

## Streszczenie

Celem prowadzonych prac było określenie warunków paleoklimatycznych w okresie środkowego plejstocenu panujących na obszarze południowej Polski i północnej Słowacji. Badania obejmowały analizy kalcytu z nacieków jaskiniowych pobranych z trzech jaskiń położonych w trzech rejonach krasowych: Jaskini Głębokiej na Wyżynie Krakowsko-Częstochowskiej, Szczeliny Chochołowskiej w Tatrach Zachodnich i Jaskiń Demianowskich w Niżnych Tatrach na Słowacji. Nacieki jaskiniowe przez wzgląd na swoje unikalne cechy pełnią istotną rolę w badaniach paleośrodowiskowych. Analizy próbek z nacieków jaskiniowych umożliwiają prześledzenie zmienności wielu parametrów fizyko-chemicznych zależnych od warunków krystalizacji np. składu izotopowego tlenu i węgla, zmienności względnej zawartości pierwiastków śladowych czy zmian petrologicznych kalcytu nacieków jaskiniowych. Na podstawie otrzymanych zapisów zmienności zbadanych wskaźników w funkcji czasu możliwe jest wnioskowanie o warunkach paleośrodowiskowych, a na ich podstawie, o zmianach klimatycznych w czasie krystalizacji nacieków.

Wybrany do badań okres środkowego plejstocenu obejmował następujące po sobie glaciały i interglaciały, był czasem intensywnych zmian klimatycznych, a jednocześnie do czasu podjęcia prezentowanych badań, rekonstrukcje paleoklimatyczne dla tego okresu z obszarów lądowych, oparte na badaniach nacieków jaskiniowych były bardzo skąpo reprezentowane w światowej literaturze naukowej.

W efekcie przeprowadzonych badań uzyskano nowe informacje paleoklimatyczne dla okresu od około 970 tys. lat temu (początek krystalizacji polewy z Jaskini Głębokiej) do około 160 tys. lat temu (wiek najmłodszych warstw polewy JS-SC-1 z Systemu Jaskiń Demianowskich).

Obejmujący długi okres czasu wzrost polewy z Jaskini Głębokiej (od 24 do 15 tlenowego stadium izotopowego - ang. Marine Isotopic Stage MIS) jednoznacznie wskazuje, że zimniejsze okresy w tym czasie zazwyczaj nie powodowały zatrzymania wzrostu nacieków jaskiniowych w rejonie Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej, sugerując raczej łagodny, wilgotny klimat i ciągły dopływ wody do jaskini. Co więcej, wilgotniejszy klimat podczas zimnych stadiów ułatwiał wzrost nacieków jaskiniowych. Pojedyncze stwierdzone przerwy w depozycji analizowanej polewy miały miejsce podczas ciepłych stadiów tlenowych MIS 19, 15 i 13, co może wskazywać na okresy zmniejszonej dostawy wody podczas cieplejszych interglacialiów i wskazuje na istotną rolę ilości opadów, która mogła wpływać na tempo wzrostu polewy.

Badania stalagmitu SC-3 z jaskini Szczelina Chochołowska stanowiły podstawę rekonstrukcji klimatu panującego na obszarze Tatr pomiędzy około 330 a 200 tysięcy lat temu i pozwoliły na identyfikację ciepłych i wilgotnych interstadialów umożliwiających długie i ciągłe narastanie nacieków oraz okresów, gdy niesprzyjające warunki środowiskowe powodowały przerwy w depozycji. Najlepsze warunki dla wzrostu nacieku występowały przez większość MIS 9e i MIS 9c. Mniej korzystne warunki środowiska, widoczne w zapisie ze stalagmitu SC-3, były związane z chłodniejszym klimatem podczas MIS 8, a także intensywnymi zmianami hydrologicznymi zachodzącymi podczas przejścia MIS 9/MIS 8 i w trakcie MIS 7. Opierając się na zebranych danych wydaje się, że przerwy w depozycji stalagmitu SC-3 wynikały m.in. z występowania okresów suchego klimatu w MIS 9a, bądź też gwałtownych zmian ilości opadów w trakcie MIS 8. Porównanie wszystkich otrzymanych danych z innymi zapisami paleośrodowiskowymi z obszaru Europy pozwoliło uściślić interpretacje warunków paleoklimatycznych i wskazało na dominującą rolę cyrkulacji północnoatlantyckiej w kształtowaniu klimatu Europy środkowej w tym czasie.

