

# Izotopska sestava padavin in snega na območju Julijskih Alp in Karavank

Polona Vreča<sup>1</sup>, Mihael Brenčič<sup>2,3</sup>, Iztok Sinjur<sup>4</sup>, Gregor Vertačnik<sup>5</sup>, Manca Volk<sup>6</sup>,  
Jaka Ortar<sup>6</sup>, Anja Torkar<sup>2</sup>, Vekoslava Stibilj<sup>1</sup>, Miha Pavšek<sup>6</sup>

## Povzetek

Padavine in snežna odeja ter njeno taljenje pomembno vplivajo na vodni krog. Da bi poglobili znanje o vplivu talečnega snega na vodno bilanco kraških vodonosnikov v SZ Sloveniji smo v letu 2010 pričeli s podrobnejšimi raziskavami kroženja vode z uporabo izotopov kisika in vodika. V prispevku predstavljamo prve rezultate izotopske sestave padavin in snega na območju Julijskih Alp in Karavank.

Ključne besede: padavine, sneg, izotopska sestava, kisik, tritij

Key words: precipitation, snow, isotopic composition, oxygen, tritium

## Uvod

Spremljanje snežne odeje v Sloveniji kaže, da je njeno trajanje vse krajše, zmanjšuje se njena vodnatost, sneg pa se pričinja taliti prej. To se posledično odraža na celotnem odtoku (Dolinar et al., 2008, Frantar et al., 2008). Kljub pomembnosti vpliva snega na vodno bilanco, so njegove lastnosti ter prostorska in časovna spremenljivost še vedno relativno slabo raziskane.

Snežna odeja skozi daljše časovno obdobje zadrži večje količine vode, zato predstavlja v pomladnih mesecih njeno taljenje v visokogorju pomemben del napajanja tako vodonosnikov, kot tudi površinskih vodotokov. Snežna odeja in njeno taljenje se prostorsko in časovno zelo spreminjata. Za napajanje vodonosnikov je ključno, da se snežna odeja tali počasi. Pri tem je infiltracija vode v tla stabilnejša in učinkovitejša, zaradi česar pride do večjega obnavljanja zaloga podzemne vode kot v primeru hitrega površinskega odtoka. Natančna bilanca snega je pomembna tudi za ugotavljanje napajalnega zaledja in zadrževalnih časov različnih komponent vodnega kroga. Tako v hidroloških modelih vodna bilanca snega na visokogorskih območjih predstavlja ključ za razumevanje sistema in je pomembna za varovanje alpskih vodnih virov in ugotavljanje njihove stabilnosti.

Za sledenje kroženja vode lahko uporabljamo naravne izotope kisika in vodika, ki predstavljajo uporabno naravno sledilo in se danes vse pogosteje uporabljajo na področju hidroloških raziskav (Vreča in Brenčič, 2009). Če določimo izotopsko sestavo padavin, podzemnih vod, izvirov in površinskih vodotokov, nam to omogoča sledenje njihove poti skozi vodni krog. V visokogorju nam izotopi lahko pomagajo določiti tudi procese preobrazbe snežne odeje in taljenja, ki spremenijo začetno izotopsko sestavo snega. Poleg območja napajanja lahko s pomočjo izotopov določimo tudi sezonsko odvisnost napajanja

---

<sup>1</sup> Odsek za znanosti o okolju, Institut »Jožef Stefan«, Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana; polona.vreca@ijs.si

<sup>2</sup> Oddelek za geologijo, Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, Aškerčeva cesta 12, 1000 Ljubljana

<sup>3</sup> Oddelek za hidrogeologijo, Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana

<sup>4</sup> Gozdarski inštitut Slovenije; Večna pot 2, 1000 Ljubljana

<sup>5</sup> Urad za meteorologijo, Agencija Republike Slovenije za okolje; Vojkova 1b, 1000 Ljubljana

<sup>6</sup> Geografski inštitut Antona Melika, Gosposka ulica 13, 1000 Ljubljana

vodonosnikov, zadrževalne čase, velikost vodonosnika, hitrost mešanja in kroženje vode kot tudi starost vod.

Kljub veliki uporabnosti naravnih izotopov v raziskavah kroženja vode so bile tovrstne tehnike v Sloveniji na območju visokogorja uporabljene le redko. Dosedanje raziskave izotopske sestave padavin, površinskih in podzemnih vod v Sloveniji (npr. Brenčič in Poltnig, 2008, Ogrinc et al., 2008, Vreča et al. 2006, 2007, 2008) so pokazale, da izotopske raziskave omogočajo boljše razumevanje kroženja vode, vendar se je potrebno v prihodnosti osredotočiti na podrobnejše raziskave, predvsem območij s pomembnimi vodonosniki. Zato smo leta 2010 pričeli s podrobnejšimi raziskavami kroženja vode na območju Julijskih Alp in Karavank. Njihov glavni namen je poglobiti znanje o vplivu talečega snega na infiltracijo in napajanje kraških vodonosnikov in na dinamiko izvirov, ki se iz teh vodonosnikov napajajo. V članku predstavljamo prve rezultate izotopskih raziskav padavin in snega na območju Julijskih Alp in Karavank.

