO₂. Intenzivnost izhajanja plina je 2–4 na lestvici do 5.

Verjanska slatina ni *mineralna voda* niti *mofeta*, kajti intenzivnost izhajanja plina je 1. Mogoče je *slatina* z nad 250 mg/l prostega CO₂ (CO₂)_g, kar je pričakovano, a ne dokazano še za šest drugih izvirov. Ujterska slatina ne ustreza nobeni od teh definicij.

Mofettes in Slovenske gorice, Slovenia Short summary

Natural CO₂ springs named *mofettes* occur in volcanic and non-volcanic areas worldwide, and also occur in Slovenske gorice in Slovenia. There, a number of *mofettes* and several CO₂-rich *mineral waters* are known but have been rather poorly investigated. Most of the 11 springs included in the presented investigation (Fig. 1) emerge on the Badenian-Sarmatian clastic rocks of the Špilje Formation, some on the Lower Pannonian-Upper Pontian clastics of the Mura Formation, and the rest on the Quaternary sandy clay (for details see references in the first five sections of the paper). The latest research of these features (BRÄUER et al., 2016) indicates that these gasses originate predominantly in the Earth's mantle.

A field survey was performed between December 2014 and March 2015 at 11 sites as indicated in Table 1. Their GPS locations were recorded, the depth of the springs mapped on a 10 × 10 cm or 20 × 20 cm grid, and field physicochemical parameters of the water, when present, were measured. A visual, and therefore subjective, nominal scale was elaborated to differentiate among various intensities of degassing (Tab. 2), ranging between 1 and 5. Higher numbers denote increasing frequency, abundance and intensity of gas bubbles.

The results of the spring water measurements are presented in Table 3 and Figure 2 and differ noticeably. Water temperature was in the range of 4.1–11.2 °C, conductivity 50–3285 µS/cm, pH value 4.4–8.9, ORP -16.5–334.7 mV, dissolved oxygen 0.3–73.4 % (or 121 % for captured Ivanjševska slatina), and TDS from 31 mg/l to 3.5 g/l. Variations in the three measurements (Tab. 3) is largely attributable to the variable inflow of recent meteoric water and/or fresh, shallow groundwater into the springs.

This was supplemented by five bathymetric 3D models of natural springs as shown in Figures 3 to 7, where 81 degassing points are also shown. The shape of the springs is quite angular, which might be due to their capture in the past as drinking water resources. The maximum length of the side may exceed 4 m, but is more commonly 1–2 m; their depth very rarely exceeds 2 m. The intensity of individual degassing points varies from 1 at Verjanska slatina to 5 at the largest mofette of Slepice, but is largely between 2 and 4 (Fig. 8). We could not find a correlation between the depth of the spring (or the length of the water column) and the intensity of degassing at the water surface.

Tables 4 to 6 briefly summarize the main similarities of as many as 24 definitions of a *mofette*, 14 of a *mineral water*, and 10 of a *slatina*. We identified five *mofettes*, namely surface features with constant degassing of cold, mainly CO₂ gas with an intensity of 2 or more (on a scale 1–5). Three are *dry mofettes* (mofeta Rihtarovci, mofeta Strmec, and mofeta pri Lokavski slatini), exhibiting bare soil vents and characteristic vegetation. Two are *wet mofettes* (Polička slatina and Slepice), where the depressions are constantly filled with acidic (pH = 4.5–6.8) and low mineralised meteoric water (EC = 50–86 µS/cm). The hydrogeological term *mineral water* usually denotes high mineralized groundwaters, often also rich in gases (KAČURA, 1980; INTERNET 4, 1994; MIOČ, 1996; JAVORNIK, 1998; PAVŠIČ et al., 2006; DRAGIŠIĆ & POLOMIČIĆ, 2009; INTERNET 3), and similar definitions are reported in balneology (KIRSCHNER, 2005; BUDAPEST WATER SUMMIT, 2013). However, when talking about bottled waters the term *natural mineral water* is commonly used, which refers not to the lowest concentrations of certain parameters but entails rather the addition of other demands or parameters, such as small variations in the chemical composition of the groundwater, a clear distinction from drinking waters and other (CCA, 1983; URADNI LIST RS, 2004, 2005, 2008; CENZON, 2014; EFBW, 2014; IBWA, 2016; GNI, 2016). In this paper, we determined waters at Ihovska slatina, Ivanjševska slatina, Radvenska slatina, and Žekš as *mineral waters*, having more than 1 g/l of total dissolved solids and/or above 250 mg/l of free CO₂ (CO₂)_g. Therefore, these springs are rich in free gas with a flux intensity of 2–4.

