

O IZOTOPIH KISIKA IN OGLJIKA  
V JAMSKIH VODAH IN SIGAH SLOVENIJE

(S 3 SLIKAMI)

ISOTOPIC COMPOSITION OF OXYGEN AND CARBON  
IN CAVE WATER AND SPELEOTHEMS OF SLOVENIA

(WITH 3 FIGURES)

JANKO URBANC  
JOŽE PEZDIČ  
TADEJ DOLENEC  
SILVA PERKO

SPREJETO NA SEJI  
RAZREDA ZA NARAVOSLOVNE VEDE  
SLOVENSKE AKADEMIJE ZNANOSTI IN UMETNOSTI  
DNE 31. OKTOBRA 1985

---

## Vsebina

Izveček — Abstract . . . . .	101 ( 3)
UVOD . . . . .	101 ( 3)
MERJENJE IZOTOPSKE SESTAVE KISIKA N OGLJIKA . . . . .	101 ( 3)
VARIABILNOST IZOTOPOV KISIKA IN OGLJIKA V SIGAH . . . . .	102 ( 4)
1. Temperaturna odvisnost izotopske sestave kisika v kalcitu . . . . .	102 ( 4)
2. Izotopska sestava ogljika v sigi . . . . .	103 ( 5)
IZOTOPSKA SESTAVA KISIKA IN OGLJIKA V SIGAH IZ NEKATERIH SLOVENSКИH JAM . . . . .	104 ( 6)
1. Vzorci in analize . . . . .	104 ( 6)
SKLEP . . . . .	110 (12)
LITERATURA . . . . .	111 (13)
ISOTOPIC COMPOSITION OF OXYGEN AND CARBON IN CAVE WATER AND SPELEOTHEMS OF SLOVENIA (Summary) . . . . .	112 (14)

Naslov — Address

Janko URBANC, Jože PEZDIČ, Tadej DOLENEC, Silva PERKO  
Inštitut Jožef Stefan  
61000 Ljubljana  
Jugoslavija

**Izvleček**

UDC 546.21.027:551.44(497.12)  
546.26.027:551.44(497.12)  
551.44(497.12):54.027

**Urbanc J., Pezdič J., Dolenc T., Perko S.: O izotopih kisika in ogljika v jamskih vodah in sigah Slovenije**

Raziskave recentnih sig naj bi pokazale uporabnost izotopskih metod za kvantitativno ugotavljanje klimatskih pogojev, poleg tega pa prikazale variabilnosti izotopske sestave kisika in ogljika v nekaterih jamskih sigah iz Slovenije.

**Abstract**

UDK 546.21.027:551.44(497.12)  
546.26.027:551.44(497.12)  
551.44(497.12):54.027

**Urbanc J., Pezdič J., Dolenc T., Perko S.: Isotopic composition of oxygen and carbon in cave waters and speleothems of Slovenia**

The investigations of recent speleothems should indicate the applicability of isotope methods for quantitative inference of climatic conditions showing at the same time the variability of isotopic oxygen and hydrogen composition in some cave formations in Slovenia.

## UVOD

Jamski karbonati oziroma sige večinoma nastajajo v globljih delih jam, kjer so temperaturna nihanja zelo majhna. Ugotovljeno je, da sta temperaturi jamskega zraka in sigotvorne vode približno enaki srednji letni temperaturi območja, na katerem leži jama (Gams, 1974). Ker na podlagi izotopske sestave kisika in ogljika v sigah lahko sklepamo o temperaturah, pri katerih so le-te nastajale in o vegetacijskih značilnostih površja nad jamo, se v sorazmerno počasi nastajajočih sigah odražajo spremembe povprečnih temperatur v jami in površju nad njo skozi daljša časovna obdobja. Zaradi odvisnosti med klimatskimi spremembami in variabilnostjo izotopske sestave kisika in ogljika v sigotvorni vodi in sigah lahko s pomočjo izotopske analize različno starih sig interpretiramo paleoklimatske pogoje.

Z raziskavami recentnih sig smo skušali dokazati uporabnost izotopskih metod za kvantitativno ugotavljanje klimatskih pogojev, poleg tega pa prikazati še variabilnosti izotopske sestave kisika in ogljika v nekaterih drugih sigah iz slovenskih jam.

