

ZBIGNIEW CAPUTA, GRZEGORZ KŁYS

ROLA STACJI TERENOWEJ W BADANIACH PODZIEMNYCH NA PRZYKŁADZIE PODZIEMI TARNOGÓRSKO-BYTOMSKICH

Abstrakt: W opracowaniu przedstawiono instrumenty i sposób pomiarów w obszarach trudno dostępnych, o ekstremalnych warunkach i małym zróżnicowaniu mikroklimatycznym, na przykładzie Podziemi Tarnogórsko-Bytomskich (PTB). PTB jest największym systemem podziemi w Polsce liczącym około 300 km. Powstały one w wyniku eksploatacji rud metali. Autorzy prowadzili pomiary mikroklimatyczne wnętrza (pomiary kryptoklimatyczne) PTB w sezonach zimowych od 2001 do 2004 r. Stwierdzono, iż automatyczne stacje meteorologiczne pozwalają: realizować pomiary z dużą częstotliwością i jednocześnie w kilku punktach, wyeliminować wpływ człowieka na pomiary, zmniejszyć uciążliwość pomiarów. Wątpliwość budzą pomiary przepływu powietrza ze względu na małą dokładność przyrządu.

Słowa kluczowe: kryptoklimat, pomiary podziemne, Podziemia Tarnogórsko-Bytomskie, nietoperze.

1. Wstęp

Pomiary w obszarach trudno dostępnych, o ekstremalnych warunkach i małym zróżnicowaniu mikroklimatycznym są trudne w realizacji oraz narażone na błędy związane z obecnością człowieka. Automatyczne stacje meteorologiczne pozwalają uniknąć zagrożeń, wyeliminować wpływ człowieka na pomiary, zmniejszyć zagrożenia i uciążliwość pomiarów w porównaniu do pomiarów prowadzonych metodą klasyczną.

Podstawowymi elementami kryptoklimatu¹ charakteryzującymi system korytaryz nieczynnych kopalń są: ciśnienie, temperatura, wilgotność, prędkość i kierunek przepływu powietrza, gazowy skład powietrza oraz promieniowanie ciepła geotermalnego. Autorzy prowadzili pomiary mikroklimatyczne wnętrza Podziemi Tarnogórsko-Bytomskich (PTB) w sezonach zimowych od 2001 do 2004 r. Dodatkowo badania dotyczyły liczebności nietoperzy hibernujących w PTB oraz uwarunkowań wyboru

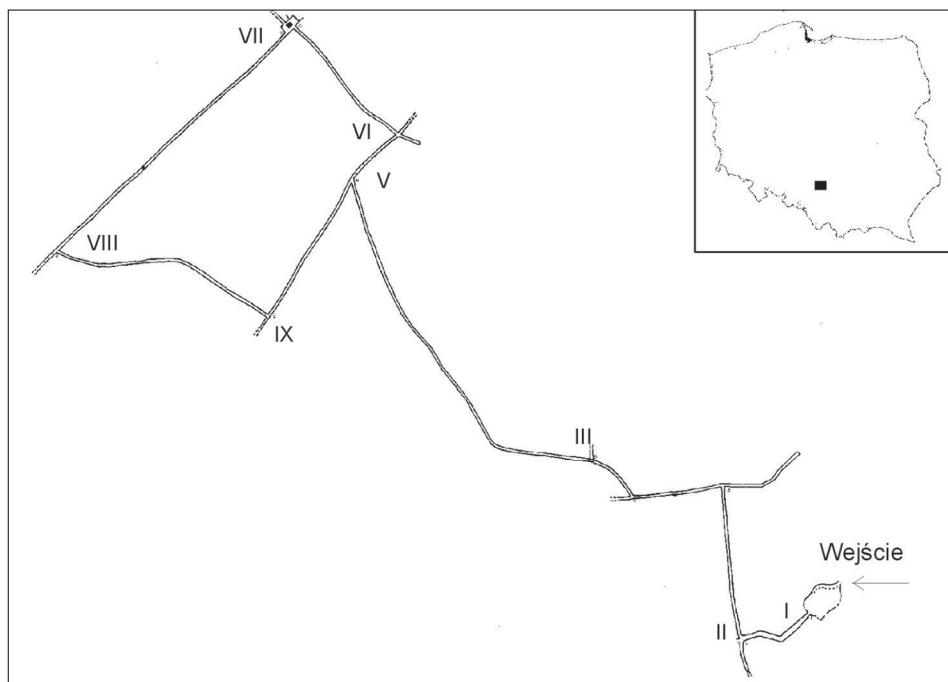
¹ Często w literaturze przedmiotu używanym terminem jest mikroklimat wnętrza, np. mikroklimat jaskiń.

przez nietoperze miejsc hibernacji. Rozpoznane kryptoklimatu PTB wymagało pomiarów w warunkach pewnej stabilności, gdzie sama obecność człowieka zaburzała ową stabilność. Dlatego zastosowano m. in. urządzenia automatyczne.

