

PORÓWNANIE TEMPERATURY GLEBY MIERZONEJ RĘCZNIOWYMI TERMOMETRAMI KOLANKOWYMI I ZA POMOCĄ STACJI AUTOMATYCZNEJ W OBSERWATORIUM WROCŁAW-SWOJEC

Joanna KAJEWSKA, Marian ROJEK

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Instytut Kształtowania i Ochrony Środowiska

Słowa kluczowe: istotność i częstota różnic, metoda klasyczna, stacja automatyczna, temperatura gleby

S t r e s z c z e n i e

W pracy przedstawiono wyniki pomiarów temperatury gleby na dwóch głębokościach (5 i 10 cm) pod powierzchnią gleby pod trawnikiem i gleby nieporośniętej. Porównywano dane uzyskane metodą standardową (ręczniowe termometry kolankowe) i za pomocą stacji automatycznej Campbell CR23X. Wykorzystano wartości z pomiarów wykonanych w Obserwatorium Agro- i Hydrometeorologii UP Wrocław-Swojec w latach 2000–2008. Średnią dobową temperaturę gleby, mierzoną metodą standardową, obliczano na podstawie 3 terminów pomiarów (godz.: 7, 13 i 19 CET). Wartości ze stacji automatycznej były średnią arytmetyczną z 24 raportów godzinnych. Na obu głębokościach pomiarowych gleby pod trawnikiem, we wszystkich dekadach roku, większe wartości uzyskano z pomiarów ręczniowymi termometrami kolankowymi (metoda standardowa). Pod powierzchnią gleby nieporośniętej, w kilku dekadach miesięcy zimowych, nieco większe były wartości uzyskane za pomocą stacji automatycznej. Otrzymano bardzo wysokie współczynniki korelacji ($r \geq 0,999$) między wynikami obu metod. Rozkłady częstości występowania różnic dwóch metod pomiarów temperatury gleby były odmienne dla obu analizowanych powierzchni i głębokości pomiarów. W glebie nieporośniętej, na obu głębokościach pomiarowych, najczęściej różnic wystąpiło w przedziale temperatury od $-0,5^{\circ}\text{C}$ do $0,5^{\circ}\text{C}$. W glebie pod trawnikiem, na głębokości 5 cm, najczęściej różnic stwierdzono w przedziale temperatury od $1,5^{\circ}\text{C}$ do $2,5^{\circ}\text{C}$, a na głębokości 10 cm od $0,5^{\circ}\text{C}$ do $1,5^{\circ}\text{C}$.

WSTĘP

Automatyczne stacje meteorologiczne mają wiele zalet, ich wprowadzenie do sieci pomiarowej budzi jednak wątpliwości natury metodologicznej. Zasadniczym problemem, wynikającym z większej czułości sensorów tych przyrządów i częstotliwości pomiarów, jest ryzyko przzerwania homogeniczności wieloletnich ciągów obserwacyjnych uzyskanych metodami standardowymi (klasycznymi). Obecnie na większości stacji meteorologicznych równocześnie prowadzi się pomiary wielu parametrów meteorologicznych przyrządami klasycznymi i automatycznymi. Coraz częściej pomiary ze stacji automatycznych są danymi podstawowymi, natomiast metody standardowe są stosowane do monitorowania, kalibracji i kontroli systemów automatycznych.

Korzystanie z automatycznych stacji meteorologicznych ułatwia zbieranie, gromadzenie, archiwizację i przetwarzanie danych pomiarowych [Wybrane..., 2001]. Wartości zagregowane, powstające na bazie znacznie większej częstotliwości pomiarów, są dokładniejsze i umożliwiają stosowanie nowoczesnych metod modelowania [LICZNAR, ROJEK, 2004; ROJEK, ROJEK, 2004]. Odczyty z przyrządów klasycznych i automatycznych, dotyczące tego samego terminu obserwacji, powinny być identyczne. Zdarza się to jednak bardzo rzadko; często wartości pomiarowe uzyskane metodą klasyczną różnią się od danych ze stacji automatycznych.

Pierwsze prace autorów polskich omawiające tę problematykę pojawiły się pod koniec XX w. i dotyczyły przede wszystkim takich elementów meteorologicznych, jak temperatura i wilgotność powietrza. Prace przedstawiające wyniki pomiarów temperatury gleby różnymi metodami są rzadkością w literaturze krajowej i zagranicznej. Wszystkie pozycje zamieszczone w wykazie literatury zawierają dane zebrane w ciągu jednego roku, wybranych miesięcy lub dni [PAWLAK, 2001]. Rezultaty pomiarów meteorologicznych, zamieszczone w publikacjach JESIONOWSKIEJ [2001], KEJNY i USCKI-KOWALKOWSKIEJ [2006] oraz ROJKA i in. [2001], zostały omówione w dyskusji.

Celem pracy było porównanie wyników pomiarów temperatury gleby mierzonej rtęciowymi termometrami kolankowymi (metoda standardowa) i za pomocą automatycznej stacji meteorologicznej, ocena statystyczna współzależności wartości dekadowych uzyskanych dwiema metodami, istotności ich różnic oraz częstości występowania różnic w poszczególnych przedziałach klasowych.

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

W pracy wykorzystano wyniki pomiarów temperatury gleby pod dwiema powierzchniami – glebą pod trawnikiem i glebą nieporośniętą (na głębokościach 5 i 10 cm), prowadzonych na terenie Obserwatorium Agro- i Hydrometeorologii

Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu-Swojcu w ciągu 9 lat (2000–2008). Analizowano średnie dekadowe wartości temperatury gleby obliczone na podstawie średnich dobowych.

Pomiary metodą standardową (rtęciowymi termometrami kolankowymi) były wykonywane trzy razy na dobę (o godzinach: 7, 13 i 19 CET) zgodnie z instrukcją obowiązującą w sieci IMGW. Średnią dobową obliczano jako średnią arytmetyczną z trzech terminów pomiaru.