## MERJENJE IZOTOPSKE SESTAVE KISIKA IN OGLJIKA

Izotopsko sestavo ugotavljamo z masnim spektrometrom, ki v vzorcih meri deleže posameznih izotopov. Na Inštitutu Jožef Stefan v te namene uporabljamo spektrometer Varian Mat 250 z natančnostjo  $\pm 0,1\%$ . Rezultate podajamo v promilih glede na mednarodne izotopske standarde; za vodo se uporabljata standard SMOW, ki je sestava povprečne oceanske vode, za karbonate in hidrokarbonate iz vode pa pri paleotemperaturnih analizah običajno uporabljamo standard PDB z izotopsko sestavo belemnita Belemnitella Ameri-

cana iz Južne Karoline v ZDA. Številčna vrednost nam pove, za koliko promilov se izotopska sestava vzorca razlikuje od sestave standarda.

Vzorci moramo pred merjenjem primerno pripraviti. Karbonate pretvorimo v CO<sub>2</sub> in temu izmerimo izotopsko sestavo, vodo izotopsko uravnovežimo s standardnim CO<sub>2</sub>, medtem ko hidrokarbonate oborimo iz vode z NaOH ter CaCl<sub>2</sub> in oborino zopet pretvorimo v CO<sub>2</sub>. Podrobnejše informacije o pripravi vzorcev, merjenju njihove izotopske sestave ter interpretaciji rezultatov lahko najdemo v literaturi s tega področja (Hoefs, 1980, Faure, 1977).

## VARIABILNOST IZOTOPOV KISIKA IN OGLJIKA V SIGAH

### 1. Temperaturna odvisnost izotopske sestave kisika v kalcitu

Sprememba temperature ob kristalizaciji kalcita v sigi neposredno vpliva na razmerja izotopov v njej, saj je H. C. Urey ugotovil, da je faktor izotopske frakcionacije kisika v sistemu kalcit-voda funkcija temperature. Preprosteje povedano, kalcit, ki je nastal iz vode z določeno izotopsko sestavo kisika, bo ob višji temperaturi obogaten z lažjim kisikovim izotopom, ob nižji temperaturi pa s težjim.

Za računanje temperature na podlagi izotopske sestave kisika v kalcitu obstaja več enačb, katerih rezultati se med seboj le nekoliko razlikujejo. Za naše razmere se je kot najprimernejša izkazala enačba, ki so jo za računanje temperaturne odvisnosti s pomočjo faktorja izotopske frakcionacije kisika v sistemu kalcit—voda razvili O'Neil in sodelavci (1969).

$$1000 \cdot \ln \alpha = 2,78 \cdot 10^6 \cdot T^{-2} - 3,4 \quad (1)$$

Temperatura je izražena v stopinjah Kelvina.  $\alpha$  je faktor izotopske frakcionacije ravnotežja v sistemu kalcit—voda. Lahko ga izračunamo iz izraza

$$\alpha = \frac{\delta^{18}\text{O}_{\text{sige}} + 1000}{\delta^{18}\text{O}_{\text{vode}} + 1000} \quad (2)$$

Drugo podobno enačbo podaja Craig (1965)

$$T^{\circ}\text{C} = 16,9 - 4,2 (\delta^{18}\text{O}_c - \delta^{18}\text{O}_w) + 0,13 (\delta^{18}\text{O} - \delta^{18}\text{O}_w)^2 \quad (3)$$

$\delta^{18}\text{O}_c$  — izotopsko razmerje kisika v sigi

$\delta^{18}\text{O}_w$  — izotopsko razmerje kisika v vodi glede na isti standard kot pri sigi.

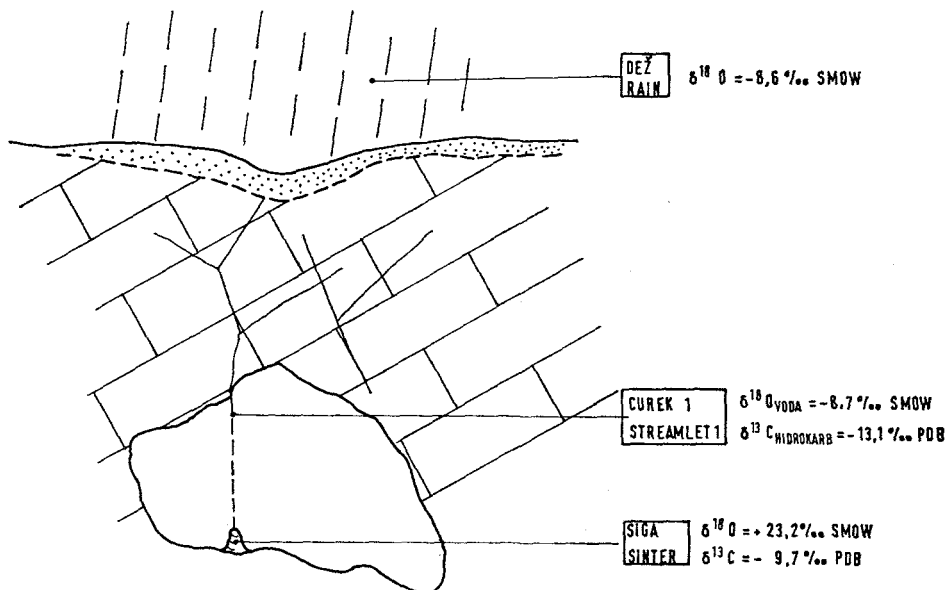
Iz obeh enačb vidimo, da moramo za izračun temperature nastanka kalcita poleg izotopske sestave kisika v kalcitu poznati tudi izotopsko sestavo kisika v vodi, iz katere je kalcit nastajal. Sigotvorna voda v jami nima vseskozi konstantne izotopske sestave kisika, ampak se med letom nekoliko spreminja v odvisnosti od padavin in vegetacije nad jamo. Ker jamske sige večinoma nastajajo skozi vse leto (Gams, 1974), je najprimerneje vzeti večletno povprečje izotopske sestave vode. Ugotovili smo namreč, da je povprečna letna izotopska sestava kisika v sigotvornih vodah približno enaka povprečni letni sestavi padavin, le da so nihanja v izotopski sestavi sigotvorne vode dosti manjša (Pezdič, 1984), poleg tega pa je znano, da se v zmerno humidnih področjih pov-