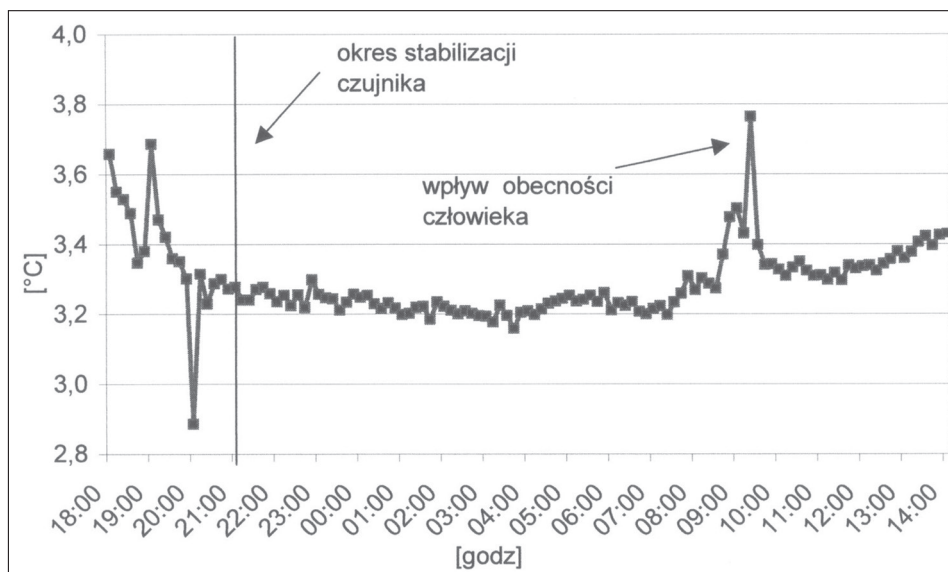
2. Obszar badań

Badania liczebności nietoperzy oraz pomiary kryptoklimatyczne przeprowadzone zostały w komorach i korytarzach Podziemi Tarnogórsko-Bytomskich. Jest to największy system podziemny w Polsce składający się z ponad 300 km chodników oraz licznych komór i wybiek. Rozciąga się on w przybliżeniu między $50^{\circ}24'$ i $50^{\circ}30'$ szerokości geograficznej północnej oraz $18^{\circ}58'$ i $18^{\circ}76'$ długości geograficznej wschodniej. Zgodnie z podziałem fizyczno-geograficznym Polski teren ten położony jest w obrębie makroregionu Wyżyna Śląska i mezoregionu Garb Tarnogórski (Kondracki 1988), natomiast administracyjnie znajduje się na terenie miast Tarnowskie Góry i północnej części Bytomia (ryc. 1), w obrębie województwa śląskiego.

Początkowo prace terenowe prowadzono na całym obszarze Podziemi Tarnogórskich (Kłys 1994a, 1994b) jednak ze względu na rozległość podziemnego



Ryc. 1. Plan odcinka badawczego PTB, skala 1:500. Zaznaczono punkty pomiarowe Fig. 1. The plan of research area, scale 1:500. The measurement points are marked