A *slatina* is a Slovenian term that cannot be consistently or definitively translated. It usually denotes either high mineralized *mineral waters*,

often rich in gases, or acid *mineral waters* (BAJEC et al., 1970; BEZLAJ, 1995; LAH, 2002; VASELLI et al., 2002; PAVŠIČ et al., 2006; DRAGIŠIČ & POLOMIČIČ, 2009). In balneology, the German “die Säuerlinge” (KIRSCHNER, 2005) has a similar meaning. The English terms “carbonated water, soda water, sparkling water, fizzy water” refer to bottled waters with a high CO₂ content, and are therefore not directly comparable. We propose to use the term *slatina* for waters with more than 250 mg/l of free CO₂ (CO₂)_g. Since we did not measure the latter parameter, the seven potential such springs (Tab. 7) must be further analysed.

Verjanska slatina and Ujterska slatina are neither *mofettes* nor *mineral waters*.

Zahvala

Raziskava je bila sofinancirana s strani MIZŠ in ESC po pogodbi 3330-14-509001 ter ARRS programske skupine P1-0020 Podzemne vode in geokemija. Avtorici se zahvaljujeva izr. prof. dr. Mihaelu Brenčiču in dr. Tjaši Kanduč za skrben pregled prispevka in koristne nasvete pri oblikovanju poudarkov.

Viri in literatura

- ALBU, M., BANKS, D. & NASH, H. 1997: Mineral and thermal groundwater resources. Chapman & Hell, London, UK: 447 p.
- ARSO; 2016: Klimatski podatki za 30-letno obdobje (tabele). Internet: http://www.arso.gov.si/vreme/napovedi%20in%20podatki/gornja_radgona.htm (3.9.2016)
- BAGAR POVŠE, M., DEŠNIK, S., KRAMBERGER, L., TURK, V. & ZEMLJIČ, A. 2007: Med vrelni življenja. Turistično društvo Gornja Radgona, Murska Sobota.
- BAJEC, A., JURANČIČ, J., KLOPČIČ, M., LEGIŠA, L., SUHADOLNIK, S. & TOMŠIČ, F. 1970: Slovar slovenskega knjižnega jezika. Internet: <http://bos.zrc-sazu.si/sskj.html> (18. 4. 2015).
- BERGFELD, D., FRASER, G. & JANIK, C.J. 2001: Elevated carbon dioxide flux at the Dixie Valley geothermal field, Nevada; relations between surface phenomena and the geothermal reservoir. *Chemical Geology*, 177: 43–66, doi:10.1016/S0009-2541(00)00381-8.
- BEULIG, F., HEUER, V., AKOB, D.M., VIEHWEGER, B., ELVERT, M., HERRMANN, M., HINRICHS, K-U. & KÜSEL, K. 2015: Carbon flow from volcanic CO₂ into soil microbial communities of a wetland mofette, *Multidisciplinary Journal of Microbial Ecology*, 9/3: 746–759, doi:10.1038/ismej.2014.148.
- BEZLAJ, F. 1995: Etimološki slovar slovenskega jezika: tretja knjiga P-S. Mladinska knjiga, Ljubljana: 355 p.
- BRÄUER, K., GEISSLER, W.H., KÄMPF, H., NIEDERMANN, S. & RMAN, N. 2016: Helium and carbon isotope signatures of gas exhalations in the westernmost part of the Pannonian Basin (SE Austria/NE Slovenia): Evidence for active lithospheric mantle degassing. *Chemical Geology*, 422: 60–70, doi:10.1016/j.chemgeo.2015.12.016.
- BUDAPEST WATER SUMMIT, 2013: Main types of mineral and medic water. Internet: <http://www.budapestwatersummit.hu/> (18. 4. 2015).
- CCA (COMMISSION DU CODEX ALIMENTARIUS), 1983: Normes Codex Pour les Eaux Minérales Naturelles. Commission du Codex Alimentarius Vol. XII, Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires (CAC (VOL. XII, 1st edn). Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO)/ Organisation mondiale de la santé (WHO), Rome.
- CENZON, M. 2014: Different Types Of Bottled Water Explained. Internet: <http://www.symptomfind.com/nutrition-supplements/different-types-of-bottled-water-explained/> (2. 9. 2016).
- CHIODINI, G., GRANIERI, D., AVONI, R., CALIRO, S., COSTA, A., MINOPOLI, C. & VILARDO, G. 2010: Non-volcanic CO₂ Earth degassing: case of Mefite d'Ansanto (southern Apennines), Italy. *Geophysical Research Letters*, 37/11, doi:10.1029/2010GL042858.
- COLLINS, W. 1986: Collins English Dictionary. Internet: <http://www.collinsdictionary.com/dictionary/english> (18. 4. 2015).
- DERRILL, M., KERRICK, D. M., SEWARD, T. M. & CALDEIRA, K. 1995: Convective hydrothermal CO₂ emission from high heat flow regions. *Chemical Geology*, 121/1–4: 285–293, doi:10.1016/0009-2541(94)00148-2.
- DOĞAN, T., SUMINO, H., NAGAO, K., NOTSU, K., TUNCER, M.K. & ÇELİK, C. 2009: Adjacent releases of mantle helium and soil CO₂ from active faults: Observations from the Marmara region of the North Anatolian Fault zone. *Geochemistry, Geophysics, Geosystem*, 10/11: 1–11, doi:10.1029/2009GC002745.
- DRAGIŠIČ, V. & POLOMIČIČ, D. 2009: Hidrogeološki rečnik – Dictionary of Hydrogeology. Rudarsko-geološki fakultet, Beograd: 570 p.