prečna letna sestava padavin le malo spreminja (poročilo IAEA, 1981). Za obdobja nespremenjenih klimatskih pogojev lahko torej računamo z razmeroma konstantno izotopsko sestavo kisika v sigotvorni vodi.

Poznavanje izotopske sestave sigotvorne vode je bolj problematično pri starejših sigah. Za holocenske sige si lahko pomagamo s predpostavko, da je bila povprečna letna sestava vode približno enaka današnji. Pri starejših sigah, ki so gotovo nastajale iz vode z drugačno izotopsko sestavo, pa je potrebno analizirati izotopsko sestavo vode iz tekočinskih vključkov v sigi.

## 2. Izotopska sestava ogljika v sigi

Sigotvorna voda vsebuje ogljik iz zraka, ki ima izotopsko sestavo okoli  $-7\text{‰}$  PDB, nadalje lahki biogeni ogljik z izotopsko sestavo približno  $-24\text{‰}$  (zavisi od tipa rastlin), in ogljik, ki izvira iz karbonatnih kamnin ( $\delta^{13}\text{C}$  je približno  $0\text{‰}$  PDB). Izotopska sestava ogljika v sigotvorni vodi je tako rezultat razmerja koncentracij omenjenih komponent in se podobno kot pri kisiku skozi leto spreminja. V hladnejših obdobjih in na območjih z manj vegetacije imajo prenikajoče vode več težjega anorganskega ogljika z višjimi vrednostmi  $\delta^{13}\text{C}$ , v toplejših obdobjih in območjih z bujno vegetacijo ter intenzivnim razpadanjem organskih snovi pa imajo več lažjega biogenega ogljika. Izotopska sestava ogljika v jamski vodi in s tem tudi v sigi je torej odvisna predvsem od vegetacije nad jamo (Geyh, 1970, Hendy, 1971).



Sl. 1 Izotopska sestava kisika ter ogljika v vodi in sigi ob curku 1 v Planinski jami

Fig. 1. Oxygen and hydrogen isotopic composition in the water and in the flowstone at trickle 1 in Planinska jama

Za ilustracijo si poglejmo povprečne vrednosti izotopskih sestav kisika in ogljika v sigotvorni vodi iz Curka 1 v Planinski jami v letu 1983 (slika 1). Značilnosti tega jamskega curka dobro poznamo, saj ga že več let sistematično opazujemo (Kogovšek, Habič, 1980, Pezdič et al. 1984).

Povprečna letna izotopska sestava kisika v vodi Curka 1 je praktično enaka povprečni sestavi padavin v Planini. To pomeni, da v Curku 1 iztekajo padavinske vode, pri katerih ne pride do opazne frakcionacije kisikovih izotopov, razlika je le v amplitudi nihanja. Med letom niha izotopska sestava kisika v padavinah za več kot 10 ‰, medtem ko se  $\delta^{18}\text{O}$  v vodi Curka 1 spreminja komaj za 0,5 ‰. To kaže na zelo veliko homogenizacijo vode v stropu oziroma zbirnem »lijaku« nad Curkom 1.

Izotopska sestava ogljika v hidrokarbonatu vode iz Curka 1 se spreminja med letom od  $-10,5$  ‰ do  $-16,1$  ‰, v povprečju  $-13,1$  ‰, medtem ko imajo kalcitne prevleke, ki nastajajo pod Curkov 1,  $\delta^{18}\text{O} + 23,2$  ‰ in  $\delta^{13}\text{C} - 9,7$  ‰.