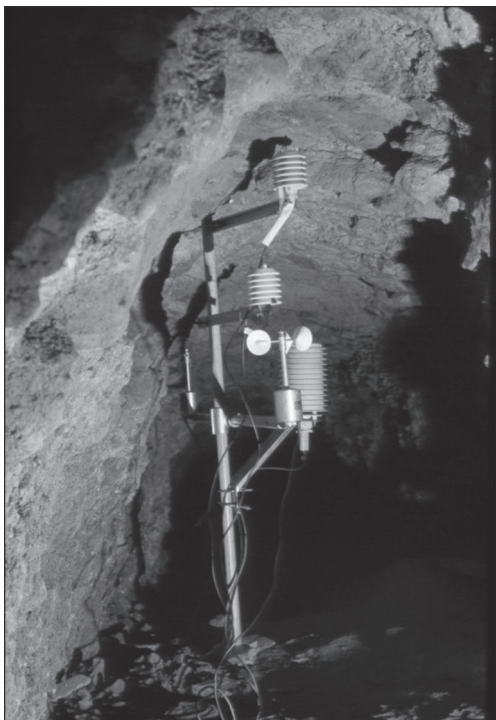
Ryc. 2. Przebieg temperatury powietrza na wys. 80 cm w punkcie III w dniu 26.01.2001. Zaznaczono wpływ obecności człowieka i czas stabilizacji czujnika Pt100
 Fig. 2. Diurnal course of air temperature at the level of 80 cm at III point on 26.01.2001. The human influence and stabilization time of the Pt100 sensor are marked

systemu prace terenowe ograniczono do wybranego fragmentu podziemi. Do szczegółowych badań został wybrany 700-metrowy odcinek podziemi (ryc. 2), do którego wejście znajduje się w pionowej ścianie kamieniołomu - stanowiska dokumentacyjnego "Błachówka". Wybrany fragment znajduje się pod rezerwatem "Segiet". Na podstawie wcześniejszych badań liczebności nietoperzy (w latach 1989-1994) stwierdzono, iż najwięcej nietoperzy zimowało w miejscu pod rezerwatem „Segiet” (Kłys 1994a, 1994b). W tym też miejscu prowadzono większość pomiarów mikroklimatycznych (Kłys, Caputa 2003; Caputa i in. 2004).

Większość korytarzy w odcinku badawczym PTB ma rozwinięcie poziome, jednak na pewnych odcinkach deniwelacje są znaczne. Największe wysokości występują w komorach wejściowych gdzie osiągają nawet 7 m, a w korytarzu nr II około 2 metrów. Różnica wysokości między otworem a najniższym punktem, czyli krawędzią szybika między poziomowego wynosi 9,5 m.

3. Materiał i metody

Do badań kryptoklimatycznych PTB wykorzystano większość dostępnych metod pomiarowych. Początkowo używano metod tradycyjnych (anemometru skrzydełkowego, psychrometru aspiracyjnego Assmanna). Wykonywano pomiary ruchu powietrza przy użyciu anemometru skrzydełkowego AR-2. Błąd tego



Fot. 1. Stacja automatyczna Campbell w czasie pomiarów w korytarzu PTB (osłony chronią czujniki przed uszkodzeniami i kapiącą wodą)
 Phot. 1. The Campbell automatic station used in the research (the radiation shields protect the sensors from destruction and water)

urządzenia wynosi $\pm 0,02$ m/s, natomiast wartość progowa 0,01 m/s. Do pomiaru rozkładu temperatury i wilgotności względnej używano termometru ręcznego i psychrometru aspiracyjnego Assmanna o dokładności odpowiednio 0,1 i 0,2°C. W celu zbadania zmienności temperatury w krótkim czasie oraz stratyfikacji termicznej użyto automatycznej stacji meteorologicznej firmy Campbell (fot. 1), w której zainstalowano: bilansomierz promieniowania CNR1 Kipp&Zonen (w celu pomiarów promieniowania długofalowego), termohigrometr HMP45C Vaisala, termometry Pt100, anemometr A100R, czujnik kierunku wiatru W200P, pomiar i rejestrację wykonywał logger CR23X firmy Campbell. Stacja była zainstalowana w charakterystycznych miejscach PTB — korytarzu, szybie oraz przewężeniu i rozgałęzieniu korytarzy.

