

Anna PAZDUR, Mieczysław F. PAZDUR

NACIEKI JASKINIOWE JAKO ŹRÓDŁO INFORMACJI O ZMIANACH KLIMATU W CZASIE OSTATNICH 500000 LAT

Streszczenie. Nacieki jaskiniowe są źródłem ważnych informacji paleoklimatycznych. Metody rekonstrukcji zmian klimatycznych opierają się na prostym fakcie występowania nacieków o określonym wieku, jak również na wykorzystaniu zapisu zmian w koncentracji izotopów stabilnych w kalcycie oraz w inkluzjach wodnych. Artykuł przedstawia założenia programu badawczego, którego celem jest odtworzenie zmian klimatycznych w rejonie Europy środkowej na podstawie badań izotopowych nacieków jaskiniowych z terenu Wyżyny Krakowsko-Wieluńskiej, oraz przykłady wyników uzyskanych w trakcie dotychczasowych badań.

CAVE SPELEOTHEMS AS ARCHIVES FOR RECONSTRUCTION OF CLIMATIC CHANGES DURING LAST 500 000 YEARS

Summary. Speleothems are important archives of climatic changes. The methods used to derive paleoclimatic information may be simply based on occurrence of speleothems of certain age or on studies of stable isotopes relations in calcite or fluid inclusions. The paper presents assumptions of the research programme undertaken to reconstruct climatic changes in the Central Europe from isotopic studies of speleothems of the Cracow-Wieluń Upland with selected specific examples of results already obtained.

Nacieki jaskiniowe z terenu Wyżyny Krakowsko-Wieluńskiej zawierają zapis zmian klimatycznych obejmujący okres ostatnich kilkuset tysięcy lat. Jedyna znacząca przeobrażenia depozycji nacieków związana jest ze stadiem leszczyńskim ostatniego zlodowacenia. Odtworzenie zapisu jest możliwe na podstawie badań składu izotopowego kalcytu naciekowego oraz inkluzji wodnych i gazowych oraz datowań metodami C-14 i U/Th, w powiązaniu z badaniami sedymentologicznymi i petrograficznymi oraz analizami zawartości pierwiastków śladowych.

Osady węglanowe pochodzące z obszarów krasowych (nacieki jaskiniowe, martwice wapienne) są potencjalnym źródłem informacji o zmianach klimatu w przeszłości (Baker et al, 1993; Gascoyne, 1992; Dorale et al, 1992; Ford, Williams, 1989; Geyh, 1970; Geyh, Schleicher, 1990; Harmon et al, 1978; Ivanovich, Harmon, 1982; Schwarcz, 1980; Srdoc et al, 1983; Pazdur et al, 1989). Mechanizm wytrącania węglanów w obszarze krasowym polega na naruszeniu równowagi chemicznej wodnego roztworu zawierającego jony HCO_3^- , CO_2^{2-} oraz gazowy CO_2 wskutek gwałtownej zmiany ciśnienia parcjalnego dwutlenku węgla podczas wypływu wody gruntowej. Koncentracja CO_2 w roztworze pochodzenia glebowego zależy od intensywności procesów mikrobiologicznych i oddychania korzeniowego roślin zachodzących w glebie. Procesy te sterowane są głównie temperaturą (Dörr, Münnich, 1986; 1989). Wysoka koncentracja dwutlenku węgla w glebie i intensywność sedymentacji nacieków skorelowane są zatem z okresami ciepłymi (Baker, 1993). Ponadto szybkość przyrostu nacieku jaskiniowego zależy od intensywności strumienia wypływającej wody, z której osad się wytrąca, a zatem jest ona sterowana ilością opadów (Dreybrodt, 1988).

Zapis temperatury sedymentacji osadu (w strefie klimatu umiarkowanego jest to średnia roczna temperatura powietrza) zawarty jest w składzie izotopowym tlenu w kalcycie, określanym wartością $\delta^{18}\text{O}$. Zależność stałych równowagi chemicznej w reakcji wytrącania CaCO_3 od temperatury powoduje uzależnienie od temperatury współczynników frakcjonowania izotopów tlenu i ostateczną wartość końcowej koncentracji izotopu ^{18}O w wytrąconym węglanie wapnia (Morse, Mackenzie, 1990).

Skład izotopowy węgla w naciekach ($\delta^{13}\text{C}$ oraz koncentracja ^{14}C) zawiera informacje o cyklu geochemicznym tego pierwiastka oraz momencie czasu, w którym nastąpiła sedymentacja osadu (Mook, 1976; Mook, 1980; Fontes, 1992).

Na wiek kolejnych warstw nacieku wskazuje zawartość niektórych radioizotopów z szeregu ^{238}U , a w szczególności stosunki koncentracji izotopów $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$ oraz $^{238}\text{U}/^{234}\text{U}$, których pomiar umożliwia określenie momentu sedymentacji tej warstwy (Edwards et al, 1986/87; Hennig, 1983; Geyh, Schleicher, 1990).