Równocześnie, od listopada 1999 r., na terenie obserwatorium prowadzono pomiary temperatury gleby za pomocą stacji automatycznej Campbell CR23X, wyposażonej m.in. w termistor 107, umieszczony w odległości ok. 30 cm od stanowiska rtęciowych termometrów kolankowych. Stacja automatyczna została zaprogramowana na próbkowanie z częstotliwością co minutę przez całą dobę. Na postawie mierzonych wartości logger zestawiał raporty godzinne i dobowe. Średnie dobowe wartości temperatury gleby ze stacji automatycznej były obliczane jako średnie ze wszystkich 24 wartości godzinnych.

Zweryfikowano hipotezę dotyczącą rodzaju rozkładu badanych zmiennych analizując podstawowe parametry opisowe badanych cech (współczynnik zmienności, wskaźnik kurtozy, wskaźnik asymetrii) i histogramów oraz wykorzystując test *W* Shapiro-Wilka w przyjętym przedziale ufności $\alpha = 0,05$. Przeprowadzono także analizę jednorodności wariancji badanych zmiennych (test Levene'a, test Browna-Forsythe'a, test *F*) na takim samym poziomie istotności. Do oceny istotności różnic, dla grup o jednorodnych wariancjach, wykorzystano test *t*-Studenta, a w przypadku wariancji niejednorodnych, stosowano test Cochrań-Coxa.

Porównano wyniki pomiarów wykonanych dwiema metodami oraz określono istotności różnic pomiędzy nimi wykorzystując wartości współczynników korelacji, analizę regresji liniowej i testy badające istotność różnic dla prób niezależnych, za pomocą programu STATISTICA (wersja 8). Szerokość przedziałów klasowych, umożliwiających ocenę występowania różnic pomiędzy dwiema metodami, przyjęto zgodnie z danymi podawanymi w literaturze dla ekstremalnych temperatur powietrza [LORENC, 2006].

W omawianym, 9-letnim okresie (2000–2008) wystąpiło – w zależności od rodzaju powierzchni i głębokości pomiaru – od 8 do 13 przerw w zasilaniu stacji automatycznej; stwierdzono również awarie czujników lub uszkodzenia rtęciowych termometrów kolankowych. Odpowiednie średnie z całego okresu badań obliczono pomijając brakujące dane.

WYNIKI BADAŃ I Dyskusja

Porównanie uśrednionych 9-letnich wyników badań dekadowych wartości temperatury gleby uzyskanych dwiema metodami, wskazało na różnice w ich przebiegu w przypadku gleby nieporośniętej i gleby pod trawnikiem. Średnie dekadowe

wartości temperatury gleby nieporośniętej (obliczone na podstawie średnich dobowych) były wyraźnie mniejsze niż w glebie pod trawnikiem. W glebie nieporośniętej w jednej (na głębokości 10 cm) i dwóch (na głębokości 5 cm) dekadach stycznia wartości uzyskane ze stacji automatycznej były (odpowiednio o 0,1; 0,3 i 0,4°C) większe od wartości zmierzonych ręciowymi termometrami kolankowymi. We wszystkich pozostałych dekadach, na obu głębokościach, odnotowano większe wartości z pomiarów metodą standardową. Największe różnice stwierdzono w miesiącach letnich (czerwiec, lipiec); wynosiły one nawet 0,8°C na głębokości 10 cm oraz 1,2°C na głębokości 5 cm.

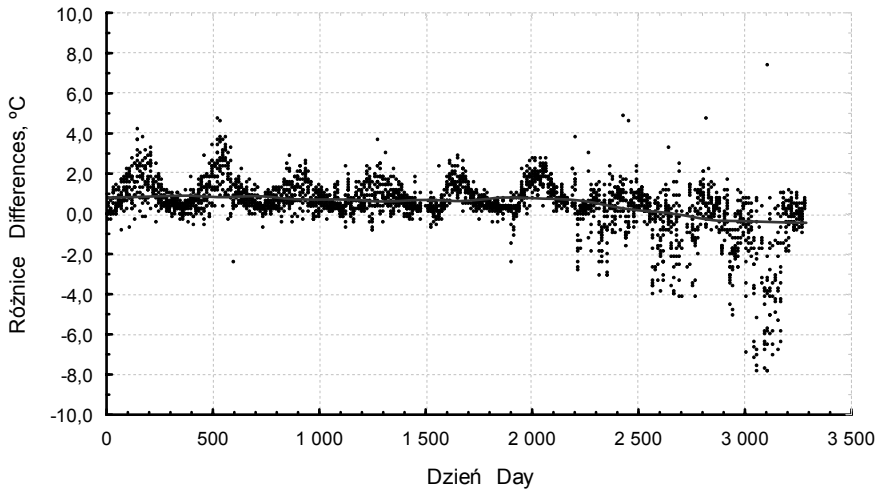
Odmienny obraz uzyskano w przypadku gleby pod trawnikiem; we wszystkich dekadach roku i na obu głębokościach (5 i 10 cm) różnice były dodatnie, tzn. większe wartości wskazywały ręciowe termometry kolankowe (metoda standardowa). Inaczej – niż w przypadku gleby nieporośniętej – przedstawiała się zmienność sezonowa różnic pomiędzy wynikami uzyskanymi obiema metodami. Na głębokości 5 cm najmniejsza różnica (1,1°C) wystąpiła w 3. dekadzie kwietnia. Różnice największe (2,2°C) uzyskano w 2. i 3. dekadzie listopada oraz we wszystkich dekadach grudnia. Ogółem, na tej głębokości pomiaru, wystąpiło 10 dekad o różnicach $\leq 2,0^\circ\text{C}$. Na głębokości 10 cm, w glebie pod trawnikiem, najmniejsze różnice wynosiły 0,4°C (3. dekada marca i cały kwiecień), natomiast różnice największe (1,1°C) wystąpiły w miesiącach zimowych (listopad, grudzień, styczeń).

Zdaniem Autorów, główną przyczyną uzyskania większych wartości temperatury metodą standardową, jest odmienny sposób obliczania średniej dobowej. Średnia arytmetyczna z trzech terminów w ciągu doby w tej metodzie pomija mniejsze wartości z godzin nocnych, które są uwzględniane w pomiarach automatycznych (średnia ze wszystkich 24 godzin). Ze względu na objętość niniejszej pracy nie zamieszczono danych liczbowych (tabele) stanowiących podstawę powyższej analizy.

