



ANALIZA JAKOŚCI FUNKCJONOWANIA CZUJNIKÓW iBUTTON® POD KĄTEM PRZYDATNOŚCI W BADANIACH ŚRODOWISKOWYCH

Monika Panfil¹, Jacek Leśny²

¹Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie,

²Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

QUALITY ANALYSIS OF FUNCTIONING OF THE iBUTTON SENSORS CONCERNING THEIR SUITABILITY IN ENVIRONMENTAL STUDIES

Streszczenie

Pomiary temperatury powietrza w badaniach środowiskowych są zazwyczaj standardowymi działaniami, ale często stwarzają wiele problemów. Główną bolączką wszystkich pomiarów terenowych jest problem z zasilaniem. W pracy przedstawiono przykłady wykorzystania czujników iButton®Dallas, jako alternatywę dla drogiej, energetycznie zależnej aparatury. Wstępne testy wykazały ich wysoką czułość, dokładność i niezawodność. Czujniki zostały wykorzystane w kilku badaniach terenowych: analizie pionowego gradientu temperatury, badaniach nad rozkładem temperatury powietrza w makroprzestrzeni (ok. 10ha), analizie topoklimatycznej na powierzchni około 50 km². Autonomiczność energetyczna czujników pomogła w pełni wykorzystać ich inne zalety, jak niewielki rozmiar i możliwość bezproblemowego umieszczenia w wybranych punktach. Uzyskane w ten sposób wyniki pokazały szereg ważnych informacji o rozkładzie temperatury, których w standardowych warunkach obserwacji nie można byłoby uczynić. W związku z tym, zdaniem autorów, czujniki iButton®Dallas są dobrą alternatywą dla wszelkiego rodzaju obserwacji terenowych, których celem jest sprawdzenie stanu cieplnego atmosfery i innych środowisk, np.: gleby lub wody.

Słowa kluczowe: czujnik iButton, temperatura powietrza, badania środowiskowe

Summary

The measurements of air temperature in the environmental studies are usually a standard action, but often pose a lot of problems. The main trouble all field measurements is the problem of power supply. The paper presents an alternative to expensive and subsidiary equipment in the form of iButton®Dallas. The preliminary tests have shown their very high sensitivity, accuracy and reliability. The sensors have been used in several field studies, from the vertical point system, through the distribution of microtherm conditions within 10 hectares, to the topoclimatic analysis an area of about 50 km². Energy autonomous sensor allowed full use of the advantage of another that was small in size and place them with no problem at selected points. The measurements were obtained by a number of important information about the distribution of temperature, which in standard conditions of observation would be impossible to do so iButton®Dallas sensors are therefore a good alternative for all kinds of environmental observations, aimed at verification of thermal condition of the atmosphere and other backgrounds, for example soil or water.

Key words: iButton sensor, air temperature, environmental studies

WSTĘP

Jednym z niezaprzeczalnych warunków efektywnego funkcjonowania społeczeństw w otaczającym je środowisku jest stan rozpoznania poszczególnych jego składowych. W obliczu postępu technicznego, dążność naukowców do możliwie dalekich wnioskowań na temat zmieniających się układów i zależności, przekracza niejednokrotnie stopień świadomości przeciętnego obywatela. Bardzo często znaczące osiągnięcia naukowe wskazują na złożoność procesów środowiskowych i odsłaniają arkana skomplikowanej aparatury badawczej. Tyle tylko, że tak potężne urządzenia na miarę wielkich odkryć są bardzo drogie, albo jedyne w swoim rodzaju. Poza tym, zużywają znaczne ilości energii, w którą muszą być stale zaopatrywane. Dlatego w różnych uzasadnionych sytuacjach sięga się do dużo prostszych i tańszych rozwiązań, które jednocześnie nie mają wpływu na obniżenie jakości wykonywanych pomiarów. Uzyskiwane wyniki są raczej łatwe w obróbce statystycznej, do czego nie jest wymagane żadne skom-

plikowane i drogie oprogramowanie. Poza tym wykorzystanie, wydawałoby się prostej aparatury o niezależnym zasilaniu, stwarza mimo wszystko bardzo duże możliwości badawcze [Awtrey 1997, Davidson i in. 2003, Willis i in. 2009].