## IZOTOPSKA SESTAVA KISIKA IN OGLJIKA V SIGAH IZ NEKATERIH SLOVENSКИH JAM

### 1. Vzorci in analize

Da bi dobili nadaljne podatke o izotopski sestavi kisika in ogljika v sigah kraških jam, smo analizirali nekaj desetnih vzorcev sige, najrazličnejših starosti in oblik. Ker smo pri recentnih sigah vzorčevali in analizirali tudi sigotvorno vodo, smo lahko na teh sigah preverili enačbi 1 in 3, ki podajata temperaturno odvisnost izotopske sestave kisika v kalcitu.

Kot recentno sigo smo večinoma vzorčevali tako imenovane makarone, ki so zrastle na odlomljenih starejših kapnikih. Ti so nastali v zadnjih nekaj desetletjih, ko se klima in povprečna izotopska sestava padavin nista bistveno spreminjali. Vzorčevali smo tudi karbonatne prevleke, ki se izločajo na raznih jamskih objektih, na primer mostovih, stopnicah, ograjah ipd. Analizirani vzorci so iz notranjosti jam, kjer temperature praviloma zelo malo nihajo.

Največ vzorcev recentnih makaronov smo nabrali v jami Mačkovci pri Lazah. Ob vzhodni steni Velike dvorane smo vzeli 13 vzorcev makaronov, večina je zanesljivo recentnih, in 2 vzorca vode. V vodi smo določili izotopsko sestavo kisika, v hidrokarbonatu iz vode pa še izotopsko sestavo ogljika. Vzorec z oznako Ma-1 je srednja vrednost izotopske sestave štirih recentnih makaronov z iste lokacije, medtem ko je vzorec Ma-2 srednja vrednost petih recentnih makaronov. Variabilnost sestave kisika v recentnih makaronih na isti lokaciji ne presega 0,5 ‰.

Iz Planinske jame smo vzeli za analizo del sige, ki nastaja ob polzenju vode preko stopnic v neposredni bližini Curka 1.

V Predjami je bil vzet vzorec makarona v Zahodnem rovu pred Habetovo lisičino. Letna temperaturna nihanja v tem rovu ne presegajo  $1$  °C (Habe, 1970). Vzorec vode je bil vzet iz neposredne bližine analiziranega makarona.

V Divaški jami so bili vzeti kapniki-makaroni ob vzporedni obhodni poti, kjer so veliki kapniki s helektiti. Zaradi gradnje so bili nekateri kapniki poškodovani, na odlomljenih mestih pa rastejo makaroni. Vzeta sta bila dva vzorca makaronov skupaj z vodo.

V Kamniški jami smo ob lokaciji I. voda (Urbanc, 1982) vzeli aktiven makaron in vodo, ki kaplja v manjšo kotanjo v njegovi bližini.

Ker pri recentnih sigah poznamo izotopsko sestavo kisika v sigi in v vodi, iz katere se izloča, smo lahko s pomočjo enačbe 1 izračunali temperaturo nastanka kalcita ter jo primerjali s temperaturo, izmerjeno v jami (tabela 1 in slika 2). Podobne vrednosti smo dobili tudi pri izračunu temperature nastanka kalcita s pomočjo enačbe 3.

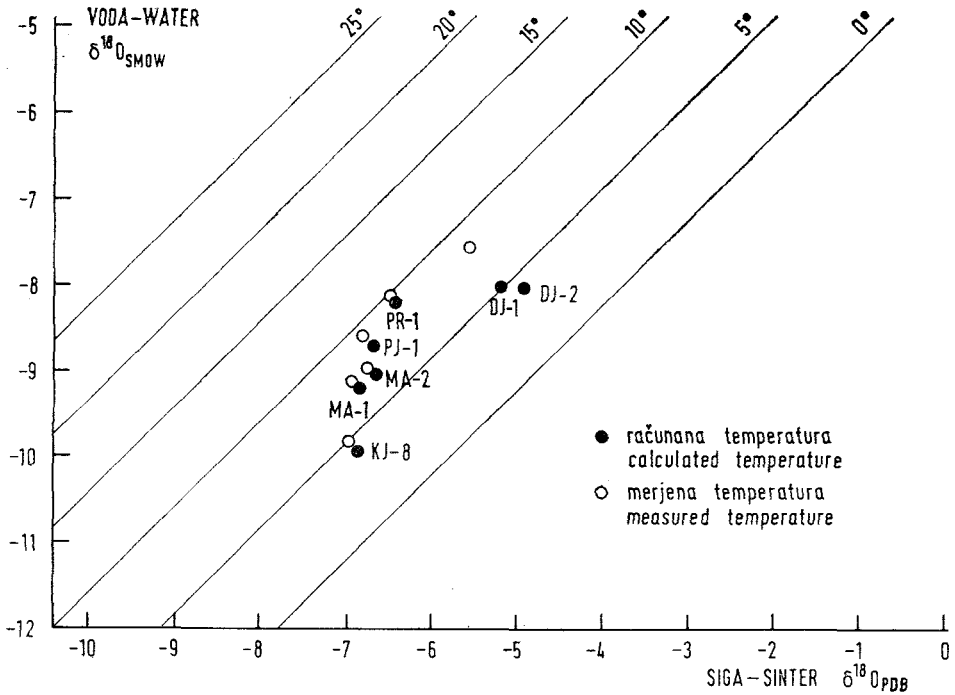
Tabela 1: Izotopske sestave kisika v recentnih sigah in vodah, iz katerih nastajajo, skupaj z izračunanimi in izmerjenimi temperaturami