- EFBW 2014: Natural Mineral water. Internet: <http://www.efbw.eu/index.php?id=4> (2. 9. 2016).
- ETIOPE, G. 2009: Natural emissions of methane from geological seepage in Europe. *Atmospheric Environment*, 43: 1430–1443, [doi:10.1016/j.atmosenv.2008.03.014](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.03.014).
- EVANS, C. W., SOREY, L. M., COOK, C. A., KENNEDY, B. M., SHUSTER, D. L., COLVARD, E. M., WHITE, L. D. & HUEBNER, M. A. 2002: Tracing and quantifying magmatic carbon discharge in cold groundwaters: lessons learned from Mammoth Mountain, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 114/3–4: 291–312, [doi:10.1016/S0377-0273\(01\)00268-2](https://doi.org/10.1016/S0377-0273(01)00268-2).
- FODOR, L., JELEN, B., MARTON, E., RIFELJ, H., KRALJIĆ, M., KEVRIĆ, R., MARTON, P., KOROKNAI, B. & BALDI-BEKE, M. 2002: Miocene to Quaternary deformation, stratigraphy and paleogeography in northeastern Slovenia and Southwestern Hungary. *Geologija*, 45/1: 103–114, [doi:10.5474/geologija.2002.009](https://doi.org/10.5474/geologija.2002.009).
- FODOR, L., BADA, G., CSILLAG, G., HORVATH, E., RUSZKICZAY-RUDIGERY, Z., PALOTAS, K., SIKHEGYI, F., TIMAR, G., CLOETINGH, S. & HORVATH, F. 2005: An outline of neotectonic structures and morphotectonics of the western and central Pannonian Basin. *Tectonophysics*, 410: 15–41.
- GABOR, L. 2015: Pregled mofet na območju Slovenskih goric. Diplomsko delo. Naravoslovnotehniška fakulteta, Ljubljana: 58 p.
- GNI, 2016: Where Does Bottled Water Come From? *Geology - Geoscience News and Information*. Internet: <http://geology.com/articles/bottled-water.shtml> (2. 9. 2016)
- HOCHSTEIN, M. & BROWNE, P. 2000: Surface manifestations of geothermal systems with volcanic heat sources. In: SIGURDSSON, H. (ed.): *Encyclopedia of volcanoes*. Academic Press, San Diego: 835–855.
- HÖHBERG, K., SCHULZ, H.-J., BALKENHOL, B., PILZ, M., THOMALLA, A., RUSSEL, D.J. & PFANZ, H. 2015: Soil faunal communities from mofette fields: Effects of high geogenic carbon dioxide concentration, *Soil Biology and Biochemistry*, 88: 420–429, [doi:10.1016/j.soilbio.2015.06.017](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.06.017).
- HORVÁTH, F., MUSITZ, B., BALÁZS, A., VEGH, A., UHRIN, A., NADOR, A., KOROKNAI, B., PAP, N., TOTH, T. & WORUM, G. 2015: Evolution of the Pannonian basin and its geothermal resources. *Geothermics*, 53: 328–352, [doi:10.1016/j.geothermics.2014.07.009](https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2014.07.009).
- HOUNSLOW, A. W. 1995: *Water Quality data: Analysis and Interpretations*. Lewis Publishers, New York: 397 p.
- IBWA 2016: Types of water – bottled. International Bottled Water Association. Internet: <http://www.bottledwater.org/types/bottled-water> (2. 9. 2016)
- JAVORNIK, M. 1998: Veliki splošni leksikon v osmih knjigah: Peta knjiga Ma-Ož. DZS, Ljubljana: 2479–3094.
- JELEN, B. 2010: Tektonska karta predkenozojske podlage Mursko-zalskega bazena na slovenskem območju projekta T-JAM. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana.
- JELEN, B. & RIFELJ, H. 2005: Inner geodynamic control on the Late Paleogene and Neogene stratigraphy in Slovenia. Abstract book, 12th Congress R.C.M.N.S. Patterns in Processes in the Neogene of the Mediterranean Region, Vienna. University of Vienna, Natural History Museum of Vienna: 116–118.
- JELEN, B. & RIFELJ, H. 2011: Površinska litostratigrafska in tektonska strukturna karta območja T-JAM projekta, severovzhodna Slovenija 1: 100.000. Internet: <http://www.geo-zs.si/podrocje.aspx?id=489> (1. 7. 2015)
- JELEN, B., RIFELJ, H., BAVEC, M. & RAJVER, D. 2006: Opredelitev dosedanjega konceptualnega geološkega modela Murske depresije. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana: 56 p.
- KAČURA, G. 1980: *Minerální vody Severočeského kraje*. Ústřední ústav geologický, Praha: 9–12.
- KÄMPF, H., BRÄUER, K., SCHUMANN, J., HAHNE, K. & STRAUCH, G. 2013: CO₂ discharge in an active, non-volcanic continental rift area (Czech Republic): Characterisation ($\delta^{13}\text{C}$, $^3\text{He}/^4\text{He}$) and quantification of diffuse and vent CO₂ emissions. *Chemical Geology*, 339: 71–83, [doi:10.1016/j.chemgeo.2012.08.005](https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2012.08.005).
- KIRSCHNER, C. 2005: Glossar - Europäischer Heilbäderverband. Notamed Verlag, Brusels: 351 p.
- KLANJŠČEK, M. & RADOVAN, D. 2005: Navtični vodnik slovenskega morja in obale. Internet: <http://www.hidrografija.si/p1/3-2.php> (13. 4. 2015)
- KOKOL, A. 2008: Regionalna geografija lokalnih mineralnih izvirov na Radgonskem območju. Diplomsko delo, Filozofska fakulteta, Ljubljana: 104 p.
- KRALJ, P. 2007: Die Mineralwasserquellen von Benedikt. *Der Mineralbrunnen*, 7: 1–4.
- KRALJ, P. & KRALJ, P. 2000: Thermal and mineral waters in north-eastern Slovenia, *Environmental Geology*, 39/5: 488–500, [doi:10.1007/s002540050455](https://doi.org/10.1007/s002540050455).