### **Območje raziskav in metode dela**

Raziskave potekajo na območju SZ Slovenije, na območju Julijskih Alp ter v Karavankah. Podnebne značilnosti območja raziskav so povzete po Dolinar (2010) in podatkih Meteorološkega arhiva Agencije RS za okolje (v nadaljevanju ARSO).

Podnebje slovenskih Alp je ostro, s svežimi poletji in mrzlimi zimami ter pogostimi padavinami. V visokogorju je običajno najhladnejši mesec februar, najtoplejša pa meseca julij in avgust. Na Kredarici je v obdobju 1981-2010 povprečna februarska temperatura znašala  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$  in v najtoplejših dveh poletnih mesecih  $+7\text{ }^{\circ}\text{C}$ . V slabo prevetrenih alpskih dolinah s pogostim temperaturnim obratom je zima le malo hladnejša kakor v visokogorju, zato pa so poletja tudi za  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  toplejša. Poleg splošnega padca temperature zraka z višino, na temperaturno sliko močno vpliva reliefna razgibanost površja. V jasnih in mirnih nočeh se na planotah, še bolj pa v kotanjah, prizemna plast zraka močno ohladi. V mraziščih, kjer je ta pojav najbolj izrazit, lahko temperatura zraka preko noči pade za več kot  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Vertačnik et al., 2007). Ta krajevna temperaturna raznolikost pomembno vpliva tudi na preobrazbo snežne odeje.

Padavin je poleti, še bolj pa jeseni, veliko, pozimi pa jih je precej manj. Obilne padavine so najpogosteje posledica jugozahodnega vetra, ki običajno prinaša vlažno in toplo zračno maso. Ob prisilnem dvigu prek gorskih pregrad se presežek vodne pare izloča v obliki bolj ali manj intenzivnih padavin. Ta proces je najbolj izrazit v južnih in zahodnih Julijskih Alpah, precej manj pa v ostalem delu Alp. V najbolj namočenih predelih Posočja pade tudi prek 4000 mm padavin letno, v Zgornjesavski dolini pa le še okoli 1500 mm. V poletnem času za izdatne padavine skrbi konvekcija.

Glede na nadmorsko višino se spreminja časovna porazdelitev sneženja in snežne odeje. V visokogorju je sneženje možno vse mesece v letu, v dolinah pa prvi sneg običajno zapade oktobra ali novembra. Najobilnejše je sneženje od decembra do marca, v visokogorju tudi aprila. Povprečna mesečna vsota dnevnih višin novozapadlega snega je v zimskih mesecih v Ratečah okoli pol metra, na Voglu blizu enega metra in na Kredarici od metra do metra in pol. Na Kredarici je višek snežne odeje najpogosteje v aprilu in doseže okoli 4 metre. Med posameznimi leti so velike razlike, v skrajnih primerih je največja sezonska debelina snežne odeje manj kot dva metra ali več kot šest metrov. Na 1500 m je snega bistveno manj, v Julijskih Alpah je sezonski višek okoli dva metra, v Karavankah pa nekoliko manj. V alpskih dolinah se vrednost večinoma že spusti pod en meter višine. Letno trajanje snežne odeje hitro upada z nadmorsko višino: na Kredarici sneg prekriva tla okoli 260 dni na leto, na Voglu okoli 170 dni in v Ratečah 120 dni. Trajanje ni odvisno

zgolj od nadmorske višine, temveč tudi od nagnjenosti površja in morebitnega prispevka plazov.

Podnebje slovenskih Alp se je v zadnjih desetletjih znatno segrelo, povprečno za okoli 0,3 °C na desetletje. Ogreli so se vsi letni časi, le v jeseni sprememba še ni statistično značilna. Debelina in trajanje snežne odeje sta se zaradi višjih temperatur zmanjšali.

Na območju raziskav smo v sodelovanju z ARSO v letu 2010 vzpostavili vzorčenje mesečnega kompozita padavin za izotopske analize vode in sicer na petih različnih lokacijah:

- Kredarica (46°23' N, 13°51' E, 2514 m) – glavna meteorološka postaja;
- Rateče (46°30' N, 13°43' E, 864 m) – glavna meteorološka postaja;
- Bohinjska Čేశnjica (46°18' N, 13°57' E, 592 m) – klimatološka postaja;
- Podljubelj (46°24' N, 14°17' E, 650 m) – padavinska postaja;
- Zgornja Radovna (46°26' N, 13°57' E, 750 m) – padavinska postaja.