Vzorec	$\delta^{18}\text{O}$ — voda (PDB) ‰	$\delta^{18}\text{O}$ — siga (SMOW) ‰	Izračunana temperatura °C	Izmerjena temperatura °C
Pj-1 (Planinska j.)	—6,93	—8,71	9,2	9,5
Ma-1 (Mačkovca)	—6,87	—9,23	6,9	8,1
Ma-2 (Mačkovca)	—6,66	—9,07	6,7	8,1
Pr-1 (Predjama)	—6,42	—8,14	9,5	10,0
Dj-1 (Divaška j.)	—4,91	—7,99	4,1	8,7
Dj-2 (Divaška j.)	—5,20	—7,99	5,3	8,7
Pv-1 (Kamniška j.)	—6,84	—9,90	4,2	5,3

Razlike med izračunanimi in izmerjenimi temperaturami so presenetljivo majhne. Največjo razliko smo ugotovili pri vzorcih Dj-1 in Dj-2 iz Divaške jame, ki pa jo zaenkrat še ne znamo povsem pojasniti. Izotopska sestava ogljika v teh sigah nakazuje možnost, da niso nastajale v izotopskem ravnotežju s sigotvorno vodo. Lahko pa bi šlo tudi za napačno privzeto srednjo letno izotopsko sestavo kisika v sigotvorni vodi, kajti zaenkrat imamo o njej na razpolago le en podatek.

Iz dobljenih rezultatov vidimo, da lahko v recentnih sigah dokaj natančno določimo temperaturo njihovega nastanka, če poznamo tudi izotopsko sestavo kisika v sigotvornih vodah. To pa velja le za sige, ki so nastajale v izotopskem ravnotežju s kisikom iz vode. Sige iz suhih vetrovnih delov jam nam zaradi efekta izhlapevanja dajo povsem napačne rezultate. Pri izhlapevanju v sigotvorni vodi ostaja več težjih izotopov, kar zviša vrednosti  $\delta^{18}\text{O}$  in  $\delta^{13}\text{C}$ .

Glede na rezultate recentnih sig so metode izotopske termometrije dovolj natančne, zato smo se lotili tudi analiz starejših sig, od katerih pričakujemo paleoklimatske podatke. Nekaj deset vzorcev, različnih starosti in oblik, je dalo prve orientacijske podatke, kakšne značilnosti izotopske sestave lahko pričakujemo v bodoče pri starejših sigah (tabela 2, slika 3).



Sl. 2 Razlike med temperaturami, izračunanimi iz izotopske sestave kisika v recentnih sigah, in v jami izmerjenimi temperaturami

Fig. 2. Differences between the temperatures, calculated by oxygen isotopic composition in recent flowstones, compared to the temperatures measured in the cave

Tabela 2: Izotopska sestava kisika in ogljika v raziskanih sigah

Oznaka vz.	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
<b>Škocjanske jame</b>		
Šk-1 (rob ponvice)	-6,60	-6,96
Šk-2 (sigova zavesica)	-4,98	-0,70
Šk-3 (sigova kopusča)	-6,71	-8,68
Šk-4 (makaron)	-5,88	-4,90
Šk-5 (stalaktit)	-5,30	-2,10
Šk-6 (rob stalagmita)	-5,43	-4,86
Šk-7 (kopučasta prevleka)	-6,04	-5,20
Šk-8 (rob ponvice)	-6,45	-8,04
Šk-9 (sigova kopusča)	-6,24	-9,01



