

Naravni pojavi plinov v Sloveniji

Nina Rman, Petra Žvab Rožič

Izhajanje plinov iz tal povezujemo z različnimi fizikalnimi in kemijskimi procesi, ki potekajo v notranjosti našega planeta. Plinska mešanica je lahko sestavljena iz različnih plinov, ki imajo raznovrsten učinek na tla in bližnje organizme. Na vulkanskih območjih so poznane številne fumarole, nad nahajališči metana se pojavlja »večni ali božanski ogenj«, mineralne in termomineralne vode brbotajo zaradi visoke vsebnosti ogljikovega dioksida, številni drugi plini pa se izločajo skorajda neopazno, a niso zato nič manj pomembni ali celo nevarni.

V Sloveniji in bližnji okolici so najizrazitejši naravni plinski pojavi mofete v severovzhodni Sloveniji, mineralni izviri v Rogaški Slatini, Nuskovi in okolici Radencev, tik za mejo s Hrvaško, kjer so danes številna plinska polja, pa so bili včasih naravni pojavi metana.

Različni plini so prisotni v termomineralni vodi, zajeti s številnimi geotermalnimi vrtnami v severovzhodni Sloveniji, radon pa se v večjih koncentracijah pojavlja ob aktivnih prelomnih območjih v kraškem svetu zahodne in jugozahodne Slovenije.

Izvor plinov

Zemlja je razdeljena na jedro, plašč in skorjo. Trdna in hladna skorja je razlomljena na tektonske plošče, ki se počasi premikajo po plastični astenosferi oziroma zgornjem delu plašča. V njem se kamnine zaradi zelo visoke temperature in pritiska preobražajo ali metamorfozirajo, lahko pa se celo povsem stopijo in nastane magma. Pri tem potekajo številne kemijske reakcije, katerih stranski proizvod so plini. Najpogostejša sta vodna para, ki izhaja predvsem iz v kamninah ujete padavinske vode, in ogljikov dioksid, nastajajo pa tudi klorovodikova in fluorovodikova kislina, vodikov sulfid, žveplov dioksid, metan, žlahtni plini in drugi. Staljene

kamnine in plini prodirajo skozi večje in manjše razpoke v Zemljini skorji proti površju in ogrevajo okoliške kamnine. Skoznje pronica infiltrirana padavinska voda, v njej pa se vsaj deloma raztopijo že omenjeni plini. Ogrete kamnine in podzemna voda lahko tvorijo geotermalni vodonosnik, iz katerega izteka voda s temperaturo na površju vsaj 20 stopinj Celzija. Kadar je Zemljine toplote zelo veliko, podzemna voda v vodonosniku zavre in se v njem nahaja vodna para s spremljajočimi plini.

Pojav ogljikovega dioksida

Ker je ogreta podzemna voda z raztopljenimi plini redkejša od hladne infiltrirajoče se podzemne vode, se zaradi vzgona dviga skozi pore in razpoke v tleh proti površju. Na mestu iztoka podzemne vode nastanejo mineralni, topli ali vroči izviri ali gejzirji. Kjer je globina do podzemne vode večja, takšni pojavi ne morejo nastati, zato pa se izrazijo plinski pojavi, kot so na primer fumarole.

Na vulkanskih območjih iz fumarol na površje izhaja predvsem vodna para. Glede na deleže plinov v plinski mešanici poznamo tri posebne vrste fumarol. Iz soffionov poleg vodne pare izhaja tudi borova kislina, ki ob ohlajanju tvori bele borove soli. Iz solfatar poleg vodne pare izhaja vodikov sulfid, ki smrdi po gnilih jajcih in na zraku oksidira v rumeno elementarno žveplo. Vdihovanje previsokih koncentracij tega plina učinkuje enako kot ogljikov monoksid in lahko povzroči zadušitev. Teh dveh vrst fumarol v Sloveniji ne moremo občudovati.