Na meteoroloških postajah Kredarica, Rateče, Bohinjska Čేశnjica in Podljubelj smo pričeli meriti izotopsko sestavo padavin marca 2010, v Zgornji Radovni pa aprila 2010.

Z raziskavami snega smo pričeli januarja 2011, ko smo izvedli prva vzorčenja v snežnih izkopih na Planini Javornik na Pokljuki in v mrzlišču Mrzla Komna na Lepi Komni. Na Pokljuki smo na Planini Javornik in v bližnjem gozdu izvedli dodatna vzorčenja v februarju in aprilu 2011 (Vreča et al., 2011, 2012). V letu 2012 smo izvedli vzorčenja snega januarja v mrzlišču Luknja na Komni, februarja na Planini Javornik ter marca v gozdu ob Planini Javornik in na Kredarici v bližini meteorološke postaje. V marcu smo opravili tudi nekaj vzorčenj snežnih izkopov v Karavankah na Zelenici in v mrzlišču Sklede. Vzorčenje na Kredarici in Zelenici je bilo izvedeno na pobočjih. Globina izkopa na Kredarici je znašala 200 cm, kar je 80 cm več kot višina snežne odeje izmerjene na meteorološki postaji 1. 3. 2012 (Cegnar, 2012 a). Dejanska globina snežne odeje na Zelenici je znašala 265 cm, vzorčenje pa smo izvedli zgolj v zgornjih 185 cm izkopa. Vzorčenje snega za izotopske analize kisika, za katere zadošča zelo majhna količina vzorca (nekaj mL), je potekalo na vseh lokacijah po globini snežnih izkopov. Za določitev tritija potrebujemo mnogo več vzorca (približno 0,5 L), zato smo vzorčili kompozitne vzorce snega le na Planini Javornik pozimi 2011.

Pri vzorčenju snega se pojavljajo določene težave, ki so povezane z nehomogenostjo snežne odeje, ledenimi plastmi znotraj snežne odeje, veliko spremenljivostjo višine snežne odeje, sekundarnimi tvorbami na površini in dostopnostjo vzorčnih mest.

V zbranih vzorcih je bila na Institutu »Jožef Stefan« določena izotopska sestava kisika in tritija. Izotopska sestava kisika ( $\delta^{18}\text{O}$ ) je bila merjena na masnem spektrometru s kontinuirnim pretokom IsoPrime (GV Instruments) s preparativnim nastavkom MultiFlow Bio po uravnoteženju sistema voda-CO<sub>2</sub>. Pri meritvah se uporabljajo laboratorijski standardi, ki so periodično kalibrirani z mednarodnimi standardi priporočenimi s strani IAEA. Izotopsko sestavo oziroma razmerje med težjim in lažjim stabilnim izotopom podajamo v obliki vrednosti  $\delta$  (delta), ki jih izrazimo v tisočinkah (‰), relativno glede na mednarodni standard V-SMOW (Vienna - Standard Mean Ocean Water). Vrednosti  $\delta$  izračunamo s pomočjo enačbe:

$$\delta^{YZ} [\text{v ‰}] = (R_x / R_s - 1) \cdot 1000$$

kjer  $^{YZ}$  predstavlja  $^{18}\text{O}$ ,  $R$  razmerje med težkim (manj pogostim) in lažjim (bolj pogostim) izotopom (npr.  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ), simboli  $R_x$  in  $R_s$  pa predstavljajo razmerja v vzorcu (x) in standardu (s). Pozitivna vrednost  $\delta$  pomeni, da je izotopsko razmerje  $R$  v vzorcu višje od razmerja v standardu, iz česar sledi, da je vzorec "težji" ali obogaten glede na standard.

Negativna vrednost  $\delta$  pomeni, da je izotopsko razmerje vzorca nižje od izotopskega razmerja v standardu, vzorec je "lažji" ali osiromašen.

Specifična aktivnost tritija je bila merjena na tekočinskem scintilacijskem števcu (TriCarb 3170 TR/SL, Canberra Packard) po predhodni predkoncentraciji tritija z uporabo elektrolizne obogatitve. Metoda je akreditirana pri Slovenski akreditaciji v obsegu podanem v akreditacijski listini LP-090. V prispevku so rezultati podani v tritijevih enotah ( $1 \text{ TU} = 0,118 \text{ BqL}^{-1}$ ), ki se običajno uporabljajo v izotopski hidrologiji.