4. Pomiary instrumentalne ręczne i automatyczne

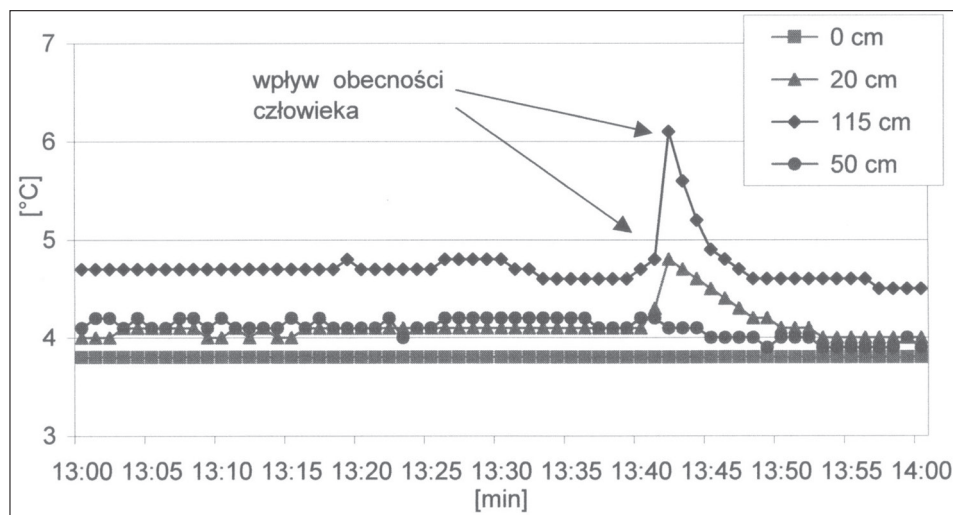
Zastosowanie standardowych przyrządów pozwoliło na charakterystykę mikroklimatu PTB oraz

analizę wzajemnego oddziaływania wewnętrznej i zewnętrznej atmosfery w części przyotworowej. Szczególną uwagę zwrócono na przepływ powietrza w systemie PTB. W przekroju poprzecznym korytarza prędkość powietrza nie jest stała we wszystkich jego punktach, jak również kierunek tego przepływu jest zmienny (Kłys i in. 2002). Ta zmienność prędkości w różnych punktach danego przekroju jest trudna do scharakteryzowania ze względu na rozległy i skomplikowany system PTB. Zarówno rozważania teoretyczne jak i obserwacje wskazują, że duże prędkości powietrza występują w środkowej części przekroju. Prędkość powietrza jest niesymetryczna w przekroju w systemach podziemnych (np. jaskiń). W badanym fragmencie podziemi mamy do czynienia z dwoma rodzajami przepływu powietrza: laminarnym czyli uwarstwionym oraz turbulentnym. Laminarny przepływ powietrza jest stabilny. Oddzielne warstwy powietrza przesuwają się równoległe do osi wyrobiska, nie mieszając się między sobą. Turbulentny przepływ charakteryzuje

się tym, że cząstki atmosfery podziemnej poruszają się w sposób nie uporządkowany i po bardzo zawiłych torach, wskutek czego powstają ciągle chaotyczne (na pozór) zaburzenia przepływu. W centralnej części korytarza mamy przeważnie przepływ laminarny. Natomiast ustawiony w tej części czujnik kierunku wiatru W200P nie wykazywał zmian kierunku ruchu powietrza w przeciwieństwie do tradycyjnego anemometru skrzydełkowego. Wynikało to głównie z tego, że małe natężenie laminarnego przepływu powietrza nie powodowało przesunięcia czujnika kierunku (wartość progowa czujnika wynosi 0,2 m/s). W badanym systemie zmiany kierunku przepływów występują głównie w okresie wiosny i jesieni jak również w okresach przejściowych zmiany dobowe. Przyczynami tego zjawiska mogą być zmiany ciśnienia atmosferycznego (Wigley 1967; Dublianskiy, Lomaiw 1980). Porównując wyżej omówione pomiary z wynikami otrzymanymi ze stacji automatycznej należy stwierdzić, że pomiary automatyczną stacją umożliwiają analizę zmian czasowych natężenia przepływu powietrza powyżej 0,1 m/s oraz kierunku tego przepływu powyżej 0,2 m/s. Natomiast niska wartość progowa anemometrów skrzydełkowych typu AR-2 pozwala na precyzyjne pomiary chwilowego ruchu powietrza. Wątpliwości budzą pomiary w korytarzach, których małe przekroje powodują, że ciało obserwatora może zakłócać ruch powietrza. Do bardziej precyzyjnych pomiarów powinno się zainstalować czujniki soniczne prędkości jak i zmian kierunku przepływu powietrza oraz jego składowych – anemometry soniczne 3D. Są one odporne na warunki atmosferyczne jednak mało precyzyjne w zakresie małych prędkości.

Część wyników pomiarów temperatury i wilgotności prowadzono w oparciu o psychrometr aspiracyjny Assmanna. Jednak wartości uzyskane tą metodą dają wynik przedstawiający uśrednioną temperaturę warstwy powietrza (zasysanie dużej ilości powietrza z przekroju wyrobiska podziemnego) a nie pomiar w danym miejscu, np. hibernacji nietoperza. Tak przeprowadzone pomiary dają tylko bardzo ogólny obraz warunków termicznych i wilgotnościowych. Dlatego wprowadzono inne metody pomiarowe w badaniach kryptoklimatycznych PTG.