Porównanie średnich dobowych (rys. 1–4) lepiej pokazuje zakres zmienności różnic wartości uzyskanych dwiema metodami pomiarowymi. Większe dodatnie wartości na osi rzędnych rysunków 1–4 uzyskano metodą standardową (ręciowe termometry kolankowe), a większe wartości ujemne pochodziły ze wskazań czujnika stacji automatycznej.

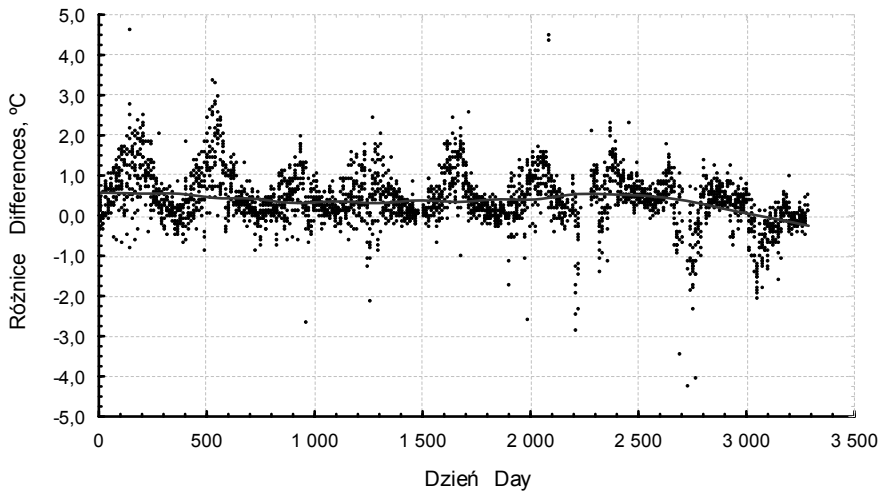
Ogólne spostrzeżenia, wynikające z analizy rysunków przedstawiających różnice między średnią dobową temperaturą gleby, to brak wyraźnej cykliczności oraz inny zakres zmienności. Różnice w temperaturze gleby nieporośniętej na głębokości 5 cm (rys. 1) były wyraźnie większe w ostatnich latach analizowanego okresu (po 2006 r.). W 2008 r. – w przeciwieństwie do lat wcześniejszych – zdecydowanie przeważały różnice ujemne (większe wartości uzyskano za pomocą stacji automatycznej). Różnice ekstremalne wartości dobowych wystąpiły w 2008 r. i wynosiły 7,4°C oraz $-7,9^\circ\text{C}$.

Odmienny obraz przedstawia rysunek 2 (gleba nieporośnięta, głębokość 10 cm). Wyraźnie zauważalne jest występowanie większej liczby różnic dodatnich



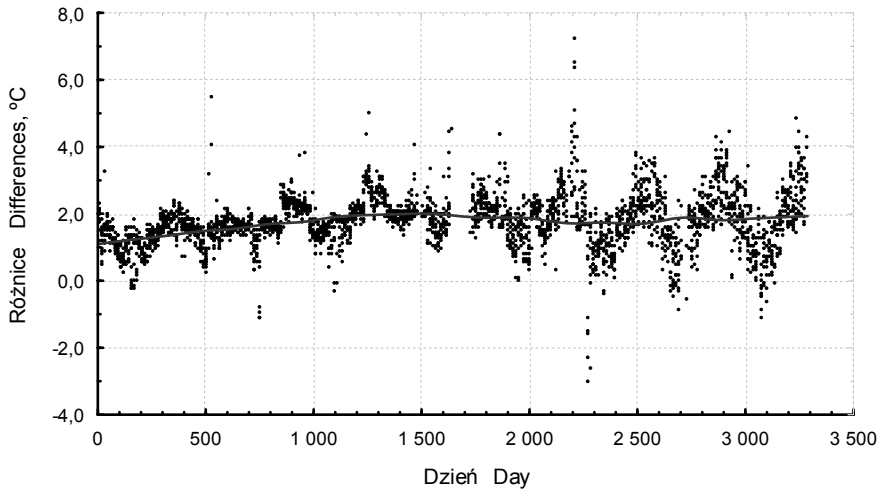
Rys. 1. Różnice między średnią dobową temperaturą gleby nieporośniętej, mierzoną na głębokości 5 cm rtęciowym termometrem kolankowym i za pomocą stacji automatycznej w latach 2000–2008

Fig. 1. Differences between mean daily values of soil temperature under bare soil measured at a depth of 5 cm with mercury thermometer and with automatic station in the years 2000–2008



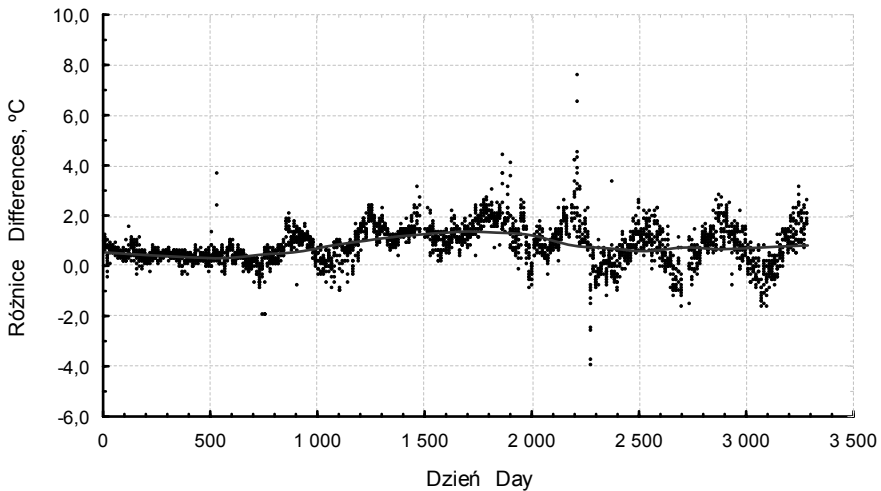
Rys. 2. Różnice między średnią dobową temperaturą gleby nieporośniętej, mierzoną na głębokości 10 cm rtęciowym termometrem kolankowym i za pomocą stacji automatycznej w latach 2000–2008