Bardzo dobrym przykładem dla zobrazowania różnorodności środowiskowej są dość powszechne pomiary temperatury powietrza. W dobie powszechnych dyskusji nad zmianami klimatycznymi, tym bardziej istotne staje się kontrolowanie stanu termicznego atmosfery, która jest miejscem wszelkich procesów biotycznych i abiotycznych. W makro-skali istotą rzeczy jest przewidywanie kierunków zmian, którą tworzą z kolei zależności opisywane w skali mikro. Gdy o temperaturze powietrza dla obszaru Polski można dyskutować w oparciu o pomiary prowadzone dla jednej stacji w Warszawie, to np.: o właściwościach termicznych łąki, jeziora czy lasu można powiedzieć coś więcej tylko na podstawie dokładnych pomiarów topo – lub mikroklimatycznych. Generalnie badania środowiskowe oparte na pomiarach temperatury powietrza wykorzystują jego właściwości termodynamiczne i o ile dokładność pomiaru temperatury może wynosić 0,01 K, a w pewnych przedziałach nawet 0,001 K, to w powszechnym użytku wynosi ona najczęściej 1 K lub co najwyżej 0,1 K.

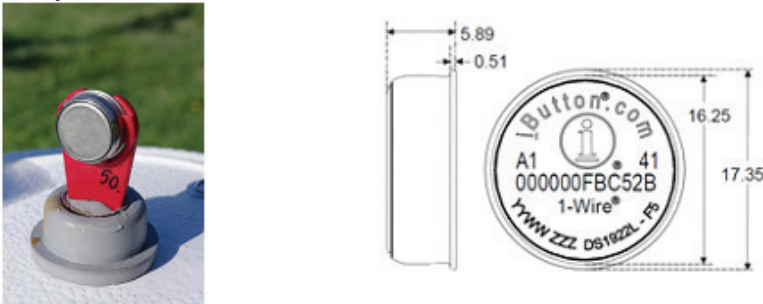
Wobec powyższego celem pracy była analiza jakości funkcjonowania czujników iButton®Dallas pod kątem przydatności w badaniach środowiskowych.

METODYKA BADAŃ

Wszystkie zaprezentowane w pracy materiały pochodzą z terenowych pomiarów temperatury powietrza, prowadzonych w latach 2009-2012 na terenie Polski północno-wschodniej (w okolicach Olsztyna) oraz w zachodniej Kanadzie (Vancouver), które miały na celu charakterystykę warunków mikroklimatycznych wybranych układów środowiskowych. Metodyka pomiarów musiała jednak uwzględnić bardzo istotny czynnik ekonomiczny, który wykluczał ponoszenie jakichkolwiek, dodatkowych wydatków na zapewnienie zasilania w energię zewnętrzną. W związku z tym zdecydowano się wykorzystać autonomiczne czujniki iButton®Dallas.

Są to niewielkie, wytrzymałe, samowystarczalne energetycznie urządzenia, wyposażone w system pomiaru i zapisu informacji m.in. o temperaturze, w postaci rekordów (rys. 1). W pamięci może być przechowywanych łącznie 8192 8-bitowych odczytów lub 4096 16-bitowych odczytów, które mogą być wykonywane z częstotliwością od 1 sekundy do 273 godzin. Pomiary można

zaprogramować w taki sposób, aby rozpoczynały się z dowolnie definiowanym przez użytkownika opóźnieniem minutowym lub po przekroczeniu zadanej wartości progowej. Każdy czujnik posiada unikalny 64-bitowy numer identyfikacyjny, a dostęp do pamięci i sterowania może być chroniony hasłem. Konfiguracja ustawień i komunikacja z komputerem odbywa się poprzez protokół portu szeregowego 1-WireR. Czujnik posiada trwałą obudowę ze stali nierdzewnej, która jest bardzo odporna na szkodliwe czynniki środowiskowe, takie jak wilgoć i kurz. Dodatkowe akcesoria pozwalają na wszechstronne wykorzystanie i montaż urządzenia.