Tretja vrsta fumarol, ki pa ni vedno vezana na aktivne vulkanske pojave, so mofete. Skoznje izhaja pretežno ogljikov dioksid. Kadar mu je primešana vodna para, je mešanica vroča, v nasprotnem primeru pa je hladna. Ogljikov dioksid je plin brez barve,

vonja in okusa, ki je težji od zraka in v previsokih koncentracijah škoduje živim organizmom. Pri vdihavanju večjih koncentracij občutimo omotico in glavobol, ki se lahko nadaljujeta do zakisanosti krvi in smrti.

Mofete, mineralne in termomineralne vode, bogate z ogljikovim dioksidom, lahko opazujemo tudi v Sloveniji.

Izviri mineralne vode, bogate z ogljikovim dioksidom

Pojav mineralnih izvirov in/ali termomineralne vode z veliko vsebnostjo ogljikovega dioksida na območju Jezerskega, Rogaške Slatine, Lenarta v Slovenskih goricah, Ščavnice, Radencev, Nuskove ter na avstrijskem Štajerskem in Gradiščanskem pripisujemo predvsem razplinjanju metamorfnih kamnin v Zemljinem plašču. Najmlajši vulkanizem je deloval pred približno tremi milijoni let na Goričkem, zato sklepamo, da je njegova vloga za pojav ogljikovega dioksida danes zanemarljiva. Nastali plin potuje skozi zelo globoke razpoke v Zemljini skorji, ki so na območju močnih prelomnih con dobro prevodne, in se hkrati raztaplja v podzemni vodi. Nastane šibka ogljikova kislina, ki raztaplja kamnine, skozi katere se voda pretaka.

Spremenjeno rastje v bližini mest izhajanja ogljikovega dioksida pri mofetah Strmec v Starešincih. Foto: Nina Rman.



Dlje kot se voda pretaka po podzemlju in več plina, kot ga ima, več raztopljenih mineralnih snovi vsebuje, ko priteče na površje. Naravni izviri mineralne vode so poznani že stoletja. Podzemna voda izteka na površje zaradi plinskega dviga, saj jo mehurčki naredijo redkejšo in lažjo. Mineralni vodi Radenska in Donat Mg se stekleničita še danes in se uporabljata kot naravno zdravilno sredstvo. Po izvoru sta padavinski vodi, ki po podzemlju potujeta več tisoč let in vsebujeta nekaj gramov na liter prostega ogljikovega dioksida. Velika količina tega plina omogoča intenzivno raztapljanje slabo sprijetih peskov in meljev v Radencih ter andezitnega tufa v Rogaški Slatini, zato je količina raztopljenih snovi v vodi zelo visoka, več kot 10 gramov na liter.

Mofete v Sloveniji

Veliko redkejše in manj poznane so mofete, katerih natančno število ni poznano, ker še niso sistematično preiskane. V naravi so mofete različno izrazite, kar je deloma odvisno od prisotnosti talne vode. Kadar so tla okoli mofete suha, jo najlažje prepoznamo po spremenjenem travniškem rastlinju. V okolici mest izhajanja ogljikovega dioksida rastejo nižje trave in mahovi, v neposredni bližini pa so rastline posušene. Če je plina veliko, je slišati celo sikanje. Mesta z aktivnim izhajanjem plina zlahka prepoznamo po večjem številu najdenih mrtvih žuželk (na primer muh, hroščev, čebel).

Kadar so kotanje mofet zapolnjene z vodo, kar je pogostejše le po deževju, je izhajanje plina dobro opazno. Na vodni površini se ob manjšem iztoku plina pojavijo posamezni mehurčki, ob večji količini se vidi in sliši brbotanje, ob zelo velikem iztoku pa se vodna površina celo peni.

Stavešinske slepice in mofete Strmec

V gozdu zahodno od Stavešinskega vrha pri Radencih je več mofet. Dve z najmočnejšim iztokom plina, ki glasno brbota, sta opazni v dveh kotanjah premera več kot en meter in sta zapolnjeni z deževnico. Voda v eni slepici je bistra, v drugi pa motna.