Fig. 2. Differences between mean daily values of soil temperature under bare soil measured at a depth of 10 cm with mercury thermometer and with automatic station in the years 2000–2008



Rys. 3. Różnice między średnią dobową temperaturą gleby pod trawnikiem, mierzoną na głębokości 5 cm rtęciowym termometrem kolankowym i za pomocą stacji automatycznej w latach 2000–2008

Fig. 3. Differences between mean daily values of soil temperature under the lawn measured at a depth of 5 cm with mercury thermometer and with automatic station in the years 2000–2008



Rys. 4. Różnice między średnią dobową temperaturą gleby pod trawnikiem, mierzoną na głębokości 10 cm rtęciowym termometrem kolankowym i za pomocą stacji automatycznej w latach 2000–2008

Fig. 4. Differences between mean daily values of soil temperature under the lawn measured at a depth of 10 cm with mercury thermometer and with automatic station in the years 2000–2008

w latach 2000–2006; w latach późniejszych liczba różnic dodatnich i ujemnych była prawie jednakowa. Największa różnica dodatnia ($4,6^{\circ}\text{C}$) wystąpiła w 2000 r., a największa ujemna ($-4,3^{\circ}\text{C}$) w 2007 r.

Przebieg różnic dobowych wartości temperatury gleby pod trawnikiem w ciągu kolejnych 9 lat jest zupełnie inny niż w przypadku gleby nieporośniętej. Na głębokości 5 cm (rys. 3) większość różnic ma wartości dodatnie (większe wartości według termometrów). Największe różnice (zarówno wartości dodatnich, jak i ujemnych) stwierdzono w 2005 r. i wynosiły one odpowiednio $7,2^{\circ}\text{C}$ oraz $-3,0^{\circ}\text{C}$. W tym też roku wystąpiło najwięcej znacznych różnic o wartościach dodatnich i ujemnych.

Z wykresu na rysunku 4. wynika, że na głębokości 10 cm w glebie pod trawnikiem amplituda różnic wyników z dwóch metod pomiarowych była najmniejsza (szczególnie w latach 2000–2002). Podobnie jak na głębokości 5 cm, ekstremalne różnice temperatury wystąpiły w 2005 r. ($7,6^{\circ}\text{C}$ oraz $-4,0^{\circ}\text{C}$). Wszystkie podane, tak duże różnice, średnich dobowych według dwóch metod pomiarowych, z pewnością można tłumaczyć błędami instrumentalnymi, takimi jak awaria czujnika stacji automatycznej lub błędnym odczytem termometrów glebowych. Nie można ich uzasadnić czynnikami przyrodniczymi, a fakt wystąpienia tylko kilkunastu tak dużych odchyień w próbie ponad 3200 wartości, tylko potwierdza sugerowane wyjaśnienie.

Omówione wyniki, uzyskane na podstawie 9-letnich serii obserwacji, w zasadzie nie różnią się od danych zebranych na tych samych powierzchniach w Obserwatorium Wrocław-Swojec w krótszym czasie oraz od prac innych autorów. W artykule ROJKA i in. [2001] porównywano wyniki pomiarów temperatury gleby na głębokości 5 cm w glebie pod trawnikiem w 2000 r., uzyskanych dwiema metodami. Największe różnice, wynoszące $1,9$ – $2,0^{\circ}\text{C}$, wystąpiły w dekadach miesięcy zimowych (grudzień, styczeń), najmniejsze ($0,5$ – $0,6^{\circ}\text{C}$) w czerwcu i lipcu. Wartości zmierzone rtęciowymi termometrami kolankowymi były we wszystkich przypadkach większe.

Nieco inne wyniki zamieszcza w swojej pracy JESIONOWSKA [2001]. Największe różnice (ok. $1,5^{\circ}\text{C}$) między wynikami z obu metod w grudniu stwierdzono na głębokości 1 m, natomiast na głębokościach 20 i 50 cm różnice w miesiącach zimowych były znacznie mniejsze i wynosiły jedynie $0,1$ – $0,2^{\circ}\text{C}$. Na głębokościach 5 i 10 cm największe różnice – inaczej niż w badaniach na Swojcu – wystąpiły w czerwcu oraz sierpniu i wynosiły odpowiednio $2,0^{\circ}\text{C}$ oraz $1,3^{\circ}\text{C}$. Również w tych badaniach wartości uzyskane metodą standardową były zawsze większe.

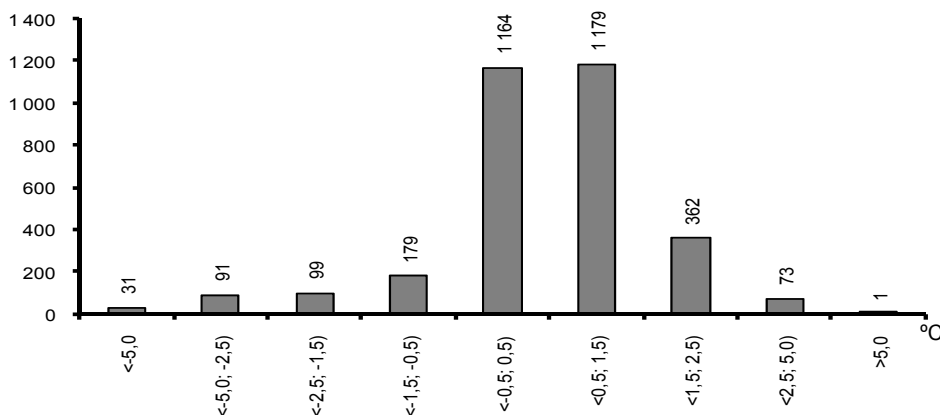
Odmienne wyniki, z pomiarów w ciągu jednego roku hydrologicznego, uzyskali KEJNA i USCKA-KOWALKOWSKA [2006]. Jedynie na głębokości 5 cm większe wartości odnotowano metodą standardową. Największe różnice stwierdzono w lipcu ($1,0^{\circ}\text{C}$) i sierpniu ($0,9^{\circ}\text{C}$), a najmniejsze w październiku i grudniu (po $0,1^{\circ}\text{C}$). Na głębokościach 20 i 50 cm (w miesiącach letnich) większe – o $0,6$ – $0,8^{\circ}\text{C}$ – były wartości ze stacji automatycznej, a zimą większe – o $0,7^{\circ}\text{C}$ – wartości z pomiarów

metodą standardową. W tej samej pracy autorzy podają bardzo ciekawe porównanie wyników pomiarów dwiema metodami w poszczególnych terminach obserwacyjnych. Na głębokościach 5 i 10 cm największe różnice, sięgające 1–2°C, wystąpiły o godz. 13 i 19 – wówczas stacja automatyczna wskazywała wyższą temperaturę; o godz. 7 większe były wartości mierzone metodą standardową. W chłodnej połowie roku, na wszystkich głębokościach i we wszystkich terminach pomiarów, większe były wartości ze stacji automatycznej Vaisala.