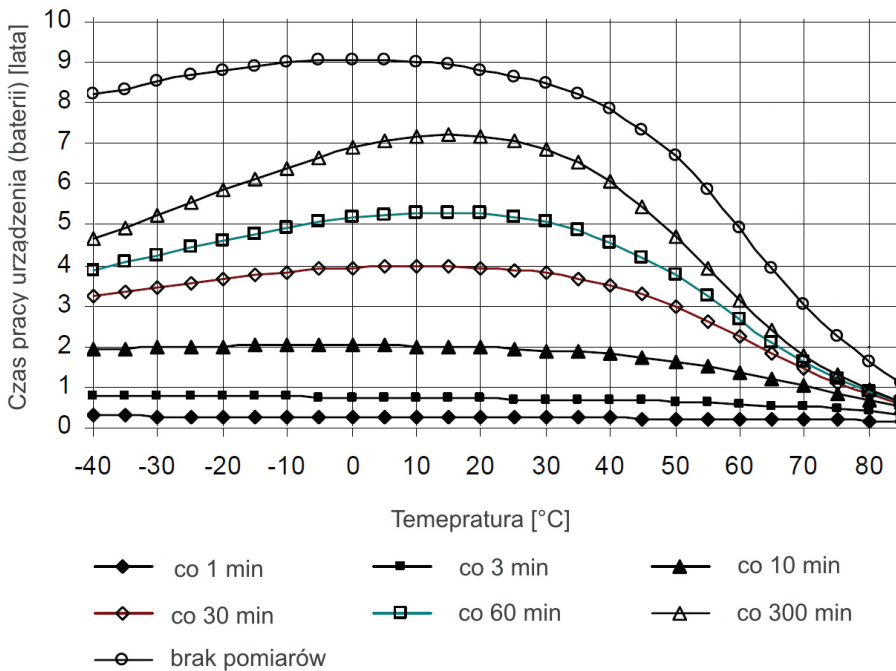


Źródło: fot. M.Panfil, opracowanie własne na podstawie www.maxim-ic.com
Source: Own elaboration at technical specification from www.maxim-ic.com

Rysunek 1. Czujnik iButton®Dallas gotowy do pracy oraz jego schemat [w mm]
Figure 1. The iButton®Dallas sensor ready for operation and its scheme [in mm]

W czasie badań terenowych wykorzystano model czujnika, który pozwalał na pomiar temperatury w przedziale od -40 do $+85$ °C. Rozdzielczość odczytów mogła być dwójaka, tzn. co $0,5$ °C dla zapisu 8-bitowego lub $0,0625$ °C dla 16-bitowego. Ostatecznie wybrano mniejszą liczbę odczytów na poczet większej rozdzielczości. Według producenta dokładność czujników jest większa niż $\pm 0,5$ °C w zakresie od -10 °C do $+65$ °C. Jednak w drodze kalibracji, zrealizowanej w standardowych warunkach klatki meteorologicznej na stacji IMGW w Olsztynie, uzyskano dużo lepsze wyniki, co zostało opisane w dalszej części.

Autonomiczne zasilanie czujników iButton®Dallas pozwala na wykonywanie pomiarów przez określony czas. Zależy on przede wszystkim od częstotliwości zapisu oraz temperatury otoczenia, w jakiej pracuje czujnik (rys. 2).



Źródło: Opracowanie własne na podstawie specyfikacji z www.maxim-ic.com
 Source: Own elaboration at technical specification from www.maxim-ic.com

Rysunek 2. Czas pracy baterii iButton®Dallas zależy od częstotliwości pomiaru i temperatury otoczenia

Figure 2. The life time battery in iButton®Dallas depends on the frequency of measure and ambient temperature

Wynika z tego dość jasno, że optymalną temperaturą pracy dla czujnika jest zakres od 10 do 20 °C i im temperatura powietrza jest wyższa, tym żywotność czujnika krótsza. Niestety czujnik raz uruchomiony, nawet czasowo wyłączony, nie będzie zdolny do pracy po upływie ok. 10 lat. Jednak żywotność standardowych instrumentów często jest porównywalna, a dodatkowo obciążona „wadami” serwisowymi.

Niewielkie rozmiary czujników pozwoliły na skonstruowanie indywidualnych osłon radiacyjnych (wzorowanych na dużo droższych modelach komercyjnych), które z łatwością można było zainstalować w terenie (rys. 3).

Rysunek 3. Osłona radiacyjna, w której umieszczony był czujnik

Figure 3. Radiation shield in which the sensor was placed



Źródło: Fotografia M.Panfil
Source: Photography M. Panfil

W tym celu wykorzystano m.in. drewniane wsporniki mocowane do pni drzew lub słupów elektrycznych (rys. 4).

Po zakupie czujników dokonano kalibracji w celu sprawdzenia jakości ich pracy. Wskazania czujników porównano z danymi dla termometru stacyjnego, zainstalowanego standardowo na stacji meteorologicznej IMGW w Olsztynie. Kalibracja została wykonana z wykorzystaniem dwóch okresów pomiarowych, tj. 30.06-06.07.2009 oraz 18-24.04.2012 roku. Wszystkie czujniki umieszczono wówczas w tej samej klatce meteorologicznej, w której znajdował się termometr wzorcowy. W okresie pomiarów temperatura powietrza wahała się od 13,3 °C do 27,7 °C w pierwszej próbie, w drugiej zaś od 3,0 °C do 18,3 °C. Średnie dobowe kształtowały się odpowiednio na poziomie 20,4 °C i 9,8 °C. Różnice we wskazaniach czujników i termometru stacyjnego w obu okresach wahały

się od 0,0 °C do 0,8 °C. Celem skorygowania wskazań czujników, dla każdego z osobna wyznaczono współczynniki regresji liniowej łącznie z oszacowaniem ich istotności statystycznej. Współczynniki regresji wyznaczano przyjmując za wzorcowy zbiór danych pomiarowych z termometru stacyjnego, a jako zmienne niezależne zbiór danych z poszczególnych termometrów:

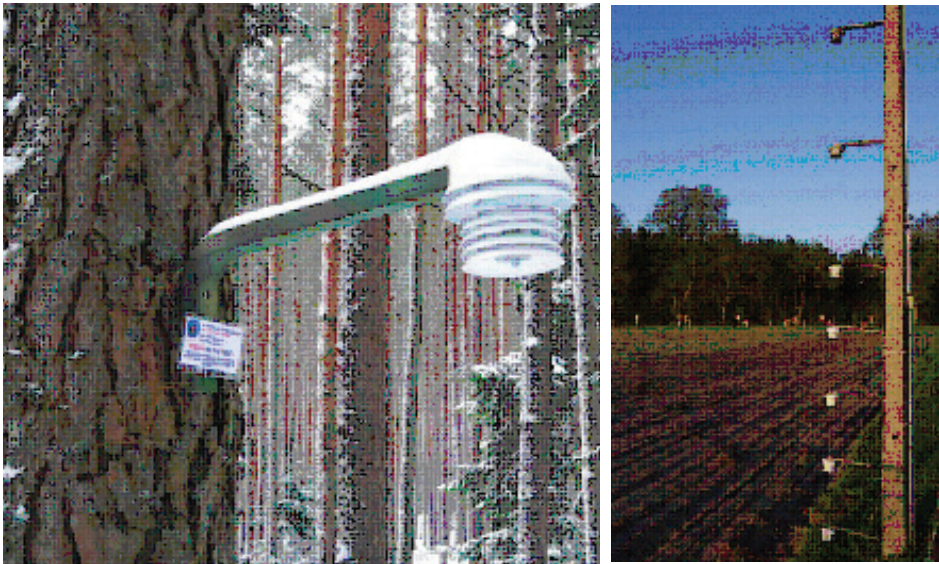
$$\hat{t} = a_n t + b_n \quad (1)$$

gdzie:

a_n, b_n – współczynniki regresji liniowej dla czujnika n ,

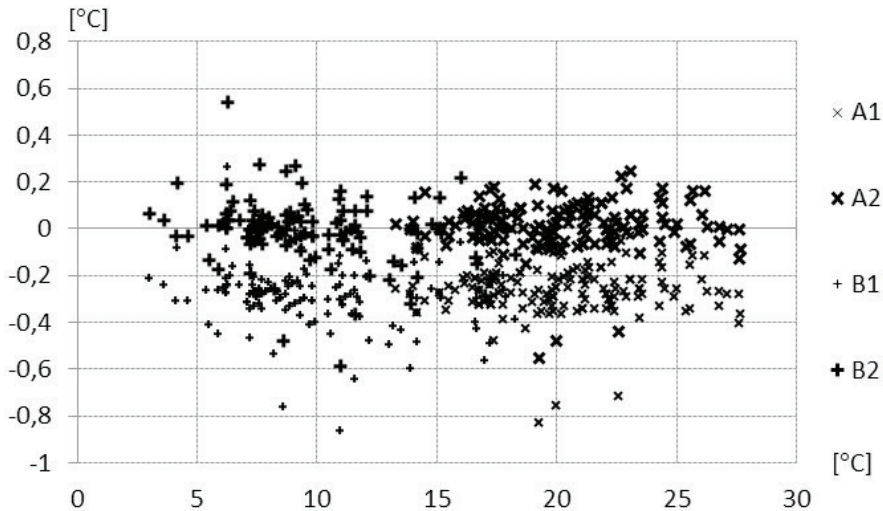
\hat{t}, t – odpowiednio: temperatura skorygowana i zmierzona przez czujnik n .

Po zastosowaniu równania można zauważyć, że przykładowy czujnik przed korektą wskazywał temperaturę wyższą o około 0,3 °C w stosunku do termometru stacyjnego, niezależnie od temperatury otoczenia. Po korekcie różnice te na ogół nie przekraczały $\pm 0,2$ °C, przy czym większość wskazań mieściła się w zakresie $\pm 0,1$ °C (rys. 5).