Stavešinske mofete Strmec se nahajajo na obeh straneh ceste med Ivanjševci in Stavešinci. Več mofet s premerom nekaj metrov je opaziti na travniku na južni strani ceste. Prepoznamo jih po nižjem rdečkastem rastju, posušeni in počrneli travi ter golih tleh. Po dežju kotanje v premeru do nekaj decimetrov zapolni voda in na njeni površini so opazni mehurčki plina.



*Ena izmed Stavešinskih slepic z brbotajočo vodno površino zaradi velikega dotoka ogljikovega dioksida.
Foto: Nina Rman.*

Stavešinske mofete Strmec običajno nimajo talne vode, da bi videli izhajanje plina. Foto: Nina Rman.

Ivanjševska mofeta

Ob krajevni cesti Stavešinci-Ivanjševci je pod mostom v kanalu Ščavnice na več mestih opazno izhajanje mehurčkov plina, sliši se tudi brbotanje. Ivanjševska mofeta leži med Ivanjševsko slatino in Vrelcem, turistično urejenima vrtinama, ki sta le dve izmed številnih plitvih vrtin za mineralno vodo v okolici.

Mofete Rihtarovci

Več mofet se nahaja na delno preoranem travniku na spodnji murski terasi pod križiščem v Rihtarovcih. So naravna dediščina krajevnega pomena in niso označene s tablami. Prepoznamo jih po manj bujni in počrneli travi ter rdečkastih oborinah na tleh. Ko je travnik poplavljen, so na vodni površini opazni mehurčki izhajajočega plina.

Polička slatina

Slatine na širšem območju med Radenci in Lenartom v Slovenskih goricah lahko razdelimo v dve vrsti. Prvo predstavljajo izviri visoko mineralizirane vode z veliko ogljikovega dioksida, kjer vodna površina živahno brbota. Takšne so na primer Ihovska, Radvenska in Lormanjska slatina, izvir Žekš in druge. V drugem primeru se v manjših kotanjah zadržuje predvsem deževnica, zato voda vsebuje le malo raztopljenih snovi, vanjo pa z različno intenzivnostjo doteka ogljikov dioksid. Medtem ko je dotok plina na območju Lokavske, Ujterske in Verjanske slatine šibak, na širšem območju Poličke slatine plin izhaja v več mofetah na robu travnika pod cesto med Spodnjo Ščavnico in Polico. Omenjene slatine so večinoma zavarovane kot naravne vrednote krajevnega pomena in so redko označene, zato jih je razmeroma težko najti.



Mofeta Polička slatina.

Foto: Nina Rman.

Ledava pri Nuskovi

Mehurčki plina in rdečkaste oborine (najverjetneje železovih mineralov) so najbolj izraziti v potoku Ledava, pod mostom čez potok med Rogašovci in Nuskovo. Območje izhajanja plina vzdolž struge potoka je dolgo nekaj deset metrov. V preteklosti so bili v bližini izviri mineralne vode, bogate z ogljikovim dioksidom, zato so izvrtali nekaj plitvih vrtin. Turistično urejena je 50 metrov globoka vrtina Nu-9, ki je tudi označena z informativnimi tablami.



Odvzem vzorcev plina iz mineralne vode na vrtini Nu-9 v bližini mojst v Ledavi.

Foto: Nina Rman.

Pojav metana

Poleg ogljikovega dioksida je pogost tudi zemeljski plin ali metan. Ta je glavni ali stranski proizvod anaerobnih reakcij, ki potekajo pri preobrazbi velikih količin odmrlih organskih snovi zaradi povišanega pritiska in temperature v Zemljini skorji ter/ali ob sodelovanju bakterij. Metan pogosto nastaja skupaj s premogom ali nafto. Je lažji od zraka in v stiku s kisikom zelo eksploziven. Naravni pojavi metana so že dolgo poznani nad nekaterimi nahajališči nafte in zemeljskega plina. »Božanski ali večni ogenj« že stoletja gori nad naftnim nahajališčem Baba Gurgur v Iraku, v Vodni in Ognjeni jami

pri templju Biyun na Tajvanu ter na gori Himeria južno od Antalije v Turčiji. Goreča tla lahko opazujemo tudi v udornem kraterju v kraju Derweze v Turkmenistanu, ki je nastal na mestu vrtnjanja za zemeljski plin. Izhajajoči metan so zažgali, saj je to običajni način sanacije puščanja plina, a dotok plina po nekaj desetletjih še ni prenehal.