Kompleksowe badania nacieków z Jaskiń Demianowskich w Niżnych Tatrach umożliwiły rekonstrukcję klimatu panującego na tym obszarze w szerokim przedziale czasowym, od około 375 do 157 tysięcy lat (MIS 11a do MIS 6c). Wyniki otrzymane z badań stalagmitu PD-7 dodatkowo pokazały, że warunki lokalne, takie jak wzajemny układ gleba/skały, cyrkulacja wody lub akumulacja świeżych osadów powyżej jaskini, mogą również w istotny sposób wpływać na skład izotopowy kalcytu budującego nacieki, zwłaszcza podczas gwałtownych zmian klimatycznych. Wzajemnie uzupełniające się wyniki, otrzymane różnymi metodami, pozwoliły na identyfikację głównych zmian klimatycznych w analizowanym okresie. Najstarsza część zapisu wskazuje na stosunkowo płynne przejście do chłodnego MIS 10, w którym możliwy był swobodny rozwój gleb i roślinności, przynajmniej do czasu maksimum glaciału w MIS 10a. Kolejny okres wzrostu nacieków w Niżnych Tatrach (MIS 9) charakteryzował się generalnie ciepłymi warunkami klimatycznymi, umożliwiającymi ciągły wzrost nacieków, ale jednocześnie z pojawiającymi się okresami z mniejszymi opadami w starszej części MIS 9e oraz MIS 9a. Uzyskane dane z MIS 8, podobnie jak w przypadku badań z Tatr, sugerują stosunkowo łagodne warunki nie powodujące zatrzymania wzrostu nacieków jaskiniowych, ale z okresowo występującymi intensywnymi dostawami wody do jaskiń. Okres MIS 7 charakteryzowały przede wszystkim gwałtowne zmiany klimatyczne, obejmujące krótkie, ale intensywne, ochłodzenie klimatu w MIS 7d, a następnie gwałtowne przejście do stosunkowo ciepłych i wilgotnych warunków w MIS 7c, a także mocno zmienne warunki hydrologiczne podczas MIS 7a. Uzyskany z nacieków zapis klimatu podczas MIS 6 ujawnia dwudzielność tego okresu ze stosunkowo łagodnymi warunkami w starszych MIS 6d i MIS 6c oraz pogorszeniem warunków podczas MIS 6b i MIS 6a uniemożliwiających wzrost nacieków jaskiniowych. Porównanie zapisów uzyskanych z Niżnych Tatr z innymi zapisami europejskimi ujawniło istnienie pewnych podobieństw dotyczących m.in. okresów wzrostu nacieków, czy istnienia generalnego trendu w zapisach izotopów stabilnych tlenu i węgla rejestrującego ponadregionalne zmiany klimatu. Pozwoliło jednak również na identyfikację różnic sugerujących nieco odmienną charakterystykę klimatyczną obszaru Niżnych Tatr z okresami suszy w obrębie ciepłych okresów interglacialnych, a także stosunkowo łagodnym klimatem podczas glacialiów.

## Abstract

The aim of presented study was to determine the palaeoclimatic conditions of the Middle Pleistocene in Southern Poland and Northern Slovakia. The research was based on speleothems from three caves located in different karst regions: Głęboka Cave in Jura Krakowsko-Częstochowska, Szczelina Chochołowska in the Western Tatras and the Demänovská Cave System in Slovakia. Speleothems, thanks to their unique features, play an important role in palaeoenvironmental research. Analyses of samples from speleothems allow to trace the variability of many physicochemical parameters depending on the crystallization conditions, e.g. isotopic composition of oxygen and carbon, variability of the content of trace elements or petrological changes in the speleothems calcite. On the basis of the variability of obtained records in the timescale, it is possible to conclude about palaeoenvironmental conditions, and on their basis, about climate changes during the crystallization of speleothems.