Oznaka vz.	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
<b>Dimnice</b>		
Di-1 (rob stalagmita)	-4,54	-5,74
Di-2 (zgornji del stalagmita)	-6,00	-6,79
Di-3 (zgornji del stalagmita)	-6,09	-8,51
Di-4 (recentna siga)	-6,94	-9,29
Di-5 (stalaktit)	-6,34	-7,36
Di-6 (stalaktit)	-5,66	-4,42
Di-7 (makaron)	-6,24	-7,61
Di-8 (makaron)	-5,45	-6,79
Di-9 (grbasti stalaktiti)	-5,16	-3,75
Di-10 (sigova kopusča)	-5,04	-4,21
<b>Divaška jama</b>		
Dj-1 (recentni makaron)	-4,91	-8,11
Dj-2 (recentni makaron)	-5,20	-9,24
<b>Postojnska jama (Pisani rov)</b>		
Po-1 (stalagmit)	-6,92	-7,10
Po-2 (recentni makaron)	-7,52	-9,20
Po-3 (makaron)	-6,93	-9,08
Po-4 (jedro stalagmita)	-8,50	-8,56
Po-5 (rob ponvice)	-6,85	-8,95
Po-6 (kalcitni kristali iz ponvice)	-7,04	-8,75
<b>Predjama</b>		
Pr-1 (makaron)	-6,42	-7,39
<b>Planinska jama</b>		
Pj-1 (recentna sigova prevleka na stopnicah ob Curku 1)	-6,93	-9,73
Pj-2 (sigova prevleka)	-6,22	-6,98
Pj-3 (spodnji del zaves)	-7,01	-8,07
Pj-4 (spodnji del plastovite sigove prevleke)	-6,15	-7,81
Pj-5 (zgornji del iste prevleke)	-6,09	-7,56
Pj-6 (sigova prevleka)	-6,45	-8,30
Pj-7 (sigova prevleka)	-6,66	-9,18
Pj-8 (zavesica)	-6,43	-7,87
Pj-9 (makaron)	-5,33	-2,81
Pj-10 (makaron)	-6,39	-8,73
Pj-11 (makaron)	-6,36	-8,22
Pj-12 (makaron)	-6,64	-6,44
Pj-13 (sigova prevleka)	-6,16	-6,51

Oznaka vz.	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
Pj-14 (sigova prevleka)	-6,15	-8,06
Pj-15 (sigova prevleka)	-6,42	-8,18
Pj-16 (stalagmit)	-5,69	-4,85
Pj-17 (sigova prevleka)	-5,98	-7,13
Pj-18 (ukrivljen stalaktit)	-2,17	+4,01
Pj-19 (kopučasta porozna siga)	-5,19	-3,68
Pj-20 (plastovita siga)	-6,21	-7,82
Pj-21 (plastovita siga iz bližine vhoda — spodnji del)	-5,51	-5,30
Pj-22 (zgornji del iste sige)	-2,91	-0,62

### Mačkovca

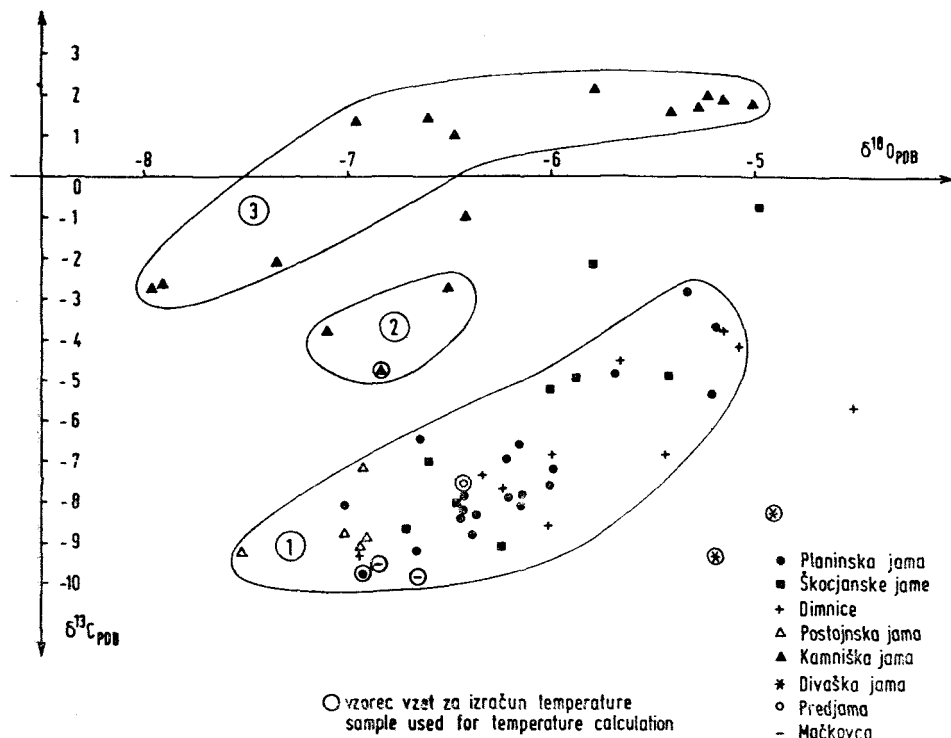
Ma-1 (recentni makaron)	-6,87	-9,59
Ma-2 (recentni makaron)	-6,66	-9,82