Z powyższych fragmentarycznych uwag wynika, iż:

1. Pomiar koncentracji radiowęglu ^{14}C w warstwie nacieku umożliwia określenie momentu jej sedymentacji, tzn. wiek radiowęglowy warstwy.
2. Zastosowanie metody uranowo-torowej do datowania nacieków pozwala przedłużyć radiowęglową skalę czasu i uzyskać skalę czasu dla zdarzeń klimatycznych do ok. 350 tys. lat.
3. Badania koncentracji stabilnych izotopów węgla i tlenu w węglanie nacieku oraz izotopów deuteru i węgla w wodzie inkluzyjnej pozwalają określić temperaturę se-

dymencacji węgla, a przynajmniej jej względne zmiany w pewnych przedziałach czasu.

4. Analizy izotopowe powinny być skorelowane z badaniami mineralogiczno-petrograficznymi oraz analizami chemicznymi w celu wykrycia i ewentualnego wyeliminowania wpływu potencjalnych procesów postdepozycyjnych. Wyniki analiz chemicznych stwierdzających obecność wybranych metali powinny dać dodatkowe wskaźniki zmian środowiskowych na obszarze badań, zwłaszcza po skorelowaniu ich z wynikami analiz izotopowych.

Aktualny stan badań izotopowych utworów czwartorzędowych, a w szczególności nacieków jaskiniowych, jest wysoce niezadowalający. Z dotychczas wykonanych opracowań (Głazek, Duliński) opartych na nielicznych datowaniach nacieków metodą U/Th i wyrywkowych analizach składu izotopów stabilnych w datowanych próbkach nacieków wyciągnąć można jedynie ogólnikowe i fragmentaryczne wnioski paleoklimatyczne. W Zakładzie Zastosowań Radioizotopów Instytutu Fizyki Politechniki Śląskiej począwszy od roku 1991 wykonana została znacząca seria datowań metodą C-14, obejmująca blisko 100 próbek kalcytu naciekowego z kilkudziesięciu jaskiń Jury Krakowsko-Częstochowskiej (Pazdur et al, 1994). Wyniki tych datowań, wraz z wykonanymi wyrywkowymi analizami składu izotopów stabilnych węgla i tlenu, wskazują na ogromny zasób stosunkowo łatwej do uzyskania informacji paleoklimatycznej. W szczególności wyniki uzyskane w ramach wymienionego projektu badawczego pozwoliły na wstępne określenie generacji wiekowych nacieków powstających w jaskiniach badanego obszaru oraz na opracowanie stosunkowo wiarygodnej strategii doboru materiału do badań szczegółowych, które są przedmiotem planowanych badań.

1. Metodyka badań

1.1. Pobór próbek i ich przygotowanie do badań

W związku z planowaną ilością pomiarów pobór reprezentatywnych próbek nacieków do badań izotopowych oraz ich przygotowanie stanowią oddzielny problem. Dzięki współpracy z Muzeum Geologicznym AGH w Krakowie zapewniony jest dostęp do zasobów archiwalnych, tj. możliwość wykorzystania w pierwszym etapie pracy kolekcji nacieków pochodzących ze ściśle określonych lokalizacji w kilkudziesięciu jaskiniach, a równocześnie zapewniony jest systematyczny pobór dalszych nacieków reprezentatywnych do zamierzonych badań. Zapewnione jest również rozpoznanie geomorfologiczne i hydrogeologiczne terenu jako istotnie ważnego kontekstu badań.

Ponieważ wszelkie analizy izotopowe są badaniami niszczącymi próbki (w przypadku dużych nacieków — częściowo, małych — całkowicie), przygotowanie próbek do badań laboratoryjnych wymaga sporządzenia szczegółowej dokumentacji fotograficznej, rysunkowej i opisowej. Indywidualnie dla każdego nacieku należy dobrać sposób podziału na fragmenty przeznaczone do datowania i na badania składu izotopów stabilnych oraz analizy chemiczne i mineralogiczne, aby sposób ten odzwierciedlał rzeczywiste zmiany warunków sedymentacji.

W pierwszym etapie badań rozpoznawczych próbki do datowań metodami C-14 oraz U/Th wybierane będą z indywidualnych nacieków na podstawie analizy ich budowy z warstw bezpośrednio poprzedzających wyraźne powierzchnie oddzielności i/lub następujących po nich, a w szczególności warstwy znaczące początek i koniec sedymentacji. W następnym etapie na podstawie dostępnych danych chronologicznych wybierane będą nacieki do szczegółowych badań sedymentologicznych i mineralogicznych oraz geochemicznych i izotopowych. Badania sedymentologiczne wykonywane będą na cienkich szlifach obejmujących znane w przybliżeniu odcinki czasowe, a na podstawie wyników tych analiz typowane będą zagęszczone serie próbek do precyzyjnego datowania U/Th z wykorzystaniem spektrometrii masowej oraz precyzyjnych analiz składu izotopów stabilnych, a w konsekwencji do wyznaczenia paleotemperatur izotopowych.