## Rezultati

Rezultati izotopskih raziskav padavin in snega (minimalne, maksimalne in povprečne vrednosti) so zbrani v Preglednicah 1 in 2. Spreminjanje izotopske sestave kisika in tritija v padavinah za obdobje od marca 2010 do julija 2012 je grafično prikazano na Slikah 1 in 2, na Sliki 3 pa je prikazano spreminjanje količine padavin in temperature zraka. V letu 2011 in 2012 so bile občasno količine padavin tako majhne, da analiz tritija nismo opravili. Tako manjkajo v Ratečah, Bohinjski Češnjici, Podljubelju in Zgornji Radovni podatki za november 2011 in marec 2012, na zadnjih treh postajah pa tudi za februar 2012.

Preglednica 1. Izotopska sestava padavin v obdobju od aprila 2010 do julija 2012

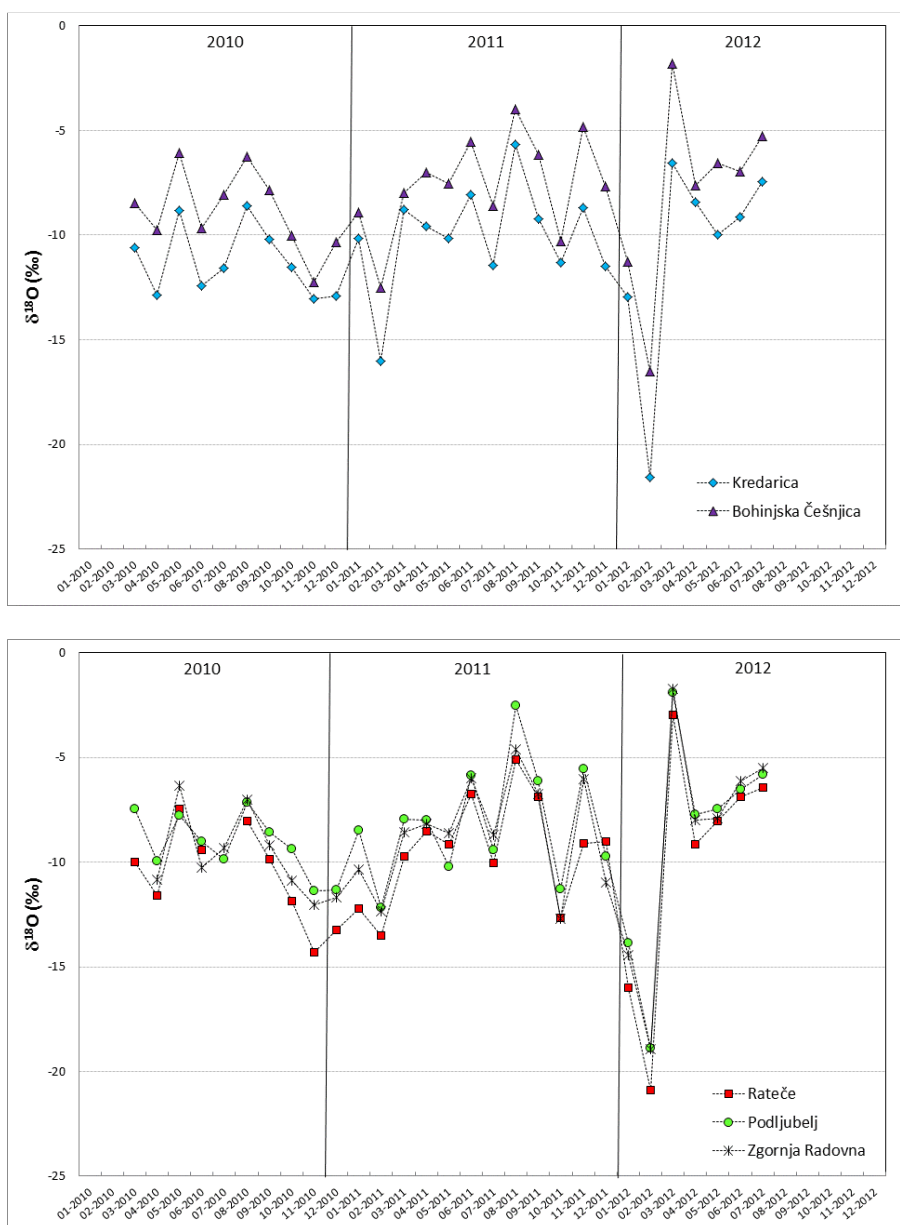
Lokacija	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)			$^3\text{H}$ (TU)		
	minimum	maksimum	povprečje	minimum	Maksimum	povprečje
Kredarica	-21,6	-5,7	-10,7	4,1	16,3	8,8
Rateče	-20,9	-3,0	-10,0	3,3	15,7	8,5
Bohinjska Češnjica	-16,5	-1,8	-8,1	3,3	15,5	8,4
Podljubelj	-18,9	-1,9	-8,7	3,4	16,4	8,9
Zgornja Radovna	-18,9	-1,7	-9,1	3,8	16,2	8,6