Należy również zwrócić uwagę, że w systemach podziemnych przy stosunkowo stabilnym mikroklimacie pomiary tradycyjnymi metodami są bardzo utrudnione a wyniki obarczone bardzo dużym błędem. Zależy to od liczby osób, czasu ich przebywania itp. Dotyczy to wpływu m. in. ruchu turystycznego w jaskiniach i zmian mikroklimatu (Kwiatkowski, Piasecki 1989; Piasecki 1996a, 1996b; Pflitsch i in. 1999; Zelinka 2002). Główną wadą pomiarów temperatury miejsca jest stosowanie psychrometru Assmanna, który zasysa również powietrze nagrzane przez obserwatora (37°C to temperatura ciała człowieka a -11 do +10°C – powietrza we wnętrzu podziemi). Przy niskiej temperaturze podziemi i niedokładności pomiaru, głównie z powodu wpływu ciepła wydzielanego przez obserwatora, dość ostrożnie trzeba podchodzić do interpretacji tego elementu badań (ryc. 2). W wąskich korytarzach i komorach o małej objętości wydzielanie ciepła i oddychanie obserwatora ma istotny wpływ na wyniki obserwacji. Postanowiono zastosować automatyczną stację i zbadać m.in. wpływ obecności obserwatora lub kilku obserwatorów na pomiary w podziemiach. Ponadto zastosowanie automatycznej

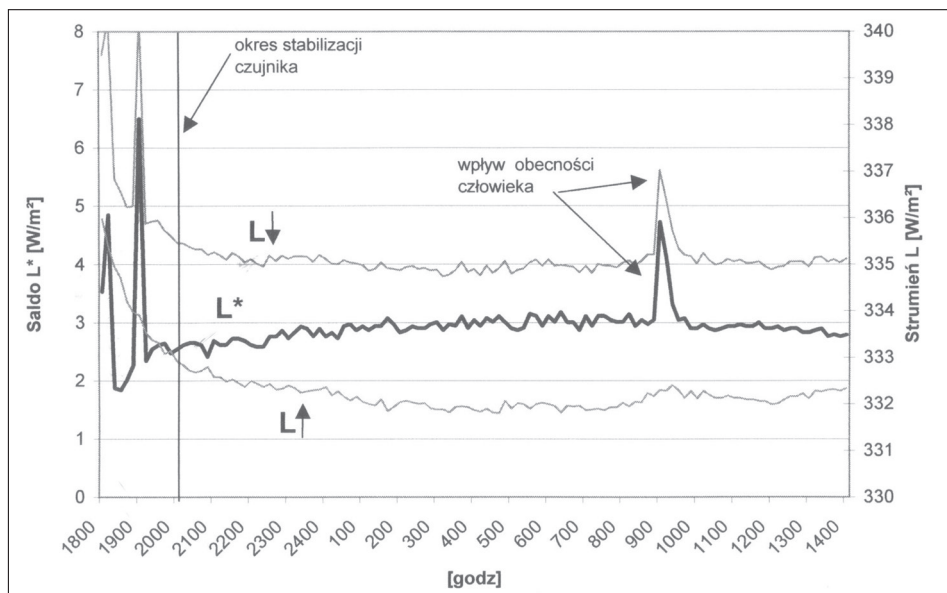


Ryc. 3. Przebieg temperatury powietrza na wysokości 20 i 50 cm oraz podłoża i stropu (115 cm) w dniu 8.03.2002. Zaznaczono wpływ obecności człowieka na wartości temperatury Fig. 3. Diurnal course of air temperature at the level: 20 cm, 50 cm, bottom and top (115 cm) on 8.03.2002. The human influence is marked

stacji pozwoliło prowadzić pomiary w miejscu hibernacji nietoperzy, bez jej zakłócania. Zastosowanie czujników w automatycznej stacji wymagało obowiązkowej kontroli ze standardowymi przyrządami meteorologicznymi. Stwierdzono, iż nawet krótkotrwałe przebywanie jednej osoby w obrębie stacji znacząco zmienia wartości temperatury otoczenia oraz promieniowania długofalowego (ryc. 2, 3, 4). Ze względu na to, iż warunki otoczenia w podziemiach znacząco różnią się od warunków zewnętrznych wymagany jest dłuższy okres stabilizacji czujników. Po zainstalowaniu czujników obserwowano dziesięciominutowy okres stabilizacji zależny od gabarytów i budowy czujników (ryc. 2, 3).