- KRALJ, P., KRALJ, P., BIZJAK, M., MEDIC, M. & MARINKO, M. 1998: Lastnosti termalne vode v geotermalnem sistemu Termal I v Prekmurju, III. faza. Geološki zavod Ljubljana, Ljubljana.
- KRALJ, P., EICHINGER, L. & KRALJ, P. 2009: The Benedikt hydrothermal system (North-Eastern Slovenia). *Environmental Geology*, 58: 1653–1661, [doi:10.1007/s00254-008-1631-3](https://doi.org/10.1007/s00254-008-1631-3).
- KRÖLL, R. 2010: Mofettes (dry CO₂ exhalations) along the Rhine on Hammerstein Island and in Wied near Datzeroth. *Mainzer Geowissenschaftliche Mitteilungen*, 35: 61–72.
- LAH, A. 2002: Okoljski pojavi in pojmi: okoljsko izrazje v slovenskem in tujih jezikih z vsebinskimi pojasnili. Svet za varstvo okolja Republike Slovenije, Ljubljana: 116 p.
- LAN, T.F., YANG, T.F., LEE, H.F., CHEN, Y.C., CHEN, C.H., SONG, S.R. & TSAO, S. 2007: Composition and flux of soil gas in Liu-Huang-Ku hydrothermal area, northern Taiwan. *Journal of Volcanology and Geotherm Research*, 165: 32–45, [doi:10.1016/j.jvolgeores.2007.04.015](https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2007.04.015).
- LAPANJE, A. 2006: Izvor in kemijska sestava termalnih in termomineralnih vod v Sloveniji. *Geologija*, 49/2: 347–370, [doi:10.5474/geologija.2006.025](https://doi.org/10.5474/geologija.2006.025).
- LAPANJE, A. 2007: Nekaj pojasnil k pripombam dr. Polone Kralj na članek Izvor in kemijska Sestava termalnih in termomineralnih vod v Sloveniji. *Geologija*, 50/1: 215–220.
- LAPANJE, A. & RMAN, N. 2009: Termalna in termomineralna voda = Thermal and Thermomineral water. In: PLENIČAR, M., OGORELEC, B. & NOVAK, M. (eds.): *Geologija Slovenije = The Geology of Slovenia*. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana: 553–560.
- LAPANJE, A., BAEK, R., BUDKOVIČ, T., DOMBERGER, G., GOETZL, G., HRIBERNIK, K., KUMELJ, Š., LETOUZE, G., LIPIARSKI, P., POLTNIG, W. & RAJVER, D. 2007: Geotermalni viri severne in severovzhodne Slovenije. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana: 124 p.
- LEWICKI, J.L., EVANS, W.C., HILLEY, G.E., SOREY, M.L., ROGIE, J.D. & BRANTLEY, S.L. 2003: Shallow soil CO₂ flow along the San Andreas and Calaveras faults, California. *Journal of Geophysical Research*, 108/B4, [doi:10.1029/2002JB2141](https://doi.org/10.1029/2002JB2141).
- LUČIĆ, D., SAFTIĆ, B., KRIZMANIĆ, K., PRELOGOVIĆ, E., BRITVIĆ, V., MESIĆ, I. & TADEJ, J. 2001: The Neogene evolution and hydrocarbon potential of the Pannonian Basin in Croatia. *Marine and Petroleum Geology*, 18: 133–147.