Źródło: Fotografia M. Panfil
Source: Photography M. Panfil

Rysunek 4. Osłony radiacyjne z czujnikami podczas pracy w terenie
Figure 4. Radiation shields with sensor during field measurements



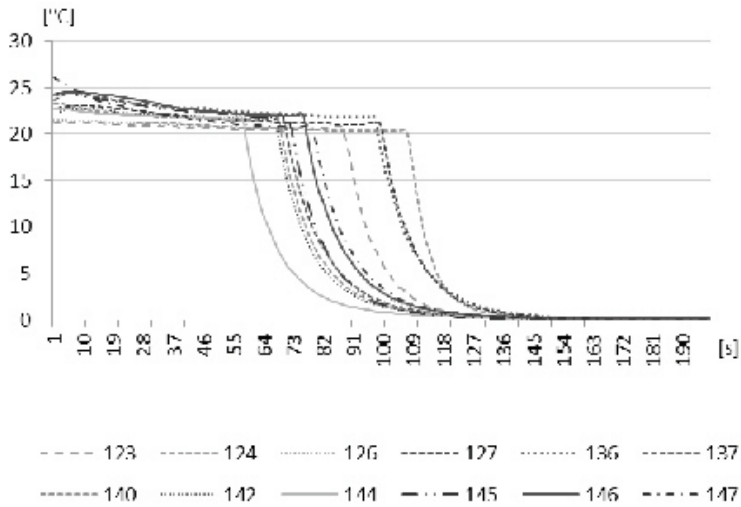
A1 – różnica wskazań pomiędzy termometrem wzorcowym, a czujnikiem w okresie 30.06-06.07.2009
A2 – różnica wskazań pomiędzy termometrem wzorcowym, a czujnikiem po korekcie wartości w okresie 30.06-06.07.2009
B1 – różnica wskazań pomiędzy termometrem wzorcowym, a czujnikiem w okresie 18-24.04.2012
B2 – różnica wskazań pomiędzy termometrem wzorcowym, a czujnikiem po korekcie wartości w okresie 18-24.04.2012

Rysunek 5. Różnice wskazań temperatury powietrza między termometrem wzorcowym, a przykładowym czujnikiem przed i po kalibracji

Figure 5. The differences between the air temperature display by standard equipment and sample sensor before and after calibration

Poza tym w drodze przygotowań czujników do pracy w terenie dokonano także tzw. sprawdzenia zera. Wszystkie czujniki przeszły tę próbę pozytywnie, a rysunek 6 obrazuje ten fakt na przykładzie kilku czujników. W momencie wykonywania czynności testowych temperatura powietrza wahała się w granicach od 21,5 do 26,0 °C. Sprawdzenie zera polegało na zaprogramowaniu czujnika na pomiar z częstotliwością pracy co 5 sekund i umieszczeniu go w termosie wypełnionym mieszaniną wody z lodem.

Dla osiągnięcia poziomu 0 °C każdy czujnik potrzebował około 3 minut, a różny moment początku spadku, widoczny na wykresie, wynika tylko i wyłącznie z przyczyn technicznych (tzn. różnego tempa czasu zanurzania czujnika w mieszaninie po zaprogramowaniu).

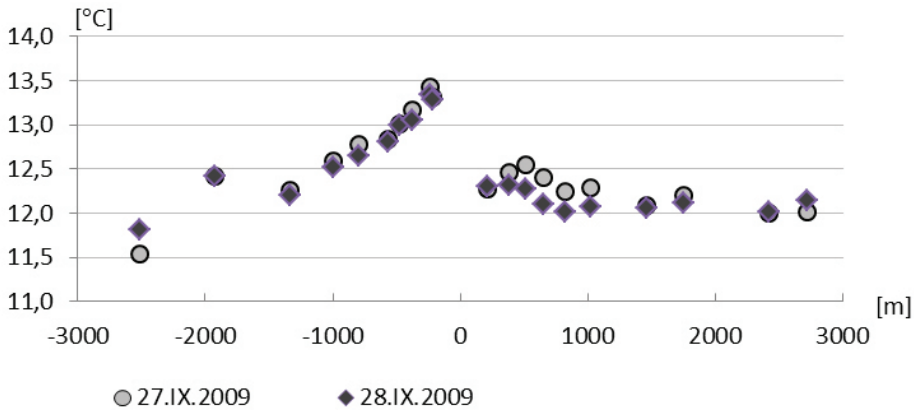


Rysunek 6. Rozkład temperatury powietrza podczas procesu zerowania
Figure 6. Air temperature distribution during the 'zero' process

ANALIZA I WYNIKI BADAŃ

Czujniki iButton®Dallas były wykorzystywane do tej pory w kilku eksperymentach terenowych, które trwały od kilku dni do kilku lat. Tak jak wcześniej zaznaczono miały one na celu pomiar temperatury powietrza, który w rezultacie prowadził do otrzymania znacznej liczby danych (zależnych od częstości pomiaru). Im pomiar był krótszy, z tym większą częstością go wykonywano, mając także na uwadze żywotność czujników. Przez okres 3 lat od momentu zakupu praktycznie żaden czujnik nie uległ samoistnej awarii, ale w tej chwili z puli ok. 100 czujników, część definitywnie zakończyła już pracę.