5. Warunki termiczne w PTB

Na podstawie pomiarów temperatury sporządzono rozkłady pionowych gradientów termicznych w charakterystycznych miejscach badanego odcinka PTB. Rozkład temperatury przyjmuje wartości od najniższych przy spagu do najwyższych przy stropie. Natomiast pomiary wykonane przy pomocy stacji automatycznej wykazują, że temperatura w badanym miejscu nie zawsze ma taki rozkład. Rozkład poziomy temperatury w korytarzu może być bardziej skomplikowany, a ujawnia się dopiero po zastosowaniu stacji rejestrującej warunki lokalne bez wpływu człowieka. W badanym fragmencie temperatura była zmienna w zależności od warunków zewnętrznych na poszczególnych stanowiskach. Kształtowała się ona zimą od wartości ujemnych na zewnątrz do około 9°C we wnętrzu podziemi.



Ryc. 4. Przebieg promieniowania długofalowego w korytarzu PTB. Zaznaczono wpływ obecności człowieka i czas stabilizacji czujnika CRN1 (26.01.2001)

Fig. 4. Diurnal course of long-wave radiation in the underground corridor on 26.01.2001. The human influence and stabilization time of the CNR1 sensor are marked

Na podstawie pomiarów anemometrycznych stwierdzono, że występujące w podziemiach ruchy powietrza mają cyklicznie zmienny kierunek przepływu, zarówno w ciągu doby jak i sezonowo. Ogólnie można podsumować, że występuje tu schemat: okres chłodny – ruch powietrza skierowany do wewnątrz, okres ciepły – przepływ powietrza skierowany na zewnątrz. Badania przy pomocy automatycznej stacji terenowej nie wykazały zmian kierunku przepływu powietrza w odróżnieniu od badań tradycyjnymi metodami.

Wahania wilgotności względnej w poszczególnych punktach pomiarowych były nieznaczne. Największe zmiany zaobserwowano w części przyotworowej (pkt. III), który wyraźnie odbiega statystycznie od reszty wybranego fragmentu podziemi. Wilgotność względna wahała się nieznacznie (95–100%) w głębszych częściach PTB.

6. Zalety i wady stacji automatycznych w badaniach podziemnych

Automatyczna stacja terenowa dobrze funkcjonowała w trudnych warunkach podziemi PTB. Małe gabaryty poszczególnych czujników i składany maszt umożliwiły wniesienie stacji przez ciasne otwory wejściowe oraz częste przemieszczanie stacji w korytarzach i sztolniach PTB.

Zastosowanie stacji automatycznej pozwoliło przede wszystkim wyeliminować wpływ człowieka w czasie wykonywania pomiarów. Pomiary mogły być realizowane z dużą częstością, a w przypadku temperatury jednocześnie w kilku punktach. Na podstawie pomiarów precyzyjnie określono pionową zmienność temperatury w miejscach hibernacji nietoperzy. Zmienność ta różni się zdecydowanie od rozkładu temperatury wykonanego na podstawie pomiarów tradycyjnymi metodami, np. psychrometrem Assmanna. Analiza ciągów pomiarowych pozwoliła przede wszystkim na stwierdzenie dużego zróżnicowania termicznego w przekroju poprzecznym, jak też podłużnym chodnika podziemnego. Badania przepływu powietrza za pomocą automatycznej stacji miały zbyt małą dokładność pomiaru w porównaniu z anemometrem skrzydełkowym AR-2. Natomiast przy przepływach laminarnych nie był rejestrowany kierunek ruchu powietrza. Również pomiary wilgotności względnej przy nasyceniu 90–100% czujnikami pojemnościowymi były mało precyzyjne. Bardziej dokładny byłby higrometr polimerowy, jednak autorzy nie posiadają takiego przyrządu, dlatego stosowali psychrometr aspiracyjny Assmanna ze wspomnianymi zastrzeżeniami.

Porównując tradycyjne pomiary z wynikami otrzymanymi ze stacji automatycznej stwierdzono, iż do dalszych pomiarów należy zastosować przyrządy automatycznie rejestrujące elementy mikroklimatyczne wnętrza, głównie temperaturę. Należy rozważyć możliwości zastosowania innych układów do rejestracji ruchu powietrza i wilgotności, np. anemometr termalny.