1.2. Wyznaczanie wieku metodą radiowęglową

Cykl geochemiczny, któremu podlega węgiel zawarty w CaCO_3 w nacieku jaskiniowym, powoduje, że koncentracja izotopów węgla ^{13}C i ^{14}C różni się od ich koncentracji w atmosferycznym CO_2 w momencie sedymentacji osadu. Stwarza to metodyczną trudność podczas datowania nacieków powodując postarzenie wieku osadów średnio o około 1500 lat. Postarzenie to można traktować jako systematyczny błąd metody i w przedziale czasowym od chwili obecnej do około 40 tys. lat uznać metodę radiowęglową za stosunkowo dokładną i najtańszą metodę datowania nacieków. Porównanie wyników datowań wybranych nacieków metodą ^{14}C i metodą $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ pozwoli uściślić wartość błędu systematycznego metody radiowęglowej. Metoda radiowęglowa wykorzystana zostanie również do wstępnej selekcji nacieków o wieku większym niż 50 tys. lat, przewidywanych do datowania stosunkowo kosztowną metodą uranowo-torową.

1.3. Wyznaczanie wieku metodą $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$

Metoda ta opiera się na założeniu braku równowagi promieniotwórczej między ^{234}U i ^{230}Th w momencie sedymentacji osadu (brak ^{230}Th , który ulega absorpcji głównie przez minerały ilaste), zaś ^{230}Th gromadzi się w osadzie w miarę jego starzenia się. Praktycznie zasięg metody wynosi około 350 tys. lat, a przy zastosowaniu techniki spektrometrii maso-

wej około 600 tys. lat. Jest ona najdokładniejszą metodą datowania nacieków jaskiniowych i martwic wapiennych.

1.4. Pomiary koncentracji stabilnych izotopów węgla, tlenu i wodoru

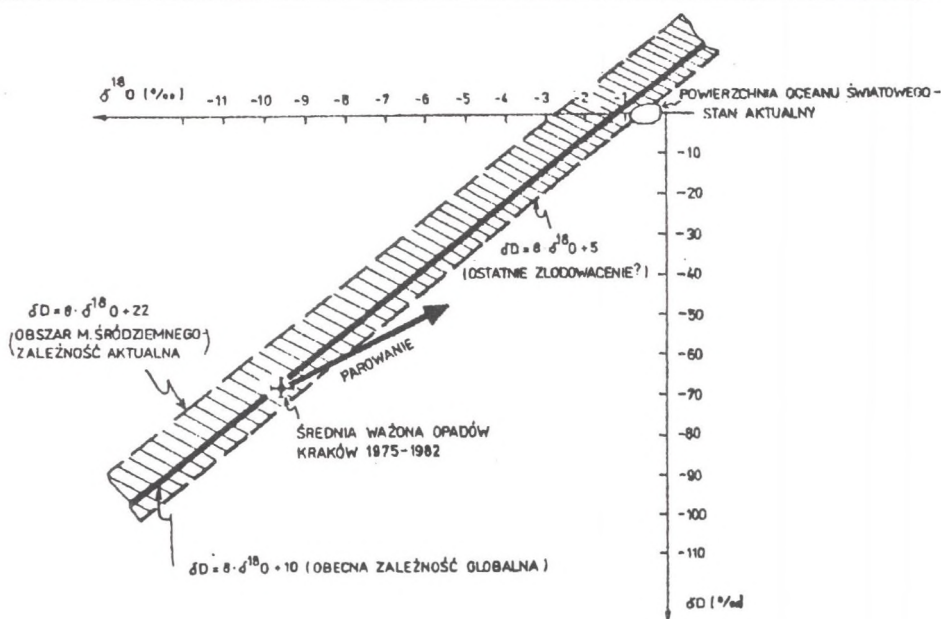
Koncentracja stabilnych izotopów węgla i tlenu w osadzie węglanowym zależy od cyklu geochemicznego tych pierwiastków oraz warunków termodynamicznych, w których z roztworu wytrąca się osad. Empiryczna zależność współczynnika frakcjonowania izotopów tlenu od temperatury w układzie kalcyt-woda (O'Neil et al, 1969) umożliwia wyznaczenie wartości temperatur sedymentacji kolejnych warstw osadu wówczas, gdy sedymentacja ta przebiega w warunkach równowagi izotopowej. Rekonstrukcja temperatury sedymentacji wymaga:

- sprawdzenia, czy sedymentacja przebiegała w warunkach równowagi. Pomiary koncentracji CO_2 w wodzie inkluzyjnej oraz $\delta^{13}\text{C}$ w kalcycie i w CO_2 rozpuszczonym w wodzie inkluzyjnej mogą pomóc w określeniu warunków sedymentacji;
- wykonania pomiarów $\delta^{18}\text{O}$ w kalcycie;
- znajomości $\delta^{18}\text{O}$ w wodzie infiltracyjnej, z której kalcyt uległ wytrąceniu. Wartość tę można odtworzyć na podstawie pomiarów koncentracji deuteru (δD) w wodzie inkluzyjnej i znanej zależności $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}$ w opadach w danym regionie geograficznym. Dla Wyżyny Krakowskiej zależność ta została dobrze udokumentowana (Róžański, Duliński, 1987) i przedstawia ją rys. 1 zaczerpnięty z pracy jednego ze wspomnianych autorów (Róžański, 1986).