Czujniki iButton®Dallas posłużyły przede wszystkim realizacji szeroko zakrojonego eksperymentu terenowego, prowadzonego w obrębie Jeziora Kośno w latach 2009-2011. Jednym z przykładów uzyskanych wyników jest rozkład temperatury powietrza w profilu usytuowanym w stosunku do misy jeziora w układzie NW-SE, z wykorzystaniem 19 czujników. Na rys. 7 przedstawiono sytuację z dnia 27 i 28 września 2009 roku, kiedy to pogodę w Polsce północno-wschodniej kształtowała cyrkulacja atmosferyczna o składowej NW.



Rysunek 7. Rozkład temperatury powietrza wokół jeziora Kosno w profilu NW-SE 27 i 28 września 2009 roku

Figure 7. Air temperature distribution around the Lake Kosno in the NW-SE profile in the 27th and 28th of September 2009

Na osi odciętych punkt zero oznacza jezioro, wartości ujemne oznaczają odległość od jego brzegu w kierunku NW, dodatnie zaś w kierunku SE. Wybrane dni były bardzo charakterystyczne ze względu na rozkład temperatury, kiedy to po północno-zachodniej stronie jeziora średnia dobowa temperatura była tym wyższa, im bliżej było brzegu jeziora (rys. 7). Po wschodniej stronie jeziora była ona niższa, ale w pobliżu brzegu także osiągała najwyższe wartości. W obu dniach zachmurzenie było umiarkowane i wiał dość silny wiatr (szczególnie 28 września). Wzrost temperatury w kierunku jeziora uwarunkowany był dobrym nasłonecznieniem północno-zachodniego brzegu, łagodnie opadającego w stronę zbiornika. Woda w jeziorze była wówczas o ponad 4 °C cieplejsza niż powietrze, co generowało wznoszenie się mas powietrza nad jej taflą i zawirowanie na południowo-wschodnim brzegu. Tutaj z kolei brzeg schodził stromo do jeziora, stąd niższa temperatura niż na północny-zachód od zbiornika.

Kolejnym przykładem zastosowania czujników iButton[®]Dallas były badania terenowe, zrealizowane w obrębie ogrodu uczelnianego University British Columbia o powierzchni 0,1 km² w Vancouver. Wykorzystano wówczas dziewięć par czujników posadowionych na dwóch różnych wysokościach, które rozmieszczono równomiernie w przestrzeni ogrodu (rys. 8).