Preglednica 2. Izotopska sestava snega vzorčenega leta 2011 in 2012

Lokacija	Datum vzorčenja	Globina izkopa (cm)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)		
			minimum	maksimum	povprečje
Planina Javornik	14. 1. 2011	48	-16,8	-8,9	-13,2
Planina Javornik – gozd	15. 1. 2011	56	-18,5	-9,6	-13,9
Mrzla Komna	15. 1. 2011	118	-17,2	-10,7	-13,8
Planina Javornik	18. 2. 2011	83	-19,0	-8,5	-13,3
Planina Javornik – gozd	10. 4. 2011	19	-11,5	-9,1	-10,7
Mrazišče Luknja	21. 1. 2012	55	-16,3	-7,4	-10,8
Planina Javornik	8. 2. 2012	35	-25,4	-13,7	-19,2
Planina Javornik	19. 2. 2012	20	-17,0	-10,9	-14,4
Kredarica	2. 3. 2012	200	-15,7	-9,2	-11,8
Planina Javornik – gozd	3. 3. 2012	8,5	-13,3	-12,1	-12,6
Zelenica	7. 3. 2012	185	-22,6	-13,1	-18,5
Mrazišče Sklede 1	8. 3. 2012	70	-18,4	-10,0	-13,8
Mrazišče Sklede 2	8. 3. 2012	46	-19,0	-8,5	-12,5

Izotopska sestava kisika v padavinah se spreminja od -21,6 do -1,7 ‰ (Preglednica 1). Najnižje vrednosti so značilne za Kredarico, najvišje vrednosti pa so bile izmerjene v

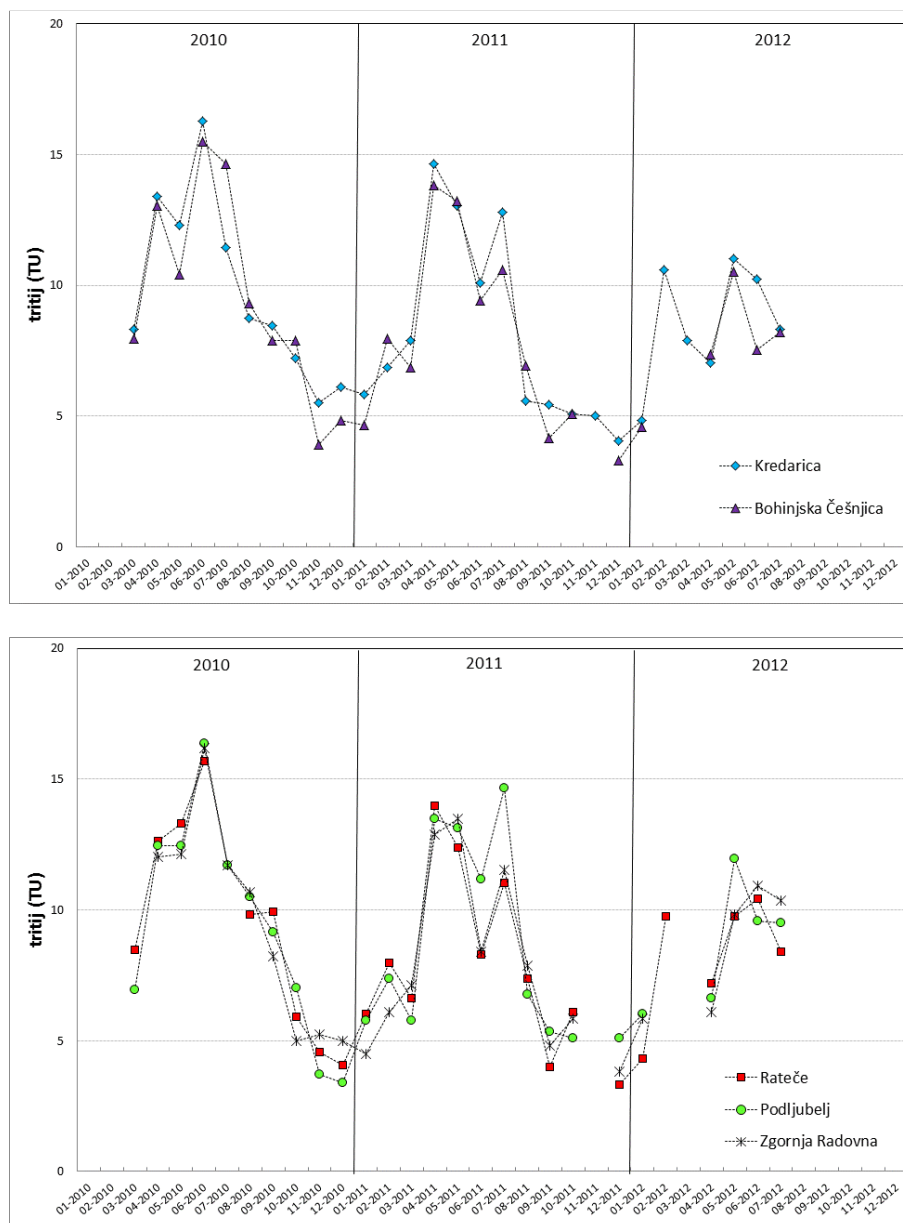
Zgornji Radovni, vendar so razlike med postajami, ki ležijo pod nadmorsko višino 600 m, relativno majhne. Izotopska sestava kisika je v padavinah najvišja poleti in najnižja pozimi, kar je povezano predvsem s sezonskim spreminjanjem temperature zraka, količine padavin in zračne vlage. Dosedanji rezultati kažejo na znatne razlike med posameznimi leti (Slika 1). Te so povezane s temperaturo zraka in tudi količino padavin, ki je bila v opazovanem obdobju zelo raznolika (Slika 3). Leto 2011 je bilo v primerjavi z letom 2010 mnogo bolj suho, suša pa se je nadaljevala vse do aprila 2012 (Cegnar, 2012 a, b). Velike spremembe v izotopski sestavi padavin opazimo v prvih treh mesecih leta 2012 (Slika 1), ko je bilo padavin izredno malo (Slika 3). Dodatno so na izotopsko sestavo padavin vplivale vremenske razmere v februarju, ki je bil zelo hladen in vetroven, in v marcu, ki je bil nadpovprečno topel. V teh dveh mesecih smo zabeležili tudi najnižjo in najvišjo izotopsko sestavo kisika v padavinah (Preglednica 1).