1.5. Metody statystyczne

Duża liczba wyników datowań nacieków uzyskanych jakąkolwiek metodą fizyczną (w której wynikiem datowania jest liczba) umożliwia zastosowanie metod probabilistycznych do opracowania tych wyników (Geyh, 1970; Ivanovich, Harmon, 1982; Smart, Richards, 1992; Baker et al, 1993).

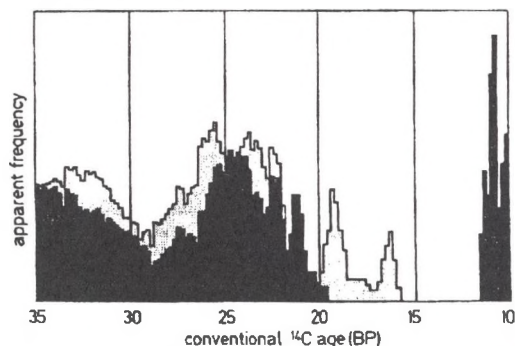
Częstość występowania dat w określonych przedziałach czasu wskazuje na intensywność sedymentacji nacieków (por. rys. 2 i 3). Uzyskane rozkłady częstości dat porównywać można z wynikami badań nad klimatem w przeszłości uzyskanymi innymi metodami, np. wiekowymi zmianami temperatury i wysokości opadów odtworzonymi na podstawie analiz pyłkowych z torfowisk i osadów jeziornych z rejonów nie objętych zlodowaceniami oraz z zapisem zmian klimatu w rdzeniach osadów głębokomorskich (Guiot et al, 1989; Martinson et al, 1987; Shackleton, 1969).



Rys. 1. Zmiany zależności δD - $\delta^{18}O$ w opadach atmosferycznych w czasie ostatnich kilkuset tysięcy lat (Róžański, Duliński, 1986). Wartości δD i $\delta^{18}O$ podane są względem standardu SMOW

Fig. 1. Relation between δD and $\delta^{18}O$ in meteoric water during Quaternary (Róžański, Duliński, 1986). Values of δD and $\delta^{18}O$ are quoted with respect to the SMOW standard

Nacieki jaskiniowe, ze względu na specyfikę miejsca sedymentacji i warunków, w których sedymentacja ta zachodzi, należą do osadów kontynentalnych, których badania izotopowe pozwalają podjąć próby tworzenia ciągłych, regionalnych podziałów klimatostratygraficznych w przedziałach czasu obejmujących niejednokrotnie setki tysięcy lat. Dzieje się tak dlatego, gdyż na ogół w kolejnych okresach zlodowaceń obecność lądolodu oraz procesy zachodzące w strefie peryglacialnej powodują niszczenie znajdujących się na powierzchni utworów zawierających zapisy paleoklimatyczne, takich jak osady jeziorne, martwice wapienne czy torfowiska. Niszczący wpływ procesów związanych z przesuwaniem się czoła lądolodu w znacznym stopniu omija osady jaskiniowe. Na obszarze Europy środkowej, który w ciągu ostatniego miliona lat podlegał kilku zlodowaceniom o randze glacialów, nacieki jaskiniowe są jednym z ważniejszych osadów kontynentalnych, którego badania umożliwiają nie tylko utworzenie regionalnego podziału klimatostratygraficznego dla tego obszaru, obejmującego ostatnie kilkaset tysięcy lat, lecz również liczbowe określenie dynamiki zmian termicznych poprzez wyznaczenie paleotemperatur izotopowych. Wydaje

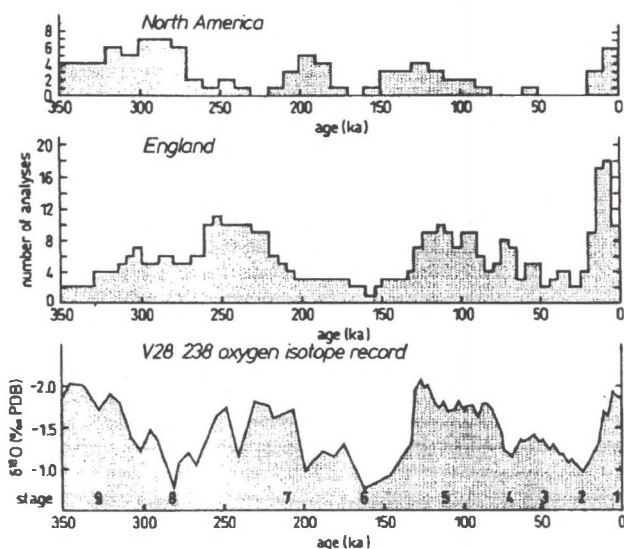


Rys. 2. Histogram konwencjonalnych dat ^{14}C uzyskanych dla nacieków pochodzących z jaskiń z północy Europy (pole ciemne) oraz z południa Alp (pole jaśniejsze); wg Geyh (1970). Długa przerwa w okresie sedimentacji nacieków wskazuje na ostatni pleniglacial, który jest dłuższy na północy niż na południu Europy