V Sloveniji smo lignit ter rjavi in črni premog od konca 18. stoletja odkopavali v približno 45 premogovnikih, katerih stalni spremljevalec je metan. Eksplozije tega plina so povzročile kar nekaj rudniških nesreč, površinski pojavi metana v Sloveniji pa niso poznani. Nafta in zemeljski plin se še vedno

pridobivata iz globokih naftnih in plinskih vrtin pri Lendavi ter na sosednjem Hrvaškem, vendar je zaradi osiromašenih nahajališč pridobljena količina bistveno manjša, kot je bila sredi prejšnjega stoletja. Pojav metana na površini je bil po drugi svetovni vojni dokumentiran v Sitnicah v Murskem Središču in v Vučkovcu pri Sv. Martinu na Muri na Hrvaškem, kjer je metan povzročal brbotanje vode v plitvih kotanjah in se je ob prisotnosti iskre ali ognja vžgal.

Pojav žlahtnih plinov

Žlahtni plini, kot so helij, neon, argon in radon, so lahko raztopljeni v podzemni vodi ali pa se iz nje izločajo kot prosti plini. Zaradi različnih lastnosti posameznih izotopov so zelo pomembni za prepoznavanje geoloških procesov in paleoklimatskih sprememb. Najpogostejši izotop helija (^4He) nastaja predvsem pri radioaktivnem razpadu urana in torija. Glede na razmerje med izotopoma ^3He in ^4He določamo njegov izvor iz ozračja, sedimenta, Zemljine skorje ali plašča. Kadar je v plinu ali podzemni vodi ugotovljena prisotnost helija iz plašča, to dokazujeta proces razplinjenja metamorfni kamnin in obstoj zelo globokih in prepustnih razpok. Ta pojav je značilen za širše obrobje Alp in opazen v termalni vodi iz severovzhodne Slovenije.

Radioaktivni argon (^{40}Ar) je najpogostejši izotop tega plina in se sprošča pri radioaktivnem razpadu kalija (^{40}K), zato lahko dokazuje večja nakopičenja tega elementa v skorji. Povišane vrednosti argona so bile izmerjene na območju Panonskega bazena v severovzhodni Sloveniji, kjer skupna debelina odloženih peskov, meljev in gline dosega do 4 kilometre.

Koncentraciji argona in neona v podzemni vodi sta odvisni od povprečne temperature zraka v času infiltracije padavinske vode, zato ju uporabljamo pri paleoklimatskih raziskavah. Raziskave so pokazale, da je bila termalna voda v Moravskih Toplicah in Ptuju, ki se črpa iz globine do 1,5 kilome-

tra, infiltrirana v pleistocenu v hladnejšem podnebbju pri povprečni temperaturi zraka 6 do 7 stopinj Celzija. Nasprotno je bila pitna voda, ki se pridobiva iz približno 200 metrov globokih vrtin na Goričkem, infiltrirana pred nekaj sto leti v bistveno toplejšem podnebbju s povprečno temperaturo zraka 15 stopinj Celzija. Danes je povprečna temperatura zraka in plitve podzemne vode 10 do 12 stopinj Celzija.