W następnym etapie porównania obu metod pomiarów temperatury gleby wyznaczono częstość występowania różnic średnich dobowych w przyjętych przedziałach klasowych (rys. 5–8). Ze względu na brak w literaturze opracowań z tej dziedziny, przyjęto przedziały co 1,0°C, czyli takie, jakie są zalecane dla temperatur ekstremalnych powietrza. Wartości w przyjętych przedziałach oznaczały różnice między średnimi dobowymi z pomiarów standardowych minus średnie ze stacji automatycznej.

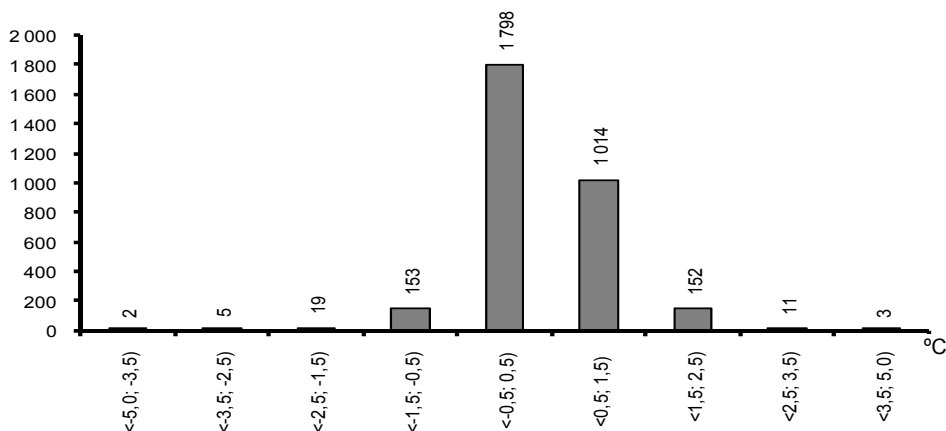
Rozkład częstości występowania różnic średniej dobowej temperatury gleby nieporośniętej na głębokości 5 cm (rys. 5) wskazał na przeważającą liczebność dwóch przedziałów. Najwięcej, bo 37,1%, wszystkich wartości mieściło się w przedziale od 0,5°C do 1,5°C; niewiele mniej (36,6%) to różnica w zakresie od –0,5°C do 0,5°C. Największe różnice (powyżej 2,5°C i poniżej –2,5°C) były nieznaczne – odpowiednio 2,3% oraz 3,8%.

Inaczej przedstawiała się częstość występowania różnic na głębokości 10 cm (rys. 6). Wyraźnie więcej (57%) różnic stwierdzono w przedziale od –0,5°C do



Rys. 5. Częstość występowania różnic między dobowymi wartościami temperatury gleby nieporośniętej, mierzonej na głębokości 5 cm rtęciowym termometrem kolankowym i za pomocą stacji automatycznej w latach 2000–2008

Fig. 5. Frequency of occurrence of differences between daily values of soil temperature under bare soil measured at a depth of 5 cm with mercury thermometer and with automatic station in the years 2000–2008



Rys. 6. Częstość występowania różnic między dobowymi wartościami temperatury gleby nieporośniętej, mierzonej na głębokości 10 cm rtęciowym termometrem kolankowym i za pomocą stacji automatycznej w latach 2000–2008

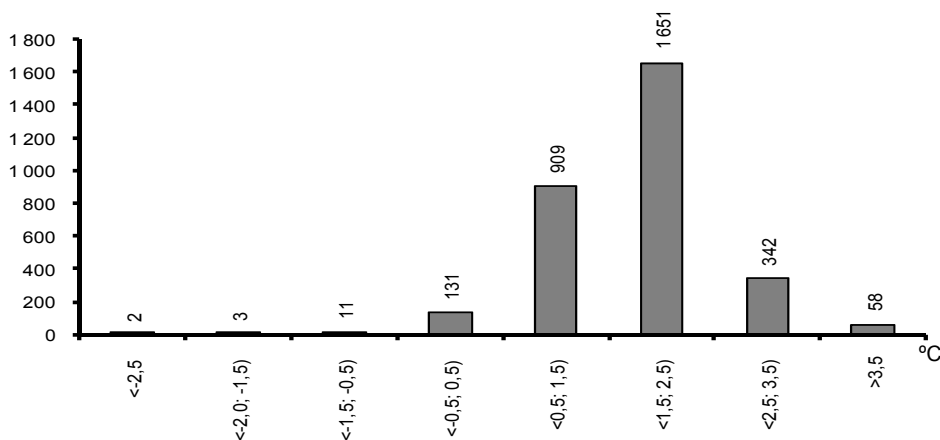
Fig. 6. Frequency of occurrence of differences between daily values of soil temperature under bare soil measured at a depth of 10 cm with mercury thermometer and with automatic station in the years 2000–2008

0,5°C. Drugą, najbardziej liczebną klasą (32,1%), był przedział różnic od 0,5°C do 1,5°C. Największe różnice, dodatnie i ujemne, stanowiły minimalny odsetek wszystkich wartości – mniejsze od –2,5°C to 0,8%, a większe – od 2,5°C – tylko 0,4% wszystkich obliczonych różnic.