- LYNNE, B. Y. 2003: *The Geothermal Guide to Wai-O-Tapu Thermal Wonderland*. Publishing Press, 64 p.
- MAČEK, I., VIDEMŠEK, U., KASTELEC, D. & STOPAR, D. 2009: Geological CO₂ affect microbial respiration rates in Stavešinci mofette soils. *Acta Biologica Slovenica*, 52: 41–48.
- MAČEK, I. 2013: A decade of research in mofette areas has given us new insights into adaptation of soil microorganisms to abiotic stress. *Acta Agriculturae Slovenica*, 2: 209–217.
- MARKIČ, M. 2013: Zakaj nastopata zemeljski plin in nafta ravno na območju Lendave. *Mineralne surovine v letu 2013*, 10/1: 122–138.
- MEHLHORN, J., BEULIG, F., KUSEL, K. & PLANER-FRIEDRICH, B. 2014: Carbon dioxide triggered metal(loid) mobilisation in a mofette. *Chemical geology*, 382: 54–66, [doi:10.1016/j.chemgeo.2014.05.027](https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2014.05.027).
- MINISSALE, A., MAGRO, G., MARTINELLI, G., VASELLI, O. & TASSI, G. F. 2000: Fluid geochemical transect in the Northern Apennines (central-northern Italy): fluid genesis and migration and tectonic implications. *Tectonophysics*, 319: 199–222.
- MIOČ, P. 1996: Letno poročilo – Projekt: Geološka topografija mineraliziranih vod. Inštitut za geologijo, geotehniko in geofiziko, Ljubljana: 24 p.
- MIOČ, P. 1997: Geološka topografija mineraliziranih vod – III faza, Inštitut za geologijo, geotehniko in geofiziko, Ljubljana: 19 p.
- MIOČ, P. & MARKOVIĆ, S. 1998: Osnovna geološka karta SFRJ. Tolmač lista Čakovec 1: 100 000. Zvezni geološki zavod Beograd, Geološki zavod Ljubljana.
- MIOČ, P. & ŽNIDARČIČ, M. 1987: Osnovna geološka karta SFRJ. Tolmač lista Maribor in Leibniz 1: 100.000. Zvezni geološki zavod Beograd, Geološki zavod Ljubljana.
- MOTYČKOVÁ, H., ŠIROVÁ – MOTYČKOVÁ, K., MOTYČKA, V. & ŠIR, J. 2012: *Geologické zajímavosti České republiky*. Academia, Průvodce, Praha: 364 p.
- NÁDOR, A., LAPANJE, A., TÓTH, G., RMAN, N., SZÖSC, T., PRESTOR, J., UHRIN, A., RAJVER, D., FODOR, L., MURÁTI, J. & SZÉKELY, E. 2012: Transboundary geothermal resources of the Mura-Zala basin: a need for joint thermal aquifer management of Slovenia and Hungary. *Geologija*, 55/2: 209–223, [doi:10.5474/geologija.2012.013](https://doi.org/10.5474/geologija.2012.013).
- NARAVOVARSTVENI ATLAS, 2013. Internet: <http://www.naravovarstveni-atlas.si/nvajavni/DefaultNva.aspx> (24. 4. 2015).
- NÉDA, T., SZAKÁCS, A., COSMA, C. & MÓCSY, I. 2008: Radon Concentration measurements