Radon je radioaktivni žlahtni plin, ki nastaja kot vmesni člen pri radioaktivnem razpadu urana in torija. Zaradi najdaljše razpolovne dobe (3,824 dneva) najpogosteje merijo izotop radona ^{222}Rn . Koncentracija in mobilnost radona v tleh sta odvisni od vsebnosti izvornega elementa v kamnini, njene poroznosti in prepustnosti ter od vlage. Radon se skozi pore seli tudi na daljše razdalje predvsem s pomočjo plinov (dušika, helija, metana, ogljikovega dioksida) ali raztopljen v podzemni vodi. V Sloveniji so najvišje vrednosti radona v talnem zraku izmerjene na kraškem svetu. Ker apnenci in dolomiti ne predstavljajo možnega vira urana oziroma radona, so povišane koncentracije plina pripisane veliki razpokanosti in zakraselosti kamnin ob močnejših tektonskih prelomnicah. Povezavo med neobičajno povišanimi koncentracijami helijevih in radonovih izotopov v termalni vodi na Bledu, v Rogški Slatini in Zatoľminu ter možnostjo napovedovanja potresov na območju aktivnih prelomnih con so preučevali nekaj let, a se metoda (še) ni pokazala za dovolj uporabno. Radon se zadržuje v kletih in pritličjih slabo prezračenih objektov in ima negativen vpliv na zdravje ljudi. Njegovi kratkoživi razpadni produkti, izotopi polonija, svinca in bizmuta, tvorijo kovinske aerosole, ki se odlagajo na stene dihalnih poti, kar lahko povzroča pljučnega raka. Radon v povprečju prispeva več kot polovico letnega učinkovitega odmerka vseh naravnih ionizirajočih sevanj, medtem ko ostali žlahtni plini niso zdravju škodljivi.



Odvzem vzorcev talnega zraka z alfa scintilacijskimi celicami za meritve trenutnih koncentracij radona.

Foto: Petra Zoab Rožič.

Pomen pojavov plinov

Naravni pojavi plinov so pokazatelj geoloških procesov v Zemljini notranjosti in z njimi lahko raziskujemo nastanek in preoblikovanje našega planeta.

Izhajanje ogljikovega dioksida kaže na prisotnost plitvih magmatskih teles ali globokih prepustnih prelomnih struktur in je lahko gospodarsko pomembno. Kot stranski proizvod se nastale mineralne ali termomineralne vode uporabljajo v zdraviliščih za kopanje in/ali za pitje (Donat Mg, Radenska), zajeti in utekočinjeni ogljikov dioksid pa prodajajo za proizvodnjo gaziranih pijač. Stavešinske slepice, mofete Strmec in Ivanjševska mofeta so varovane kot naravna dediščina državnega pomena in so označene s smernimi tablamami kot točke turistične poti

bokih vrtin.

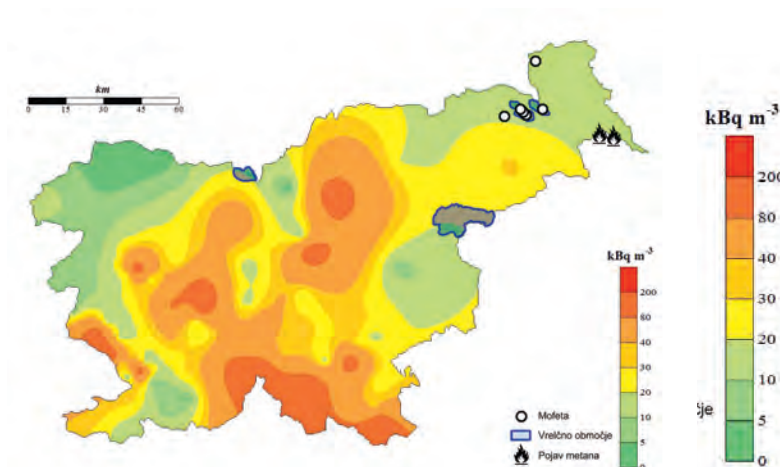
Žlahtne pline uporabljamo predvsem za določanje izvora in zadrževalnega časa podzemne vode, ugotavljanje paleoklimatskih razmer v času pronicanja padavinske vode v tla ter pri raziskavah prepustnosti razpok in prelomov. Na aktivnih tektonskih območjih uporabljamo naravne izpuste radona, ki je zdravju škodljiv plin. Zato je treba v primeru ugotovljenih večjih koncentracij tega plina v prostorih, kjer se zadržujemo, primerno ukrepati (prezračevanje prostorov, sanacije objektov).

Literatura:

Bagar - Povše, M., 2005: Med vrelci življenja: Radenci, obrežje reke Mure, Gornja Radgona, dolina reke Ščavnice. Radenci: TIPG Murska Sobota.