Fig. 2. Histogram of conventional radiocarbon dates obtained on speleothems from northern Europe (black area) and southern Europe (dashed area), acc. to Geyh (1970). The break in speleothem deposition indicates for the last pleniglacial period which was longer in northern Europe than in its southern part

się, iż planowana liczba datowań metodami radiowęglową oraz uranowo-torową wraz z badaniami składu izotopów stabilnych oraz analizami sedimentologicznymi i chemicznymi nacieków z obszaru Wyżyny Krakowsko-Wieluńskiej pozwoli na rekonstrukcję zdarzeń klimatycznych w założonym przedziale czasu, reprezentatywnych dla obszaru Europy środkowej. Wstępne rezultaty tych badań zostały zilustrowane na rys. 4 i 5. Rysunek 4 przedstawia rozkłady częstości około 150 wyników datowań nacieków z różnych jaskiń, uzyskanych metodą radiowęglową, w przedziale czasowym obejmującym w przybliżeniu ostatnie 50 000 lat. Podobnie jak w przypadku histogramów dat przedstawionych na rys. 2 i 3 można zauważyć, iż rozkład ten w ogólnym zarysie nawiązuje do znanych, wspomnianych wyżej, podziałów klimatostratygraficznych (okresy ciepłe — okresy wzmoczonej sedimentacji nacieków — większa ilość wyników datowań). Przedstawione na rysunku 5 zmiany składu izotopów stabilnych węgla (^{13}C) i tlenu (^{18}O) w kolejnych cienkich, liczących około 0.3 mm grubości, warstewkach jednego z nacieków z jaskini „Schronisko na Tomaszówkach Dolnych II” ilustrują krótkookresowe zmiany warunków termicznych i wilgotnościowych sedimentacji oraz długookresowy trend tych zmian.

Skoncentrowanie badań na stosunkowo niewielkim obszarze w zasięgu bezpośredniego i niewątpliwie silnego wpływu lądolodu fazy leszczyńskiej (ok. 200 km od linii zasięgu maksymalnego ostatniego zlodowacenia) umożliwi precyzyjne rozpoznanie dynamiki i skali zmian klimatycznych towarzyszących przesuwaniu się czoła lądolodu vistuliańskiego. Umieszczenie zapisu izotopowego na precyzyjnej skali czasowej otrzymanej dzięki datowaniom uranowo-torowym umożliwi korelację ze znanymi schematami podziału kli-