- in mofettes from Harghita and Covasna Countries, Romania. *Journal of Environmental Radioactivity*, 99/12: 1819–1824, [doi:10.1016/j.jenvrad.2008.07.007](https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2008.07.007).
- NEUENDORF, K. K. E., MEHL, J. & JACKSON, J. A. 2005: Glossary of Geology. American Geological Institute, Alexandria: 779 p.
- NICKSCHICK, T., KAMPF, H., FLECHSIG, C., MRLINA, J. & HEINICKE, J. 2015: CO₂ degassing in the Hartouov mofette area, western Eger Rift, imaged by CO₂ mapping and geoelectrical and gravity surveys, *International Journal of Earth Science*, 104/8: 2107–2129, [doi:10.1007/s00531-014-1140-4](https://doi.org/10.1007/s00531-014-1140-4).
- NOVAK, D. 1974–1977: Hidrogeološke raziskave mineralne vode pri Lenartu – več faz. Geološki zavod Ljubljana, Ljubljana.
- NOSAN, A. 1973: Termalni in mineralni vrelci v Sloveniji. *Geologija*, 16: 6–81.
- OGOREVEC, B. 2008: Vpliv vode v tleh na tok geogene CO₂ iz tal v atmosfero. Diplomsko delo, Biotehniška fakulteta, Ljubljana: 39 p.
- OXFORD UNIVERSITY PRESS 2015: Oxford Dictionaries. <http://oxforddictionaries.com/> (12. 4. 2015).
- PAVŠIČ, J., PLENIČAR, M., STRMOLE, D., KRALJ, P. & GRM, M. 2006: Geološki terminološki slovar. ZRC SAZU, Ljubljana: 331 p.
- PAVŠIČ, J. & HORVAT, A. 2009: Eocen, oligocen in miocen v osrednji in vzhodni Sloveniji = The Eocene, Oligocene and Miocene in Central and Eastern Slovenia. In: PLENIČAR, M., OGOREVEC, B., & NOVAK, M. (eds.): *Geologija Slovenije = The Geology of Slovenia*. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana: 373–426.
- PEZDIČ, J. 1991: Izotopi v termomineralnih vodnih sistemih; Doktorska disertacija. Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo, Ljubljana: 157 p.
- PEZDIČ, J., DOLENEC, T., PIRC, S. & ŽIŽEK, D. 1995: Hydrogeochemical properties and activity of the fluids in the Pomurje Region of the Pannonian Sedimentary Basin, *Acta Geologica Hungarica*, 1: 319–240.
- PEZDIČ, J. 2003: Origin and migration of gases in the Pannonian sedimentary basin. *Proceedings of ICGG7*: 47–49.
- PFANZ, H., VODNIK, D., WITTMANN, C., ASCHAN, G., BATIĆ, F., TURK, B. & MAČEK, I. 2007: Photosynthetic performance (CO₂-compensation point, carboxylation efficiency, and net photosynthesis) of timothy grass (*Phleum pratense* L.) is affected by elevated carbon dioxide in post-volcanic mofette areas. *Environmental and Experimental Botany*, 61/1: 41–48, [doi:10.1016/j.envexpbot.2007.02.008](https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.02.008).
- PLENIČAR, M. & NOSAN, A. 1958: Paleogeografija Panonskega obrobja v Sloveniji. *Geologija*, 4: 94–110.