### Kamniška jama

Kj-1 (sigov pokrov)	-6,41	-0,97
Kj-2 (sigov pokrov)	-6,61	+1,51
Kj-3 (sigov pokrov)	-7,35	-2,00
Kj-4 (sigov pokrov)	-6,95	+1,42
Kj-5 (sigov pokrov)	-6,48	+1,06
Kj-6 (stalaktit)	-6,51	-2,62
Kj-7 (stalaktit)	-7,10	-3,72
Kj-8 (sigov pokrov)	-5,79	+2,21
Kj-9 (sigov pokrov)	-5,22	+2,01
Kj-10 (sigov pokrov)	-5,06	+1,85
Kj-11 (sigov pokrov)	-5,41	+1,69
Kj-12 (sigov pokrov)	-5,28	+1,79
Kj-13 (sigov pokrov)	-5,16	+1,95
Kj-14 (sigov pokrov)	-7,88	-2,51
Kj-15 (sigov pokrov)	-7,96	-1,31
Pv-1 (makaron)	-6,84	-4,76

Na  $^{18}\text{O}/^{13}\text{C}$  diagramu (slika 3) vidimo, da leži večina točk na treh poljih, ki leže v smeri pozitivne korelacije med izotopskima sestavama kisika in ogljika. Vzorci so večinoma iz globljih neprevetrenih delov jam, kjer so majhna letna nihanja temperature in velika vlažnost zraka.

Izotopska sestava kisika se giblje večinoma med  $-5$  in  $-8$  ‰ (temperaturna odvisnost), medtem ko se izotopska sestava ogljika spreminja v odvisnosti od lege jame. V polju št. 1 so vzorci nižinskih jam iz Notranjske in Primorske. Njihove vrednosti  $\delta^{13}\text{C}$  so nizke, kar pomeni velik vpliv lažjega biogenega ogljika. Više leže mlajše svetle sige iz Kamniške jame (polje 2). Vpliv biogenega ogljika je tu zaradi večje nadmorske višine jame (1400 m) že manjši,



Sl. 3 Izotopska sestava kisika v sigah iz nekaterih slovenskih jam

Fig. 3. Oxygen isotopic composition of flowstones from some Slovene caves

na račun težjega ogljika iz apnenca, ki ima izotopsko sestavo ogljika nekaj nad 0 ‰. Sige iz polja 3 imajo najvišje vrednosti  $\delta^{13}\text{C}$ . To so starejši sigovi pokrovi ravno tako iz Kamniške jame, katerih izotopska sestava je praktično enaka apnencem, v katerih je jama nastala, se pravi da je bil vpliv biogenega ogljika v času njihovega nastajanja zanemarljiv. Zato lahko sklepamo, da takrat rastlinske odeje nad jamo ni bilo ali pa je bila zelo borna.

V vhodnem delu Planinske jame, kjer sige nastajajo v bolj suhem in prevetrenem okolju z večjimi temperaturnimi razlikami, sta imela dva vzorca tako ekstremni izotopski sestavi, da jih nismo mogli niti vnesti v diagram, in sicer:

Pj-18  $\delta^{18}\text{O} = -2,17 \text{ ‰}$        $\delta^{13}\text{C} = +4,01 \text{ ‰}$

Pj-22  $\delta^{18}\text{O} = -2,91 \text{ ‰}$        $\delta^{13}\text{C} = -0,62 \text{ ‰}$

Pri obeh vzorcih gre za vpliv evaporacije. Kapnika sta rastle v bolj suhem in vetrovnem delu jame, kar nakazuje tudi njuna oblika.

## SKLEP

Z masnospektrometrično analizo smo ugotovili, da niha izotopska sestava kisika v raziskanih sigah od  $-2$  do  $-9$  ‰ PDB. Izotopska sestava kisika v sigah je odvisna od temperature in izotopske sestave kisika v sigotvornih vodah, ki so večinoma mineralizirane in homogenizirane meteorne vode z manjšega zbirnega področja. Za recentne sige smo ugotovili dobro sovpadanje temperatur, ki smo jih izračunali iz kisikovega izotopskega ravnotežja z izmerjenimi temperaturami sigotvorne vode, kar potrjuje, da se kalcit v jamskih sigah izloča v ravnotežju s sigotvorno vodo. Izjemo predstavljajo sige iz suhih, prevetrenih delov jam z velikimi temperaturnimi nihanji, kjer se izotopska sestava vode spremeni zaradi izhlapevanja.