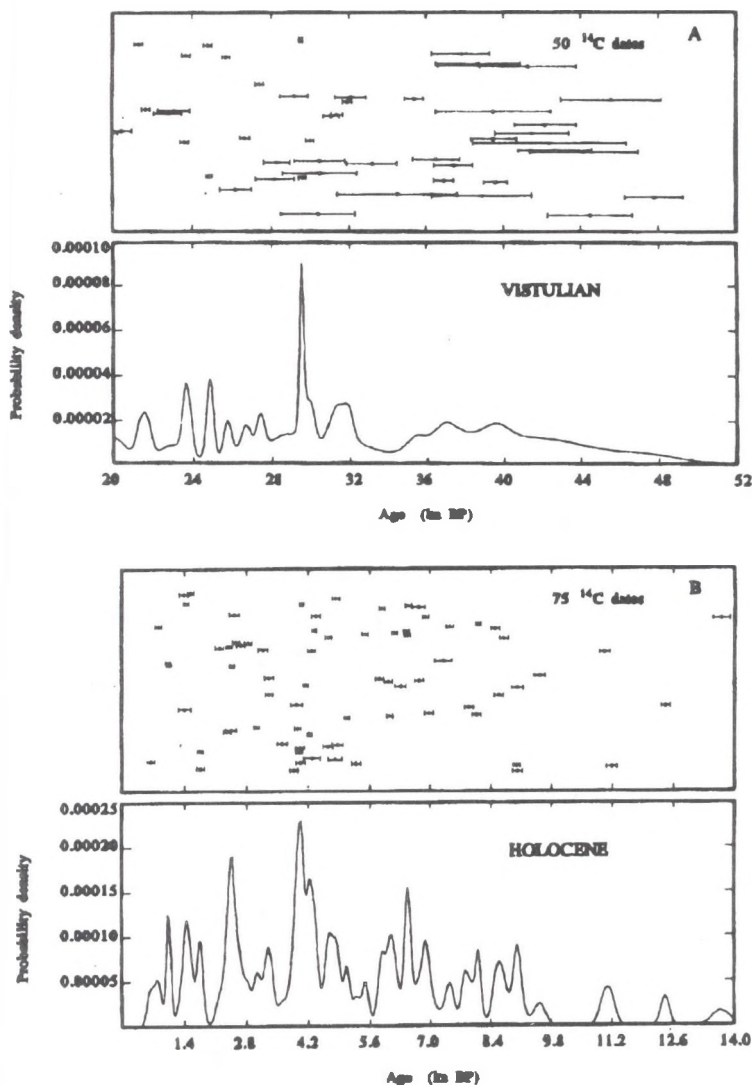


Rys. 3. Histogram dat U/Th uzyskanych dla nacieków pochodzących z jaskiń północno-zachodniej Anglii i Ameryki Północnej (wg Ivanovich i Harmon, 1982) oraz zapis zmian klimatu w postaci zmian w składzie izotopowym tlenu w otwornicach pochodzących z rdzenia osadów oceanicznych (Północny Atlantyk, rdzeń V 28–238; wg Shackleton i Opdyke, 1973). Rozkład dat wskazuje na sedymentację nacieków głównie w okresach interglacjalnych

Fig. 3. Histogram of U/Th dates of speleothems from caves in NW England and North America (acc. to Ivanovich, Harmon, 1982) and record of climatic changes obtained from oxygen isotope ratios in foraminifera from deep ocean core (N Atlantic, core V 28–238, acc. to Shackleton, Opdyke, 1973). Comparison of both curves indicates that formation of speleothems occurs mostly during interglacial periods

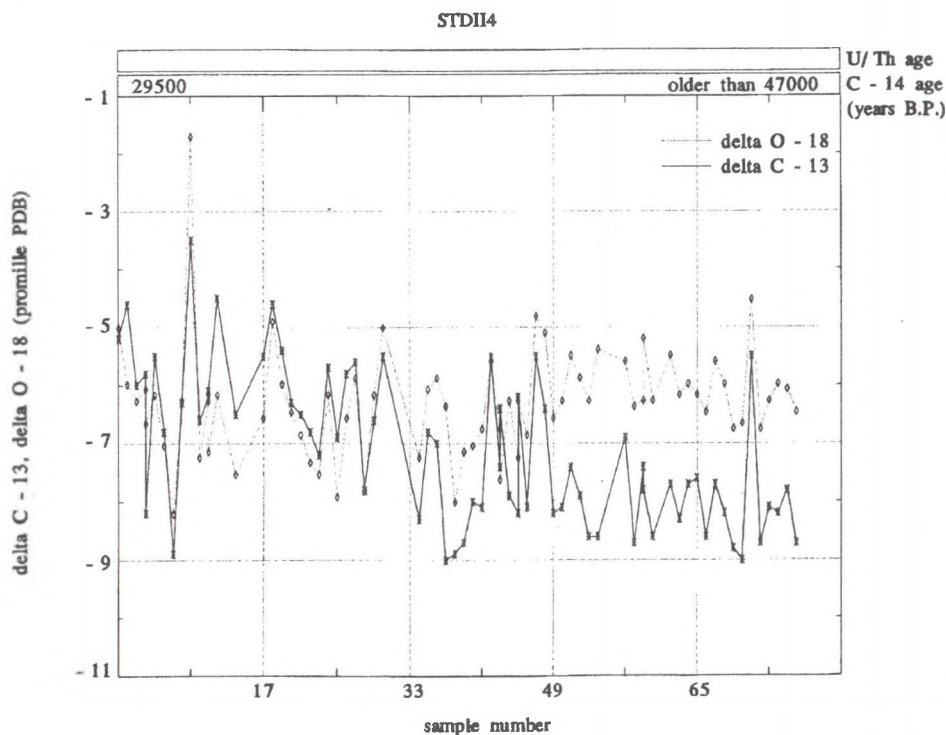
matostratygraficznego Polski (np. Kozarski, 1980; Mojski, 1990; Starkel, 1982; 1988), a także poszukiwania synchroniczności tych zdarzeń z globalnymi zmianami klimatycznymi, poprzez nawiązanie do znanych globalnych lub regionalnych podziałów klimatostratygraficznych (Baker et al, 1993; Guiot et al, 1989; Martinson et al, 1987; Smart, Richards, 1992; Shackleton, 1969).

Realizacja drugiego z wymienionych celów, tj. uruchomienie laboratorium datowań metodą uranowo-torową, pozwoli na poszerzenie możliwości badawczych krajowego środowiska badaczy czwartorzędu. Postęp w metodyce datowań uranowo-torowych, jaki dokonał się w ostatnich latach, a w szczególności opracowanie i zweryfikowanie możliwości stosowania metody U/Th do datowania innych niż węglany (nacieki i martwice) utworów czwartorzędowych, prowadzi do trudnych do przecenienia możliwości korelowania częst-



Rys. 4. Rozkłady częstości występowania dat radiowęglowych nacieków jaskiniowych z obszaru Wyżyny Krakowsko-Wieluńskiej. Górna krzywa — okres późnego góla i holocenu (ostatnie 15 ka BP), krzywa dolna — interplenivistulian (20–50 ka BP)

Fig. 4. Frequency distributions of radiocarbon dates obtained on speleothems from the Cracow-Wieluń Upland. Upper plot — Late Glacial and Holocene period (last 15 ka BP), lower plot — interplenivistulian (20–50 ka BP)