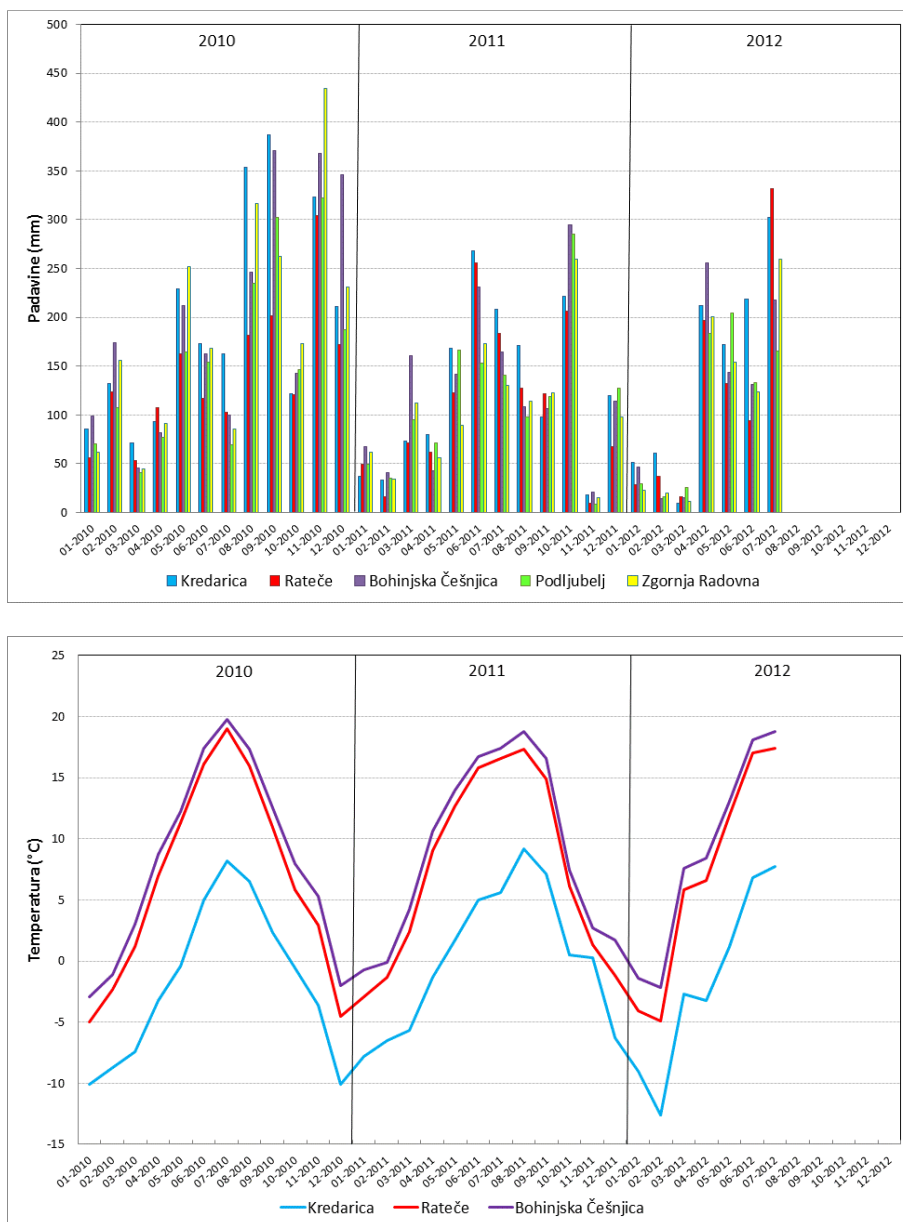
Slika 1. Izotopska sestava kisika v padavinah