- RENNERT, T., EUSTERHUES, K., DE ANDRADE, V. & TOTSCHKE, K. U. 2012: Iron species in soils on a mofette site studied by Fe K-edge X-ray absorption near-edge spectroscopy, *Chemical Geology*, 332–333: 116–123, [doi:10.1016/j.chemgeo.2012.09.046](https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2012.09.046).
- RENNERT, T. & PFANZ, H. 2016: Hypoxic and acidic – Soils on mofette fields. *Geoderma*, 280: 73–81, [doi:10.1016/j.geoderma.2016.06.019](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.06.019).
- RMAN, N. 2016: Hydrogeochemical and isotopic tracers for identification of seasonal and long-term over-exploitation of the Pleistocene thermal waters. *Environmental monitoring and assessment*, 188/4: 242–262, [doi:10.1007/s10661-016-5250-2](https://doi.org/10.1007/s10661-016-5250-2).
- RMAN, N. & KANDUČ, T. 2015: Isotopic composition and geochemistry of mineral water springs and mofettes, a case study of Slovenia. In: KRAJCAR BRONIĆ, I., HORVATINČIĆ, N. & OBELIĆ, B. (ur.): *ESIR Isotope Workshop XIII*, Ruđer Bošković Institute, Zagreb
- RMAN, N., LAPANJE, A. & RAJVER, D. 2012: Analiza uporabe termalne vode v severovzhodni Sloveniji. *Geologija*, 55/2: 225–242, [doi:10.5474/geologija.2012.014](https://doi.org/10.5474/geologija.2012.014).
- RMAN, N., LAPANJE, A., PRESTOR, J. & O'SULLIVAN, M. J. 2016: Mitigating depletion of a porous geothermal aquifer in the Pannonian sedimentary basin. *Environmental Earth Science*, 75: 723, [doi:10.1007/s12665-016-5634-1](https://doi.org/10.1007/s12665-016-5634-1).
- ROGIE, J. D., KERRICK, D. M., CHIODINI, G. & FRONDI, F. 2000: Flux measurements of nonvolcanic CO₂ emission from some vents in central Italy. *Journal of Geophysical Research*, 105: 8435–8445, [doi:10.1029/1999JB900430](https://doi.org/10.1029/1999JB900430).
- SAFTIĆ, B., VELIĆ, J., SZTANO, O., JUHAZS, G. & IVKOVIĆ, Ž. 2003: Tertiary Subsurface Facies, Source Rocks and Hydrocarbon Reservoirs in the SW Part of the Pannonian Basin. *Geologica Croatica*, 56: 101–122.
- SAUER, U., SCHÜTZE, C., LEVEN, C., SCHLÖMER, S. & DIETRICH, P. 2013: An integrative hierarchical monitoring approach for detecting and characterizing CO₂ releases. *Energy Procedia*, 37: 4257–4267. [doi:10.1016/j.egypro.2013.06.328](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.06.328).
- SENEKOVIČ, M. 2011: Mineralne vode na območju Lenarta v Slovenskih goricah. Diplomsko delo. Naravoslovnotehniška fakulteta, Ljubljana: 87 p.
- SZÖSC, T., RMAN, N., SÜVEGES, M., PALCSU, L., TÖTH, G. & LAPANJE, A. 2013: The application of isotope and chemical analyses in