Rys. 5. Zmiany względnej koncentracji stabilnych izotopów węgla i tlenu w jednym z nacieków pochodzących z jaskini „Schronisko na Tomaszówkach Dolnych II” położonej w Dolinie Będkowskiej (okolice Krakowa), obszar Wyżyny Krakowsko-Wieluńskiej. Wartości $\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{18}\text{O}$ podane są w promilach względem standardu PDB

Fig. 5. Changes of carbon and oxygen stable isotope ratios in a flowstone from cave „Schronisko na Tomaszówkach Dolnych II”, situated in Bedkowska Valley near Cracow, within the Cracow-Wieluń Upland. The values of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ are quoted in permille wrt PDB standard

kowych zapisów paleobotanicznych z terenu Polski z zapisami z innych rejonów Europy oraz z innych kontynentów.

1.6. Wyposażenie techniczne i możliwość realizacji badań

Zakład Zastosowań Radioizotopów w Instytucie Fizyki Politechniki Śląskiej, w skład którego wchodzi Laboratorium C-14, Laboratorium TL oraz Pracownia Pomiarów Naturalnych Radioaktywności Środowiska, posiada odpowiedni potencjał badawczy, który w ostatnim okresie został powiększony o badania metodą ESR oraz metodą spektrometrii masowej.

Zakład dysponuje:

1. kompletnie wyposażonym Laboratorium Radiowęglowym z sześcioma stanowiskami pomiarowymi zbudowanymi z liczników proporcjonalnych wypełnianych dwutlenkiem węgla,
2. kompletnie wyposażonym laboratorium oznaczeń wieku metodami TL i ESR, z automatycznym czytnikiem TL firmy DAYBREAK i spektrometrem ESR (oba stanowiska skomputeryzowane, z pełnym oprogramowaniem),
3. spektrometrem masowym do oznaczeń stosunków izotopowych C i O,
4. wyposażeniem do preparatyki próbek nacieków.

Ponadto Instytut Fizyki dysponuje odpowiednim zapleczem warsztatowym (dobrze wyposażone warsztaty mechaniczny i elektroniczny z wysoko wykwalifikowanym personelem; podręczny warsztat szklarski), niezbędnym do zapewnienia ciągłej bezawaryjnej pracy aparatury pomiarowej oraz dokonywania napraw bądź przeróbek w trakcie wykonywania badań.

Literatura

Baker A., Smart P. L., Ford D. C., 1993, Northwest European paleoclimate as indicated by growth frequency variations of secondary calcite deposits. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 100, 291–301.

Dorale J. A., Gonzales L. A., Reagan M. K., Pickett D. A., Murell M. T., Baker R. G., 1992, A high-resolution record of Holocene climate change in speleothem calcite from Cold Water Cave, northeast Iowa. *Science*, 258, 1626–1630.

- Dörr H., Münnich K. O., 1986, Annual variations of the ^{14}C content of soil CO_2 . Radiocarbon, 28, 338–345.
- Dörr H., Münnich K. O., 1989, Downward movement of soil organic matter and its influence on trace-element transport (^{210}Pb , ^{137}Cs). Radiocarbon, 31, 655–633.
- Dreybrodt W., 1988, Processes in karst systems. Springer-Verlag, Berlin.
- Duliński M., 1988, Skład izotopowy tlenu i wodoru w naciekach jaskiniowych datowanych metodą $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ jako obraz zmian paleoklimatycznych na obszarach kontynentalnych. Praca doktorska, AGH, Kraków.
- Edwards R. L., Chen J. H., Wasserburg G. J., 1987, $^{238}\text{U}/^{234}\text{U}$ – $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ systematics and the precise measurement of time over the last 500,000 years. Earth Planet. Sci. Lett., 81: 175–192.
- Ford D. C., Williams P., 1989, Karst Geomorphology and Hydrology. Unwin-Hyman, London.
- Fontes J. Ch., 1992, Chemical and isotopic constraints on ^{14}C dating of groundwater. [w:] Radiocarbon After Four Decades. An Interdisciplinary Perspective. Springer-Verlag, New York, Inc.
- Gascoyne M., 1992, Palaeoclimate determination from cave calcite deposits. Quaternary Sci. Rev. 11, 609–632.
- Geyh M. A., 1970, Zeitliche Abgrenzung von Klimaänderungen mit ^{14}C -Daten von Kalksinter und organischen Substanzen. Beih. Geol. Jahrb., 98: 15–22.
- Geyh M. A., Schleicher H., 1990, Absolute Age Determination. Physical and Chemical Dating Methods and Their Application. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg.
- Guiot J., Pons A., Beaulieu J. L., Reille M., 1989, A 140,000 year continental climate reconstruction from two European pollen records. Nature, 338, 309–313.
- Harmon R. S., Thompson H. P., Schwarcz H. P., Ford D. C., 1978, Late Pleistocene paleoclimates of North America as inferred from stable isotope studies from speleothems. Quat. Res., 9, 54–70.
- Hennig G. J., Grün R., Brunnacker K., 1983, Speleothems, travertines and paleoclimates. Quat. Res., 20, 1–29.
- Kozarski S., 1980, An outline of Vistulian stratigraphy and chronology of the Great Poland Lowland. Quat. Studies in Poland, 2, 21–35.