Poleg temperature in količine padavin vplivajo na izotopsko sestavo padavin zračne mase različnega izvora (Araguas-Araguas et al., 2000). Ker prihaja na območju Alp do mešanja zračnih mas, bo boljša interpretacija možna, ko bomo določili tudi izotopsko sestavo vodika in devterijev presežek (Vreča in Brenčič, 2009) ter podrobneje analizirali posamezne padavinske dogodke.

Sezonsko spreminjanje aktivnosti tritija v padavinah je prikazano na Sliki 2 in ustreza spremembam značilnim za severno poloblo z najvišjimi aktivnostmi poleti (Rozanski et al., 1991). Najnižje vrednosti smo izmerili na Kredarici, v Ratečah, Bohinjski Češnjici in Zgornji Radovni decembra 2011, v Podljubelju pa decembra 2010. Najvišje vrednosti smo na vseh postajah izmerili junija 2010. Povprečne aktivnosti tritija se gibljejo med 8,4 in 8,9 TU (Preglednica 1) in so nekoliko nižje kot dolgoletno povprečje za Ljubljano (Vreča et al., 2008).



Slika 2. Izotopska sestava tritija v padavinah



Slika 3. Mesečna količina padavin in temperatura zraka

Rezultati raziskav snežnih izkopov so zbrani v Preglednici 2, kjer so prikazane minimalne, maksimalne in povprečne vrednosti izotopske sestave kisika. V letu 2010 smo sneg vzorčili v petih izkopih. Spremenljivost izotopske sestave kisika z globino profilov je velika in lahko znaša tudi več kot 10 %, razponi pa so večji kot razponi vrednosti izotopske sestave padavin (Slika 1). Razlika je posledica tega, da se v snežni odeji zabeležijo posamezni padavinski dogodki, rezultati izotopske sestave padavin pa predstavljajo mesečne kompozite in s tem mešanico različnih dogodkov. Povprečne vrednosti v izkopih, ki smo jih vzorčili januarja in februarja na Pokljuki in Komni, so zelo podobne, vrednosti izmerjene aprila na Pokljuki pa so višje in so posledica preobrazbe in taljenje snega (Preglednica 2). Aktivnosti tritija so se gibale med 4 in 6 TU in se ujemajo z izotopsko sestavo zimskih padavin (Slika 2). Podrobnejših raziskav tritija v snegu nismo izvajali.

V letu 2012 smo opravili raziskave osmih snežnih izkopih na območju Julijskih Alp in Karavank. Tudi v teh izkopih smo opazili znatne spremembe izotopske sestave kisika z

globino, ki pa so bile drugačne kot v letu 2011. Vrednosti  $\delta^{18}\text{O}$  v vseh analiziranih vzorcih se gibljejo med  $-25,4$  in  $-7,4$  ‰ (Preglednica 2). Glavni razlog za razlike so bili drugačni podnebni pogoji. Nizke vrednosti izotopske sestave kisika so povezane predvsem z zelo nizkimi temperaturami zraka februarja 2012. Poleg tega je bilo padavin zelo malo, snežna odeja pa je bila večinoma zelo skromna (Cegnar, 2012a) in slabo preobražena, na kar je vplival februarja tudi močan veter, ki je delal zamete. Podrobnejše analize zbranih podatkov so v teku.

## Zaključek

Prvi rezultati raziskav izotopske sestave padavin in snega na območju Julijskih Alp in Karavank kažejo na veliko časovno in prostorsko spremenljivost, ki jo je potrebno podrobneje raziskati. Načrtujemo nadaljevanje raziskav izotopske sestave padavin in podrobnejše raziskave snega v letu 2013, pri čemer se bomo osredotočili predvsem na raziskave snežnih profilov na širšem območju Planine Javornik na Pokljuki ter na območju Zgornje Radovne. V kolikor bo možno, bodo vzorčenja snežnih profilov izvedena tudi drugod (npr. Komna, Kredarica, Zelenica itd.). Poleg vzorčenja debelejših snežnih plasti je izredno pomembno podrobno vzorčenje, ki omogoča boljšo opredelitev procesov v snežni odeji in s tem opredelitev bilance snega ter njenega vpliva na odtok.