Med vrelci življenja. Opisane so tudi v pripadajočem vodniku. Mofete so zelo pomembne za raziskovanje vpliva podnebnih sprememb (tople grede) na rastline ter preučevanje procesov podzemnega skladiščenja ogljikovega dioksida v boju proti podnebnim spremembam.

Z enakim namenom spodbujajo rabo metana kot najčistejšega fosilnega goriva, s čimer raste potreba po izkoriščanju novih nahajališč zemeljskega plina. Največji plinski potencial Slovenije je v Petišovcih pri Lendavi, kjer bodo metan kmalu pridobivali ne le iz obstoječih vrtin, ampak tudi iz dveh novih 3,5 kilometra glo-



Izokonzentracijska območja radona v talnem zraku, izmerjena z detektorji jedrskih sledi v letu 2007, mesta vrelčnih območij mineralne vode ter mesta mofet in pojavov metana.

Gregorič, A., in sod., 2008: Radon concentration in thermal water as an indicator of seismic activity. *Collegium antropologicum*, 32 (2): 95–98.

Gregorič, A., in sod., 2013: Radon emanation of soils from different lithological units. *Carpatian journal of earth and environmental sciences*, 8 (2): 185–190.

Lapanje, A., Rman, N., 2009: Termalna in termomineralna voda. V: Pleničar, M., in sod.: *Geologija Slovenije*. Ljubljana: GeoZS. 553–560.

Pleničar, M., 1954: Obmurska naftna nahajališča. *Geologija*, 2: 36–93.

Szocs, T., in sod., 2013: The application of isotope and chemical analyses in managing transboundary groundwater resources. *Applied Geochemistry*, 32: 95–107.

Vaupotič, J., in sod., 2007: Radonski potencial v tleh na območjih s povišanimi koncentracijami radona v zaprtih

prostorih (delovno poročilo). Ljubljana: Institut Jožef Stefan.

Zmazek, B., in sod., 2002: Geochemical monitoring of thermal waters in Slovenia: relationships to seismic activity. *Applied Radiation and Isotopes*, 57 (6): 919–930.

Žvab Rožič, P., in sod., 2008: Measurements of radon in soil with Alpha scintillation cells in Slovenia. V: Boev, B., Serafimovski, T.: *Zbornik: prvi kongres na geolozite na Republika Makedonija*. Ohrid: MGD, UGC: 495–502.

Zahvala

Avtorici se zahvalujeta dr. M. Markiču in dr. M. Novaku za informacije o opisanih pojavih.



Nina Rman se je rodila leta 1982. Zaposlena je na Geološkem Zavodu Slovenije in v sklopu mednarodnih projektivnih skupin raziskuje lastnosti čezmejnih geotermalnih vodonosnikov v severovzhodni Sloveniji. Leta 2007 je pridobila podiplomski certifikat o tehnologiji geotermalne energije na Novi Zelandiji, v letu 2013 pa je na Naravoslovnotehniški fakulteti v Ljubljani doktorirala iz vpliva pridobivanja termalne vode na stanje regionalnih geotermalnih vodonosnikov v severovzhodni Sloveniji. V zadnjem času raziskuje pojav mofet v Sloveniji ter razmerja med kamnino, podzemno vodo, plini in mikroorganizmi.



Petra Žvab Rožič se je rodila leta 1982. Kot raziskovalka je zaposlena na Oddelku za geologijo Naravoslovnotehniški fakultete Univerze v Ljubljani. V svojem diplomskem delu se je ukvarjala z meritvami radona v objektih in v talnem zraku ter ugotavljala vzroke za povišane koncentracije v povezavi z razpokanostjo kamnin. Po diplomi je na Centru za radon Inštituta Jožefa Stefana sodelovala pri sistematičnih meritvah radona v talnem zraku in stanovanjskih objektih ter leta 2011 pridobila certifikat na temo Radon v zgradbah: ukrepi za znižanje koncentracije. Leta 2013 je na Naravoslovnotehniški fakulteti doktorirala na področju okoljske geokemije.