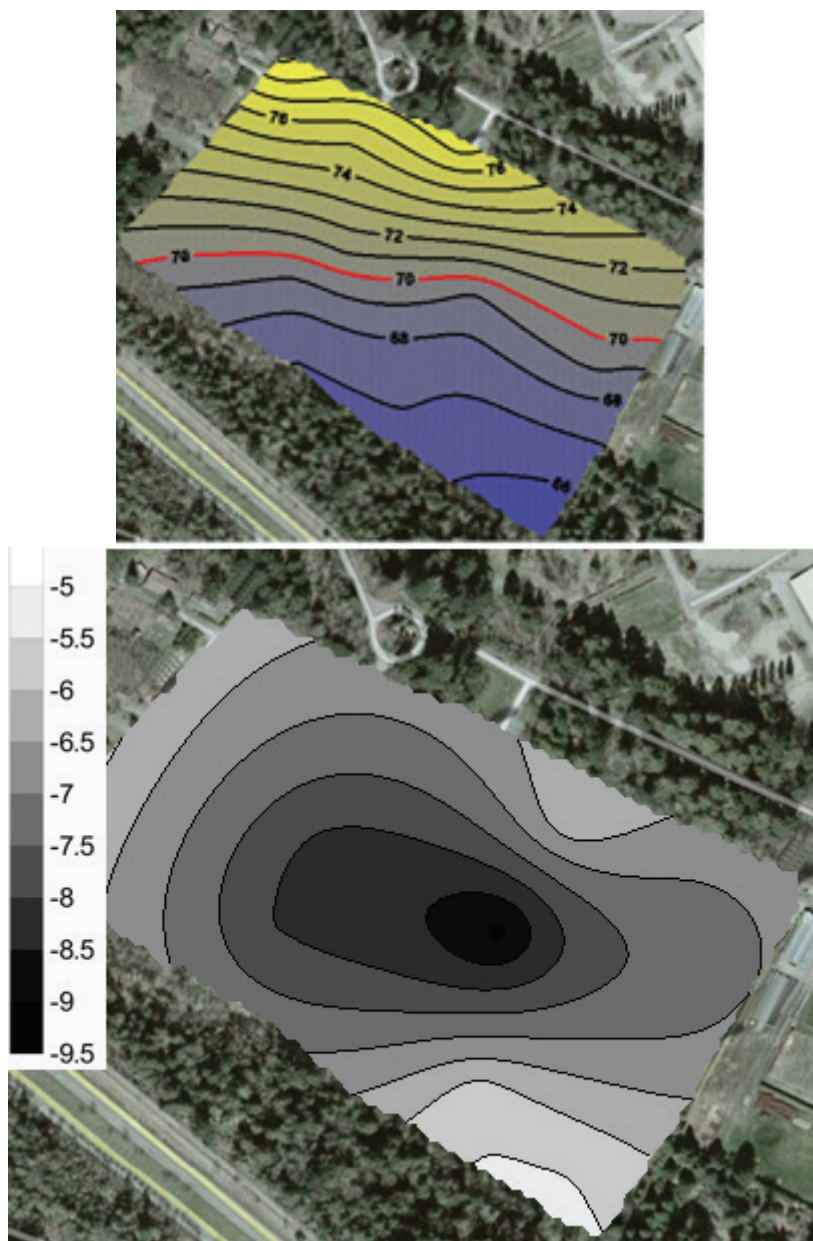
Źródło: opracowanie własne na podstawie GoogleMap
Source: Own elaboration at GoogleMap

Rysunek 8. Położenie ogrodu uczelnianego UBC Vancouver i rozmieszczenie punktów pomiarowych

Figure 8. UBC Vancouver university garden location and distribution of measuring points

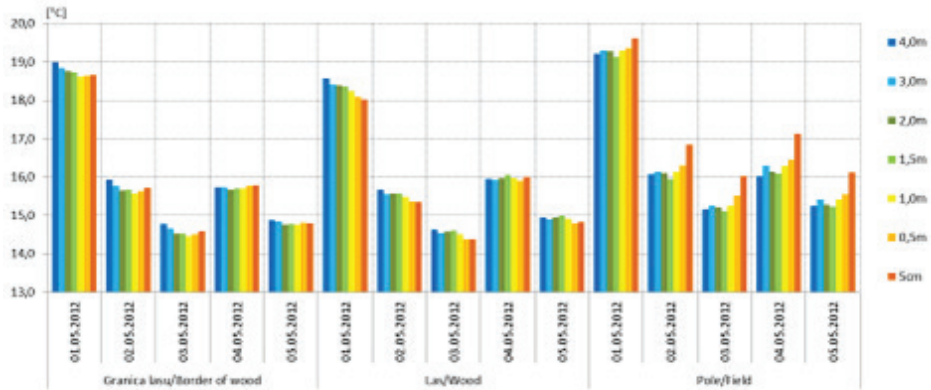
Regularne pomiary trwały przeszło dwa miesiące od 18 września do 28 listopada 2011 roku i miały na celu rozpoznanie warunków termicznych, w tym sprawdzenie tezy, że w najniższym punkcie ogrodu (rys. 9a) występuje największe zagrożenie przymrozkami. W czasie przeprowadzonych obserwacji przymrozek wystąpił w kilku punktach już w październiku. Minimalne wartości temperatury powietrza odnotowano 26 listopada ok. godziny 5:00 rano i miejscami zapisano niemal $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ przy gruncie (rys. 9b). Wbrew wcześniejszym przypuszczeniom najniższe wartości temperatury powietrza nie wystąpiły w najniższej ułożonej części ogrodu, ale na jego skłonie w części centralnej. Ustalono tym samym ryzyko szkód powodowanych przymrozkami, które w dolnej części ogrodu nie są tak dotkliwe, jak mogą być w jego części pozostałej.