Zupełnie inny był rozkład częstości różnic na głębokości 5 cm pod powierzchnią gleby pod trawnikiem (rys. 7). Zdecydowanie najwięcej różnic – 53,1% przypadków – odnotowano w przedziale od 1,5°C do 2,5°C. Następnym, najbardziej licznym (29,2%), był przedział od 0,5°C do 1,5°C. Zaledwie 4,2% stanowiły najmniejsze różnice, czyli $\pm 0,5^\circ\text{C}$. Trzy klasy o odchyleniach poniżej –0,5°C, to łącznie tylko 0,5% wszystkich wartości.

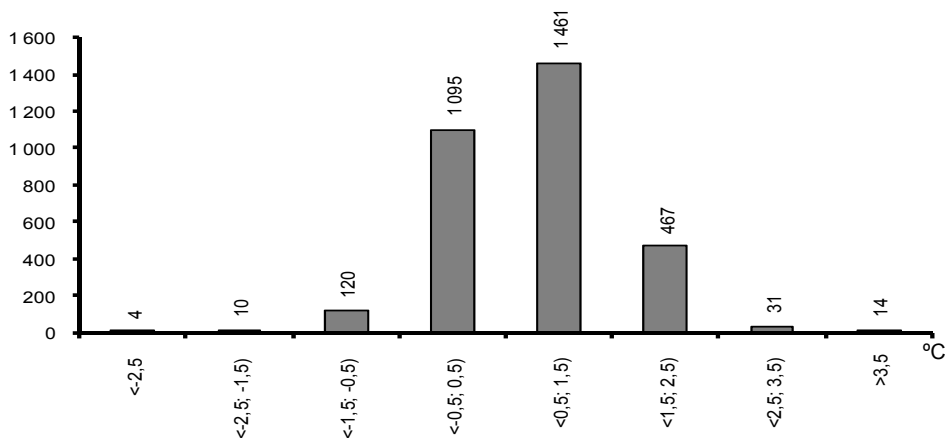
Na głębokości 10 cm pod powierzchnią gleby pod trawnikiem (rys. 8) rozkład częstości był mniej asymetryczny, w porównaniu z głębokością 5 cm. Przeważały różnice z klasy od 0,5°C do 1,5°C (45,9%), a 34,4% przypadków stanowiły wartości od –0,5°C do 0,5°C. Stosunkowo dużo różnic (14,7%) mieściło się w przedziale od 1,5°C do 2,5°C, czyli w klasie najliczniejszej na głębokości 5 cm. Największe różnice (poniżej –2,5°C oraz powyżej 2,5°C) to odpowiednio 0,4% i 1,4% wszystkich wartości.

Mimo wyżej omówionych różnic wartości temperatury gleby uzyskanych dwiema metodami, istnieją pomiędzy nimi ściśle zależności. Na rysunkach 9–12 przedstawiono liniowe związki korelacyjne 36 średnich dekadowych (dla całego roku) uzyskanych metodą klasyczną i za pomocą stacji automatycznej. W przypadku pomiaru temperatury gleby na głębokości 10 cm zarówno pod powierzchnią



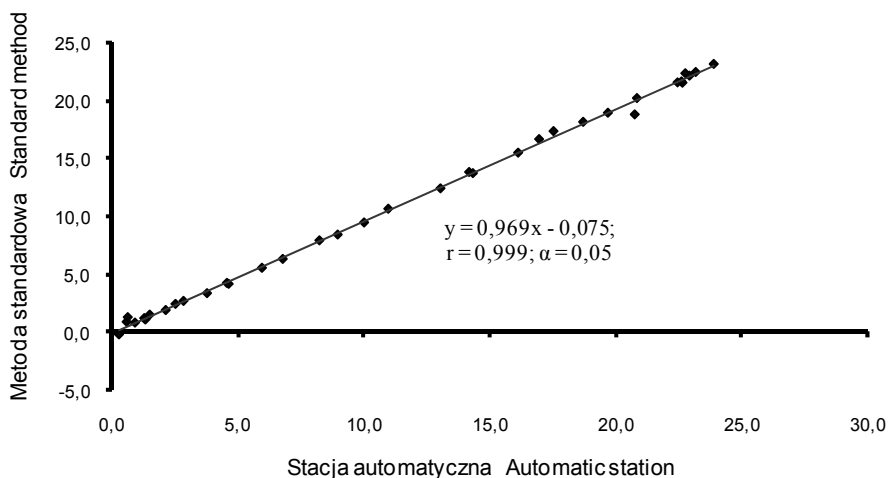
Rys. 7. Częstość występowania różnic między dobowymi wartościami temperatury gleby pod trawnikiem, mierzonej na głębokości 5 cm rtęciowym termometrem kolankowym i za pomocą stacji automatycznej w latach 2000–2008

Fig. 7. Frequency of occurrence of differences between daily values of soil temperature under the lawn measured at a depth of 5 cm with mercury thermometer and with automatic station in the years 2000–2008



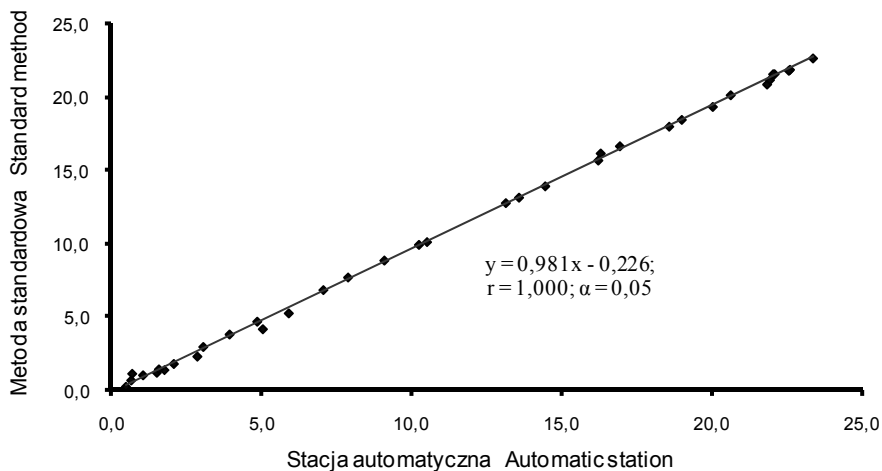
Rys. 8. Częstość występowania różnic między dobowymi wartościami temperatury gleby pod trawnikiem, mierzonej na głębokości 10 cm rtęciowym termometrem kolankowym i za pomocą stacji automatycznej w latach 2000–2008