- managing transboundary groundwater resources. *Applied geochemistry*, 32: 95–107, doi:10.1016/j.apgeochem.2012.10.006.
- ŠLEBINGER, C. 1955: O sulfidih v pomurskih slatinah ter njihovem pomenu za nastanek slatin. *Geologija*, 3: 226–230.
- ŠRAM, D., RMAN, N., RIŽNAR, I. & LAPANJE, A. 2015: The three-dimensional regional geological model of the Mura-Zala basin, north-eastern Slovenia. *Geologija*, 58/2: 139–154, doi:10.5474/geologija.2015.011.
- TÓTH, G., RMAN, N., ROTÁR-SZALKAI, Á., KERÉKGYÁRTÓ, T., SZÖSC, T., LAPANJE, A., CERNAK, R., REMSÍK, A., SCHUBERT, G. & NÁDOR, A. 2016: Transboundary fresh and thermal groundwater flows in the west part of the Pannonian Basin. *Renewable & sustainable energy reviews*, 57: 439–454, doi:10.1016/j.rser.2015.12.021.
- URADNI LIST RS; 2004: Pravilnik o naravni mineralni vodi, izvirski vodi in namizni vodi. Uradni list, št. 50/2004.
- URADNI LIST RS; 2005: Pravilnik o spremembah in dopolnitvah Pravilnika o naravni mineralni vodi, izvirski vodi in namizni vodi. Uradni list, št. 75/2005.
- URADNI LIST RS; 2008: Zakon o kmetijstvu (ZKmet-1). Uradni list, št. 45/2008.
- VASELLI, O., MINISSALE, A., TASSI, F., MAGRO, G., SEGHEDEI, I., IOANE, D. & SZAKACS, A. 2002: A geochemical traverse across the Eastern Carpathians (Romania): constraints on the origin and evolution of the mineral water and gas discharges. *Chemical Geology*, 182: 637–654.
- VODNIK, D., PFANZ, H., MAČEK, I., KASTELEC, D., LOJEN, S. & BATIČ, F. 2002: Photosynthesis of cocksbur [Echinochloa crus-galli (L.) Beauv.] at sites of naturally elevated CO₂ concentration. *Photosynthetica*, 4: 575–579.
- VODNIK, D., KASTELEC, H., PFANZ, H., MAČEK, I. & TURK, B. 2006: Small-scale spatial variation in soil CO₂ concentration in a natural carbon dioxide spring and some related plant responses. *Geoderma*, 133: 309–319, doi:10.1016/j.geoderma.2005.07.016.
- VODNIK, D., VIDEMŠEK, U., PINTAR, M., MAČEK, I. & PFANZ, H. 2009: The characteristic of soil CO₂ fluxes at a site with natural CO₂ enrichment. *Geoderma*, 150/1–2: 32–37, doi:10.1016/j.geoderma.2009.01.005.
- VRABEC, M., PLENIČAR, M., ŠMUC, A. & BUSER, S. 2009: Geološki razvoj Slovenije – povzetek. In: PLENIČAR, M., OGORELEC, B. & NOVAK, M. (eds.): *Geologija Slovenije = The Geology of Slovenia*. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana: 23–40.
- VRZEL, J. 2012: Hidrogeološka analiza odnosa med plitvim in globokim vodonosnikom na Radenskem območju. Diplomsko delo, Naravoslovnotehniška fakulteta, Ljubljana: 62 p.
- WEINLICH, F.H., TESAR, J., WEISE, S.M., BRÄUER, K. & KÄMPF, H. 1998: Gas flux distribution in mineral springs and tectonic structure in north-west Bohemia. *Journal of Czech Geological Society*, 43/1–2: 91–110.
- ŽLEBNIK, L. 1974: Hidrogeološke razmere v Nuskovi na Goričkem. *Geologija*, 17: 477–491.
- ŽLEBNIK, L. 1975: Hidrogeološke raziskave mineralne vode v Radencih v letu 1974: Letno poročilo o rezultatih raziskovalne naloge. Geološki zavod Ljubljana, Ljubljana: 25 p.
- ŽLEBNIK, L. 1978a: Terciarni vodonosniki v Slovenskih goricah in na Goričkem. *Geologija*, 21/2: 311–324.
- ŽLEBNIK, L. 1978b: Letno poročilo: Karta mineralnih in termalnih vod Slovenije v merilu 1:200.000, II.faza, Geološki zavod Ljubljana, Ljubljana.
- ŽLEBNIK, L. 1980: Hidrogeološke raziskave termomineralne vode v Radencih: Letno poročilo. Geološki zavod Ljubljana, Ljubljana: 14 p.
- ŽLEBNIK, L. 2009: Pregled raziskav in zajetij mineralne vode v Radencih od leta 1965 naprej. *Radenski vestnik*, posebna izdaja ob 140-letnici Radenske 1869 – 2009: 31–33.
- Internetni viri:
- INTERNET 1: <https://en.wikipedia.org/wiki/Mofetta> (18.2.2015)
- INTERNET 2: <https://sl.wikipedia.org/wiki/Slatina> (22.12.2015)
- INTERNET 3: https://sl.wikipedia.org/wiki/Mineralna_voda (22.12.2015)
- INTERNET 4: <http://www.britannica.com/> (22.12.2015)
- INTERNET 5: https://en.wikipedia.org/wiki/Carbonated_water (3.9.2016)
- INTERNET 6: https://en.wikipedia.org/wiki/Sour_water (22.12.2015)