The Middle Pleistocene period was chosen for detailed palaeoclimatic studies. It was time of consecutive glacials and interglacials, and generally was characterised with abrupt climatic changes. At the same time, this period is still poorly represented, especially in European continental archives.

As a result of the study, a new palaeoclimatic record was obtained for the period from approx. 970 ka ago (age of the oldest flowstone layers from the Głęboka Cave dated using the OIS method) to about 160 ka (the youngest layers of the JS-SC-1 flowstone from the Demänovská Cave System).

The very stable growth of the flowstone from Głęboka Cave (from 24 to 15 marine isotopes stage - MIS) clearly indicates that cold periods in the Pleistocene usually did not hamper significantly the growth of speleothems, e.g. by freezing or stopping the water supply by the presence of glaciers. Moreover, the wetter climate during the cold isotope stages actually facilitated the growth of speleothems. A few identified hiatuses occurred during the warm isotope stages MIS 19, 15 and 13, which may indicate periods of reduced water supply during warmer interglacials and suggest the important role of the amount of rainfall, which determined the growth rate of the flowstone.

Study based on the SC-3 stalagmite allowed for the reconstruction of the palaeoclimate in the Tatra Mountains between about 330 and 200 ka and allowed an identification of the warm and humid periods with long and continuous speleothem growth, as well as periods when unfavourable environmental conditions could lead to hiatuses. The best conditions for the stalagmite growth were during the majority of MIS 9e and MIS 9c. The deterioration of the environmental conditions took place during the MIS 8, the less hydrologically stable MIS 9/MIS 8 transition and the MIS 7. Based on the collected data, it can be concluded that hiatuses in the SC-3 stalagmite resulted from the conditions of a reduced amount of precipitation or strong hydrological changes during the MIS 8 glacial. The comparison of all the obtained data with other palaeoenvironmental records from the area of Europe made it possible to support the interpretations of palaeoclimatic conditions and indicated the dominant role of the North Atlantic circulation influencing on the climate of Central Europe.

Multiproxy studies based on speleothems from the Demänovská Cave System in the Low Tatras resulted in the reconstruction of the climate in this area over a long time period from about 375 to 157 ka (MIS 11a to MIS 6c). The results obtained from the PD-7 stalagmite additionally showed that local conditions, such as the soil/ rock geometry, water circulation or the accumulation of fresh sediments in the area of alimentation, may also significantly affect the isotopic composition of the speleothem calcite, especially during rapid climate changes. The complementary results from different methods made it possible to identify the main climate changes in the analyzed period. The oldest part of the record indicates a relatively smooth transition to the cool MIS 10, with rather undisturbed soil and vegetation development, at least until the glacial maximum in MIS 10a. The next period of flowstone growth in the Low Tatras (MIS 9) was characterized by generally warm climatic conditions, allowing for a continuous growth of speleothems, however at the same time with periods with lower precipitation in the older part of MIS 9e and during MIS 9a. The obtained data corresponding to MIS 8, similarly like in the case of the study from the Tatra Mountains, suggest relatively mild conditions that do not stop the growth of speleothems, but with periodically intense water supplies to the caves. The MIS 7 period was characterized primarily by rapid climatic changes involving short but intense cooling of the climate in MIS 7d, followed by a sharp transition to relatively warm and humid conditions in MIS 7c, and highly variable hydrological conditions during younger MIS 7a. The climate record of MIS 6, obtained from studied speleothems reveals the clear division of this period with relatively mild conditions in the older MIS 6d and MIS 6c and the deterioration of the conditions during MIS 6b and MIS 6a preventing the speleothem. The comparison of the records obtained from the Low Tatras with other European records revealed the existence of some similarities regarding, i.a., periods of speleothems growth, or the existence of a general trend in the records of stable oxygen and carbon isotopes recording supra-regional climate changes. However, it also allowed for the identification of differences suggesting a slightly different climatic characteristics of the area of the Low Tatras with periods of drought within warm interglacial periods, as well as a relatively mild climate during glacials.