Fig. 8. Frequency of occurrence of differences between daily values of soil temperature under the lawn measured at a depth of 10 cm with mercury thermometer and with automatic station in the years 2000–2008



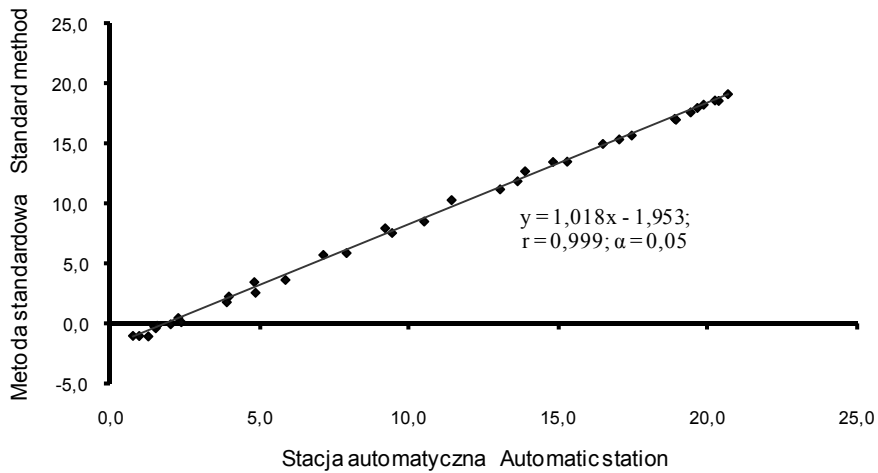
Rys. 9. Zależność między średnimi dekadowymi wartościami temperatury gleby nieporośniętej (°C), mierzonej na głębokości 5 cm rtęciowym termometrem kolankowym i za pomocą stacji automatycznej w latach 2000–2008

Fig. 9. The relationship between decade values of soil temperature under bare soil (°C) measured at a depth of 5 cm with mercury thermometer and with automatic station in the years 2000–2008



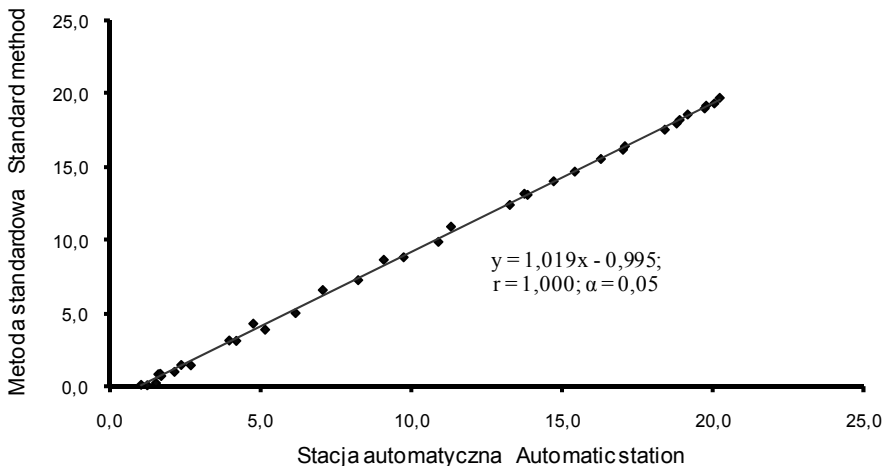
Rys. 10. Zależność między średnimi dekadowymi wartościami temperatury gleby nieporośniętej (°C), mierzonej na głębokości 10 cm rtęciowym termometrem kolankowym i za pomocą stacji automatycznej w latach 2000–2008

Fig. 10 The relationship between decade values of soil temperature under bare soil (°C) measured at a depth of 10 cm with mercury thermometer and with automatic station in the years 2000–2008



Rys. 11. Zależność między średnimi dekadowymi wartościami temperatury gleby pod trawnikiem (°C), mierzonej na głębokości 5 cm rtęciowym termometrem kolankowym i za pomocą stacji automatycznej w latach 2000–2008

Fig. 11. The relationship between decade values of soil temperature under the lawn (°C) measured at a depth of 5 cm with mercury thermometer and with automatic station in the years 2000–2008



Rys. 12. Zależność między średnimi dekadowymi wartościami temperatury gleby pod trawnikiem (°C), mierzonej na głębokości 10 cm rtęciowym termometrem kolankowym i za pomocą stacji automatycznej w latach 2000–2008

Fig. 12. The relationship between decade values of soil temperature under the lawn (°C) measured at a depth of 10 cm with mercury thermometer and with automatic station in the years 2000–2008

gleby nieporośniętej (rys. 10), jak i gleby pod trawnikiem (rys. 12), współczynniki korelacji wynosiły $r = 1,000$ i były nieznacznie niższe ($r = 0,999$) w przypadku danych z głębokości 5 cm (rys. 9 i 11).

Zgodnie z podanymi w metodyce zasadami, obliczono istotność różnic dla przyjętego poziomu $\alpha = 0,05$. Wyniki uzyskane na podstawie wartości dobowych, analizowano w odniesieniu do kolejnych dekad lat 2000–2008. Ze względu na znaczną objętość materiałów źródłowych i rezultatów obliczeń nie zamieszczono ich w niniejszej pracy.

Wyniki badania istotności różnic potwierdziły wcześniejsze wnioski z analizy innych wskaźników i wskazały na zasadnicze różnice między dwiema rozpatrywanymi powierzchniami gleby. Spośród wszystkich 324 dekad analizowanego 9-lecia, w przypadku temperatury gleby nieporośniętej na głębokości 5 cm, wystąpiło jedynie 37 dekad z różnicami istotnymi statystycznie, a na głębokości 10 cm takich dekad było tylko 21. Na głębokości 5 cm najczęściej dekad (6) o różnicach istotnych statystycznie odnotowano w 2001 r., a na głębokości 10 cm – 5 w 2005 r.