## Zahvala

Avtorji se zahvaljujemo za dragoceno pomoč pri izvedbi vzorčenja padavin sodelavcem ARSO in osebju meteoroloških postaj Kredarica, Rateče, Bohinjska Češnjica, Podljubelj in Zgornja Radovna. Sergeju A. Sokratovu iz Državne univerze M. V. Lomonosov v Moskvi se zahvaljujemo za številne koristne napotke v zvezi z izotopskimi raziskavami snega, Andreju Rekarju in Zvonetu Sinkoviču za opravljeno vzorčenje snežnega izkopa na Kredarici, Stojanu Žigonu in Barbari Svetek pa za dragoceno pomoč pri izotopskih analizah. Raziskave potekajo v okviru nacionalnih raziskovalnih programov (P1-0143, P1-0020), v okviru slovensko – ruske bilateralne sodelave (BI-RU/12-13-024) in IAEA projekta 16199/R0.

## Literatura

- Araguas-Araguas, L., Fröhlich, K., Rozanski, K. (2000). Deuterium and oxygen-18 isotope composition of precipitation and atmospheric moisture. *Hydrol. Process.* 14: 1341-1355.
- Brenčič, M., Poltnig, W. (2008). Podzemne vode Karavank: skrito bogastvo = Grundwasser der Karawanken: Versteckter Schatz. Ljubljana: Geološki zavod Slovenije; Graz: Joanneum Research Forschungsgesellschaft, 144 p.
- Cegnar, T. (2012 a). Naše okolje, Bilten Agencije RS za okolje, letnik XIX, št. 3.
- Cegnar, T. (2012 b). Naše okolje, Bilten Agencije RS za okolje, letnik XIX, št. 4.
- Dolinar, M., Frantar, P., Kurnik, B. (2008). Značilnosti vodne bilance Slovenije v obdobju 1971-2000. *Mišičev vodarski dan 2008*, 19-25.
- Dolinar, M. (2010). Spremenljivost podnebja v Sloveniji. Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje, 12 p.
- Frantar, P., Nadbath, M., Ulaga, F. (2008). Vplivni dejavniki na vodno bilanco. In Frantar P., Ed., *Vodna bilanca Slovenije 1971-2000*. Ljubljana. Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje, 15-27.



- Meteorološki arhiv Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO) in <http://meteo.si>
- Ogrinc, N., Kanduč, T., Stichler, W., Vreča, P. (2008). Spatial and seasonal variations in  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^2\text{H}$  values in the river Sava in Slovenia. *Journal of Hydrology* 359: 303-312.
- Rozanski, K., Gonfiantini, R., Araguas-Araguas, L. (1991). Tritium in the global atmosphere: distribution patterns and recent trends. *Journal of Physics G* 17: S523-S536.
- Vertačnik, G., Sinjur, I., Ogrin, M. (2007). Temperature comparison between some Alpine dolines in winter time. 29th International Conference on Alpine Meteorology. Chambéry, France. [http://www.cnr-meteo.fr/icam2007/ICAM2007/extended/manuscript\\_95.pdf](http://www.cnr-meteo.fr/icam2007/ICAM2007/extended/manuscript_95.pdf)
- Vreča, P., Krajcar Bronić, I., Horvatinčić, N., Barešić, J. (2006). Isotopic characteristics of precipitation in Slovenia and Croatia: Comparison of continental and maritime stations. *Journal of Hydrology* 330: 457-469.
- Vreča, P., Brenčič, M., Leis, A. (2007). Comparison of monthly and daily isotopic composition of precipitation in the coastal area of Slovenia. *Isotopes in Environmental and Health Studies* 43: 307-321.
- Vreča, P., Krajcar Bronić, I., Leis, A., Brenčič, M. (2008). Isotopic composition of precipitation in Ljubljana (Slovenia). *Geologija* 52: 169-180.
- Vreča, P., Brenčič, M. (2009). Izotopska sestava padavin v Sloveniji in njen pomen za raziskave kroženja vode. *Raziskave s področja geodezije in geofizike 2008*, Ljubljana, 7-18.
- Vreča, P., Brenčič, M., Sinjur, I., Vertačnik, G. (2011). Stratigrafija snežnih profilov na Planini Javornik in Mrzli Komni. *Geološki zbornik* 21, Ljubljana, str. 154.
- Vreča, P., Brenčič, M., Sinjur, I., Sokratov, S.A. (2012). Detail isotopic stratigraphy of snowpack - case study from Julian Alps (Slovenia). *Geophysical Research Abstracts*, Vienna, vol. 14, str. 5893.