LITERATURA:

- Caputa Z., Kłys G., Kowalczyk K., 2004, *Tarnowskie Góry – Bytom Mines – preservation and development of Europe's unique ecosystem*, [w:] D. Kerkovic (red.), *Geographical Information System in Research & Practice*, Zagreb, 324-327.
- Dubliński W.N., Lomajew A.A., 1980, *Mikroklimat karstowych polostiej*, [w:] *Karstowyje pieszczery Ukrainy*, Kijew.
- Kłys G., 1994a, *Podziemia Tarnogórskie – największe zimowisko nietoperzy (Chiroptera) na Górnym Śląsku*, *Rocznik Muzeum Górnośląskiego, Przyroda*, 14, 27-31.
- Kłys G., 1994b, *Nietoperze Podziemi Tarnogórskich – stan poznania*, [w:] W. Wołoszyn (red.), *Zimowe spisy nietoperzy w Polsce 1988-1999. Wyniki i ocena skuteczności*, CiCh, IiEZ PAN, Kraków, 91-97.
- Kłys G., Caputa Z., Gula P., 2002, *Bats hibernation and ecoclimate in historical mine of Tarnowskie Góry-Bytom underground*, [w:] A. Tyc (red.), *Mat. XXI Szkoły Speleologicznej*, 7-13.02.2002, Cieszyn-Morawski Kras, 45-49.
- Kłys G., Caputa Z., 2003, *Dynamiczna część Podziemi Tarnogórsko-Bytomskich preferowana przez nietoperze?*, [w:] A. Tyc (red.), *Mat. XXII Szkoły Speleologicznej*, Cieszyn–Teplice nad Beczwą, 10-16.02.2003, *Prac. Bad. i Dok. Środ. Krasowego, Kat. Geomorf., Uniw. Śląski*.
- Kondracki J., 1988, *Geografia fizyczna Polski*, PWN, Warszawa.
- Kwiatkowski J., Piasecki J., 1989, *Mikroklimat jaskini*, [w:] Jahn A., Kosłowski S., Wiszniowska T. (red.), *Jaskinia Niedźwiedzia w Kletnie*, PAN, 221-240.

- Piasecki J., 1996a, *Przyczyny zmian klimatu Jaskini Niedźwiedziej w Kletnie*, Prace Inst. Geogr., Ser. C, Meteorologia i Klimatologia, Acta Univ. Wratisl., 1794, III, 33-56.
- Piasecki J., 1996b, *Warunki termiczne w jaskini Niedźwiedziej*, [w:] A. Jahn, S. Kozłowski, T. Wiszniewska (red.), *Masyw Śnieżnika. Zmiany w środowisku przyrodniczym*, Wydawnictwa PAE, 11, Warszawa, 207-218.
- Pflitsch A., Piasecki J., Kleeberger M., 1999, *Impact of Tourists on the Climate of Static Cave Systems*, [w:] Proc. of the 15th Int. Congr. of Biometeor. and Int. Conf. on Urban Climat., Macquarie University, Sydney, (ICB24.3), 1-8.
- Wigley T.M.L., 1967, *Mullamullang*, NSS News, 25. 6, 105-106.
- Zelinka J., 2002, *Microclimatic research the Slovakian show caves*, Acta Carsologica, 31, 1, 151-163.

THE ROLE OF MOBILE UNITS IN THE UNDERGROUND RESEARCH IN TARNOWSKIE GÓRY – BYTOM AREA

SUMMARY

The aim of the paper is to present the equipment and techniques used in the research in a hardly accessible area, in extreme conditions. It also shows small microclimate variability in the underground area of Tarnowskie Góry–Bytom region. It is the largest system of underground corridors in Poland, about 300 km of length, which is the result of exploitation of metal ores. The authors carried the microclimatic measurements in winter seasons from 2001 to 2004. The usage of automatic equipment allowed to avoid external (human) influence on the measurement unit, and provided high time and spatial resolution of the measurements. However, low accuracy of the anemometric measurements makes the results of those measurements doubtful.

Zbigniew Caputa
Katedra Klimatologii
Wydział Nauk o Ziemi
Uniwersytet Śląski
Sosnowiec

Grzegorz Kłys
Katedra Biosystematyki
Uniwersytet Opolski
Opole