Martinson D. G., Pisias N. G., Hays J. D., Imbrie J., Morre T. C., Shackleton N. J., 1987, Age dating and the orbital theory of the ice ages: development of a high-resolution 0 to 300,000 year chronostratigraphy. *Quat. Res.*, 27, 1-29.

Mojski J. E., 1990, The main Vistulian glacial events in Northern Poland, [w:] *Klimageschichtliche Probleme der letzten 130,000 Jahre*. B. Frenzel, Ed., 353-361.

Mook W. G., 1976, The dissolution-exchange model for dating groundwater with ^{14}C . *Interpretation of Environmental and Isotope Data in Groundwater Hydrology*, IAEA, Vienna, 213-225.

Mook W. G., 1980, Carbon-14 in hydrogeological studies, *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry*. V.1., Elsevier, Amsterdam, 49-74.

Morse J. W., Mackenzie F. T., 1990, *Geochemistry of Sedimentary Carbonates*, Elsevier, Amsterdam.

Pazdur A., Pazdur M. F., Starkel L., Szulc J., 1988, Stable isotopes of the holocene calcareous tufa in southern Poland as paleoclimatic indicators. *Quat. Res.*, 30, 177-189.

Różański K., Duliński M., 1986, Badania izotopowe form naciekowych w jaskiniach krasowych dla celów paleoklimatologii. *Zesz. Nauk. Pol. Śl., seria Mat.-Fiz., Z. 47, Geochronometria nr 2*, 77-88.

Różański K., Duliński M., 1987, Deuterium content of European palaeowaters as inferred from isotopic composition of fluid inclusions trapped in carbonate cave deposits. *Isotope Techniques in Water Resources Development*, IAEA, Vienna, 565-578.

Schwarcz H. P., 1980, Absolute age determination of archaeological sites by uranium series dating of travertines. *Archaeometry*, 22, 3-24.

Shackleton N. J., 1969, The last interglacial in the marine and terrestrial records. *Philos. Trans. R. Soc. Ser. B*, 174, 135-154.

Smart P. L., Richards D., 1992, Age estimates for the late Quaternary sea-stands. *Quat. Sci. Rev.*, 11, 687-696.

Srdoc D., Horvatincic N., Obelic B., Slipevcic A., 1983, Radiocarbon dating of tufa in paleoclimatic studies. *Radiocarbon*, 25, 421-427.

Starkel L., 1980, Stratigraphy and chronology of the Vistulian in the Polish Carpathians and in the Subcarpathian Basins. *Quat. Studies in Poland*, 2, 121-135.

Starkel L., 1988, Remarks on the Quaternary stratigraphy of the Polish Carpathians and their foreland. *Quat. Studies in Poland*, 8, 49-59.

Szelerewicz M., Górny A., 1986, *Jaskinie Wyżyny Krakowsko-Wieluńskiej*, Wydawnictwo PTTK „Kraj”, Warszawa-Kraków.

Abstract

It is well known that the formation of speleothems is associated with relatively warm and humid periods in the past and is seriously limited or even stopped during the glacial periods. Therefore the presence or lack of speleothems of a certain age may be regarded as important indicator of paleoclimatic conditions. However, more detailed studies of isotopic changes recorded in appropriately selected speleothems seems to be an important and effective tool for reconstruction of more subtle climatic changes in moderate zone. The paper presents fundamental assumptions of the research project intended to gather isotopic data from speleothem records precisely dated with the radiocarbon and uranium-thorium dating methods. The research project is limited to speleothems deposited in caves of Cracow-Wieluń Upland. This is the largest and well explored karst region in Poland. It covers the area of ca 2900 km². The northern boundary of the study area is ca 200 km to south from the line of maximum advance of the last glaciation. There are known more than 1000 caves in this area. Many caves were inhabited during the Middle and Upper Paleolithic and then during Mesolithic and Neolithic. Samples of speleothems used in this study were selected from sample collection of the Geological Museum of the Academy of Mining and Metallurgy in Cracow. In the first stage of the project the radiocarbon dating was used to gather preliminary chronologic information and distinguish different generations of speleothems which may be used in the next stage for precise isotopic and microsedimentologic studies to extract paleoclimatic and hydrologic records. ¹⁴C measurements are accompanied with $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ profiles obtained along growth lines of selected speleothems. Till now ca 200 radiocarbon and ca 30 U/Th dates were obtained on a set of speleothems collected in more than 50 caves. Approximately 25% of sample have yielded infinite radiocarbon dates. The uranium-thorium method will be applied to those samples. The obtained results enable us to draw some preliminary conclusions concerning the climatic changes in the study area during the last glacial-interglacial cycle.