Zupełnie inaczej przedstawiają się rezultaty badania istotności różnic wyników pomiarów temperatury gleby pod trawnikiem. Na głębokości 5 cm tylko w 66 dekadach (na ogólną liczbę 324) różnice były nieistotne statystycznie. Najmniej różnic nieistotnych statystycznie stwierdzono w 2004 r. (1) oraz w 2003 r. (2), natomiast dekad o różnicach istotnych statystycznie najmniej zaobserwowano w 2000 r. (22 dekady). Wyraźnie mniej było dekad, w których wystąpiły różnice istotne statystycznie na głębokości 10 cm – od 0 w 2001 r. i 2 w 2000 r., do 23 dekad w latach 2003 i 2004. Ogółem, w ciągu 9 lat, odnotowano 116 dekad o różnicach istotnych statystycznie.

WNIOSKI

1. Na obu głębokościach pomiaru temperatury gleby pod trawnikiem, we wszystkich dekadach roku, większe wartości uzyskano wykonując pomiary rtęciowymi termometrami kolankowymi (metoda standardowa). Również pod powierzchnią gleby nieporośniętej odnotowano większe wartości z pomiarów rtęciowymi termometrami kolankowymi; tylko w kilku dekadach miesięcy zimowych, nieznacznie większe były wartości ze stacji automatycznej.

2. Wyraźnie większe spektrum zmienności różnic średniej dobowej temperatury gleby pod trawnikiem na głębokości pomiaru do 10 cm, w której znajduje się główna część masy korzeniowej roślin, można objaśnić zmianami w najbliższym otoczeniu receptorów termometrów rtęciowych i czujników stacji automatycznej, na tym samym stanowisku w ciągu 9 lat pomiarów.

3. Rozkład częstości występowania różnic wyników pomiarów temperatury dwiema metodami w glebie nieporośniętej był zbliżony do normalnego; na obu głębokościach odnotowano najczęściej różnic w przedziale od $-0,5$ do $0,5^{\circ}\text{C}$. Pod

powierzchnią gleby pod trawnikiem najczęściej występowały różnice w przedziałach od 1,5 do 2,5°C (głębokość 5 cm) oraz od 0,5 do 1,5°C (głębokość 10 cm).

4. Duża liczba dekad o istotnych statystycznie różnicach wyników pomiarów obiema metodami, nakazuje dużą ostrożność w ocenie możliwości zastąpienia pomiarów wykonywanych przyrządami standardowymi pomiarami ze stacji automatycznych, bez obawy przzerwiania homogeniczności ciągów obserwacyjnych.

Praca naukowa finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2009–2011 jako projekt badawczy promotorski nr N N305 066836.

LITERATURA

- JESIONOWSKA M., 2001. Porównanie wyników pomiarów meteorologicznych metodą standardową i przy pomocy stacji automatycznej Vaisala w Stacji Bazowej ZMŚP w Storkowie. Biblioteka Monitoringu Środowiska s. 83–102.
- KEJNA M., USCKA-KOWALKOWSKA J., 2006. Porównanie wyników pomiarów meteorologicznych w stacji ZMŚP w Koniczynie (Pojezierze Chełmińskie) wykonanych metodą tradycyjną i automatyczną w roku hydrologicznym 2002. *Annales UMCS* vol. 61 24 sect. B s. 208–217.
- LICZNAR P., ROJEK M., 2004. Ocena warunków termicznych profilu glebowego przy wykorzystaniu sztucznych sieci neuronowych. *Acta Agrophysica* 3(2) s. 317–323.
- LORENC H., 2006. Ocena jakości danych meteorologicznych po wprowadzeniu automatycznych przyrządów rejestrujących na sieci IMGW. *Annales UMCS* vol. 61 16 sect. B s. 256–266.
- PAWŁAK W., 2001. System pomiarowy strumienia ciepła w gruncie (na podstawie eksperymentu w Łodzi). *Annales UMCS* vol. 55/56 33 sect. B s. 269–275.
- ROJEK M., ROJEK M.S., ŁOMOTOWSKI J., 2001. Porównanie danych meteorologicznych uzyskiwanych przy wykorzystaniu klasycznej i automatycznej stacji meteorologicznej. *Annales UMCS* vol. 55/56 37 sect. B s. 299–307.
- ROJEK M., ROJEK M. S., 2004. Modelowanie dobowej zmienności temperatury gleby i powietrza przy pomocy funkcji wielomianowych. *Acta Agrophysica* 3(2) s. 367–373.
- Wybrane zagadnienia z zakresu pomiarów i metod opracowania danych automatycznych stacji meteorologicznych, 2001. Pr. zbior. Red. J. Lomotowski, M. Rojek. Wrocław: Wydaw. AR. Monografie 25 nr 428 ss. 87.

Joanna KAJEWSKA, Marian ROJEK

THE COMPARISON OF SOIL TEMPERATURE MEASURED WITH MERCURY THERMOMETERS AND AUTOMATIC STATION IN WROCLAW-SWOJEC OBSERVATORY

Key words: automatic station, significance and frequency of differences, soil temperature, standard method

S u m m a r y

The paper presents the results of soil temperature measurements at two depths (5 and 10 cm) under bare soil and under a lawn. The data according to standard (mercury thermometers) and automatic

station Campbell CR23X were compared. The research data were obtained from Agro- and Hydrometeorology Observatory Wrocław–Swojec of the Wrocław University of Environmental and Life Sciences from the period 2000–2008. Daily mean soil temperatures according to standard measurements were calculated from three records made at 7, 13, and 19 hour CET while those based on automatic measurements are the arithmetical means from hourly records. In all decades of the year, temperature under the lawn at two depths (5 and 10 cm) was higher than the values taken from automatic station. Temperatures under the bare soil recorded with automatic station were slightly higher in a few decades of the winter months. Very high correlation coefficients ($r \geq 0.999$) were obtained between the two methods. Distribution of the frequency of occurrence of differences between the two methods differed depending on the type of surface and depths. In the bare soil at 5 and 10 cm depths most differences occurred in the range from -0.5 to 0.5°C . Under the lawn at 5 cm most frequent differences were found in the range 1.5 – 2.5°C and at 10 cm – between 0.5 and 1.5°C .

Recenzenci:

prof. dr hab. Leszek Łabędzki

prof. dr hab. Jacek Żarski

Praca wpłynęła do Redakcji 14.04.2010 r.