Następnym eksperymentem, w którym wykorzystano czujniki iButton[®]-Dallas były badania prowadzone na granicy lasu. W maju i w październiku 2012 roku wykorzystano trzy zestawy czujników w wytypowanych punktach. Znalazły się one na siedmiu różnych wysokościach od 5 cm do 4 m nad gruntem. Pierwszy zestaw zainstalowano ok. 200 m od granicy lasu na elektrycznym słupie, drugi na granicy lasu, a trzeci w jego głębi, obydwie na drzewach. Drzewa były wówczas pozbawione liści, które nie zakłócały dopływu promieniowania słonecznego. Na rys. 10 przedstawiono wyniki pomiarów wykonanych w okresie od 1 do 5 maja 2012 roku, kiedy to do Polski napłynęło bardzo gorące, zwrotnikowe powietrze. Średnia dobową temperatura powietrza w dniu 1 maja na wszystkich punktach i wysokościach przekroczyła $18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Momentami w ciągu dnia na niektórych wysokościach zanotowano niemal $35\text{ }^{\circ}\text{C}$. W dniu 3 maja obserwowano załamanie pogody i opady deszczu, następnego lekką poprawę i ponownie lekkie ochłodzenie, które trwało zresztą przez kolejnych kilka dni. Mimo braku liści średnia dobową temperatura powietrza była cały czas najwyższa w terenie otwartym. Tu też występowały największe różnice między poszczególnymi wysokościami, najmniejsze zaś na granicy lasu. W lesie najchłodniej było do 0,5 m nad ziemią, na granicy lasu i w terenie otwartym na wysokości 1-1,5 m. Z kolei jednoznacznie najcieplej było tuż nad gruntem na przestrzeni otwartej. Natomiast na granicy lasu i w samym lesie sytuacja była dwojaka. W czasie pogody bardzo ciepłej i słonecznej najwyższe wartości zostały odnotowane na wysokości 4 m, a w czasie dni chłodniejszych zarówno wysoko, jak i nisko nad ziemią.



Rysunek 9. Rozkład wysokości terenu w ogrodzie UBC Vancouver (a) oraz rozkład temperatury powietrza przy gruncie 26 listopada 2011 roku (b)

Figure 9. The height of land above the sea level in the UBC Vancouver Garden (a) and the distribution of air temperature at the ground in the 26th of November in 2011 (b)



Rysunek 10. Średnia dobowa temperatura powietrza na różnych wysokościach zmierzona na granicy lasu, w lesie i w terenie otwartym w dniach 1-5.05.2012
Figure 10. Average daily air temperature at different heights measured at the edge of wood, in the forest and on the open area in the period 1st to 5th of May in 2012

WNIOSKI

Zaprezentowane przykłady w przekrojowy sposób podają możliwości wykorzystania czujników iButton®Dallas w różnych założeniach przestrzennych. Od pionowych układów punktowych, przez rozkład warunków mikrotermicznych w ogrodzie, po analizę topoklimatyczną obszaru o powierzchni ok. 50 km² czujniki sprawdziły się wyśmienicie. W każdym przypadku najważniejszą zaletą zaplanowanych i wykonanych badań był stosunkowo niski koszt zakupu samych czujników oraz fakt ich autonomiczności energetycznej. Pozwoliło to w pełni wykorzystać kolejną ich zaletę, jaką był niewielki rozmiar i umieścić je bez problemu w wybranych punktach w terenie. W drodze pomiarów uzyskano szereg istotnych informacji o rozkładzie temperatury powietrza, które w standardowych warunkach prowadzenia obserwacji byłyby wręcz niemożliwe do wykonania. Dość duża czułość, dokładność i bezawaryjność czujników iButton®Dallas jest bardzo dobrą alternatywą dla różnego rodzaju obserwacji środowiskowych, mających na celu poznanie i weryfikację warunków termicznych.

BIBLIOGRAFIA

- Awtrey, D. (1997). Transmitting data and power over a One-Wire Bus. *Sensors–The Journal of Applied Sensing Technology*, 14, 2, 48-51.
- Davidson, A.J., Aujard, F., London, B., Menaker, M., Block, G.D. (2003). ThermoChroniButtons: An inexpensive method for long-term recording of core body temperature in untethered animals. *Journal of Biological Rhythms*, 18, 5, 430-432.
- Willis, C. K. R., Jameson, J.W., Faure, P.A., Boyles, J.G., Brack, V.Jr., Cervone T.H. (2009). Thermocron iButton and iBBat temperature dataloggers emit ultrasound. *Journal of Comparative Physiology B*. 179, 7, 867-874.
- www.maxim-ic.com

Monika Panfil
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
Katedra Meteorologii i Klimatologii
pl. Łódzki 1
10-719 Olsztyn
monika.panfil@uwm.edu.pl

Jacek Leśny
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
Katedra Meteorologii
ul. Piątkowska 95
60-649 Poznań
jlesny@up.poznan.pl