Izotopska sestava ogljika v raziskanih vzorcih sig niha od  $+4$  do  $-11$  ‰ PDB. Variabilnost  $\delta^{13}\text{C}$  v sigah zavisi od izotopske sestave ogljika v sigotvorni vodi, sestava le-te pa se med letom precej spreminja. Na izotopsko sestavo ogljika v vodi vpliva ogljik iz zračnega  $\text{CO}_2$ , zatem  $\text{CO}_2$ , ki nastaja v vegetacijskem pokrovu pri razkroju organskih komponent in pri dihanju ter končno ogljik iz raztapljajočih se apnencev.

Poznavanje izotopske sestave kisika in ogljika v recentnih sigah nam tako omogoča, da se lahko lotimo tudi interpretacij značilnosti izotopske sestave starejših sigovih profilov, od katerih pričakujemo paleoklimatske podatke. Potrebno ho razrešiti problem analize primarne vode v sigovih vključkih in nadaljevati podrobne raziskave posameznih mehanizmov izotopske frakcionacije v kraških procesih. Rezultati teh raziskav nam lahko razrešijo marsikateri za sedaj nerešljiv krasoslovni problem.

## LITERATURA

- Craig, H., 1975: The measurements of oxygen isotope paleotemperatures. Proc. spoletto Conf. Stable Isotopes Oceanogr. Studies Paleotemp. 3.
- Faure, G., 1977: Principles of isotope geology. Wiley & Sons, New York.
- Gams, I., 1974: Kras. Slovenska matica, Ljubljana.
- Geyh, M. A., 1970: Isotopenphysikalische Untersuchungen an Kalksinter, ihre Bedeutung für die  $^{14}\text{C}$ -Altersbestimmung von Grundwasser und die Erforschung des Paleoklimas. Leol. Jahrbuch 88, Hannover.
- Gospodarič, R., 1981: Generacije sig v klasičnem krasu Slovenije. Acta carsologica 9/3, Ljubljana.
- Habe, F., 1970: Predjamski podzemeljski svet. Acta carsologica 5, Ljubljana.
- Hendy, C. H., 1971: The isotopic geochemistry of speleothems. Geochemica et Cosmoschemica Acta 35.
- Hoefs, J., 1980: Stable isotope geochemistry. Springer-Verlag 1980.
- IAEA, 1981: Statistical treatment of environmental isotope data in precipitation. International Atomic Energy Agency — Technical Reports Series 206, Vienna.
- Kogovšek, J., Habič, P., 1980: Proučevanje vertikalnega prenikanja vode na primerih Planinske in Postojnske jame. Acta carsologica IX/5, Ljubljana.
- Neil, J. R. et al., 1969: Oxygen isotope fractionation on divalent metal carbonates. J. Chem. Phys. 51.
- Pezdič, J. et al., 1984: Isotopic study of karst water. Final report IAEA, Ljubljana.
- Urbanc, J., 1982: Kamniška jama. Naše jame 23—24, Ljubljana.

## ISOTOPIC COMPOSITION OF OXYGEN AND CARBON IN CAVE WATER AND SPELEOTHEMS OF SLOVENIA

Isotopic composition of oxygen ( $\delta^{18}\text{O}$ ) and carbon ( $\delta^{13}\text{C}$ ) in recent cave carbonates were investigated. Some young still growing straw stalactites were analysed. For these samples the isotopic composition of oxygen in sinter as well as that in water are known, so one can calculate the formation temperatures from equations 1 and 2 in the text. The calculated temperatures of formation are in good agreement with those measured in the caves. Results are presented in Table 1 and Figure 2.

Isotopic composition of oxygen and carbon in older speleothems were also determined. Here the isotopic composition of oxygen varies between  $-2\text{‰}$  and  $-9\text{‰}$  PDB and that of carbon between  $+4$  and  $-11\text{‰}$  PDB. Results are presented in Table 2 and Figure 3. Most samples show a good positive correlation between the oxygen and carbon isotopic composition. These values already reflect the climatic conditions during the crystallization processes, but we couldn't calculate the exact formation temperature, because we haven't yet determined the isotopic composition of water in fluid inclusions. The samples from Kamnik cave (about 1400 m above sea level), for instance, exhibit a higher  $^{13}\text{C}$  concentrations compared to those from the other caves with the mean altitude of about 500 m.