

Bożena MICHALSKA, *Jadwiga NIDZGORSKA-LENCEWICZ

PORÓWNANIE SPOSOBÓW UŚREDNIANIA WYNIKÓW AUTOMATYCZNYCH POMIARÓW TEMPERATURY POWIETRZA I GLEBY

COMPARISON OF AVERAGING METHODS FOR AUTOMATIC AIR AND SOIL TEMPERATURE MEASUREMENT

Zakład Meteorologii i Klimatologii, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
ul. Papieża Pawła VI nr 3, 71-459 Szczecin

Abstract. The study is based on the results of automatic air temperature measurements (recorded at one-minute intervals) measured at the level of 5 and 200 cm above ground, and soil temperature measurements taken at 4 depths: 5, 10, 20 and 50 cm during the period from 1 December 2008 to 30 November 2009. The measurements were carried out at meteorological station in Ostoja situated on Gumieniecka Plain (suburban area of Szczecin). Hourly values – that is arithmetic mean of 60 measurements – were compared with instantaneous values from measurements taken every hour on the hour according to local standard time. Difference values were grouped according to adopted value ranges: $>-0,1$ to $0,1$ – no differences, $\geq 0,1$ – temperature from mean values higher than that from instantaneous measurements, $\leq -0,1$ temperature from mean values lower than that from instantaneous measurements. The paper also presents the course of calculated differences in air and soil temperature in various time periods: year, seasons, months, and subsequent hours of a day. The analysis confirms its efficacy with significant statistical differences between results obtained from mean and instantaneous measurements of air temperature, particularly in spring and summer.

Słowa kluczowe: istotność różnic, sposoby uśredniania, temperatura powietrza i gleby.

Key words: air and soil temperature, averaging methods, significance of differences.

WSTĘP

Terminy pomiarów elementów i zjawisk pogody na stacjach meteorologicznych i posterunkach klimatycznych IMGW ulegały zmianom w różnych okresach. Ocena jakości danych meteorologicznych po wprowadzeniu od 2001 roku na stacje IMGW automatycznych przyrządów rejestrujących była przedmiotem badań Lorenc (2006). Automatyczne stacje meteorologiczne łatwe w montażu i obsłudze instalowane są w ostatnich latach nie tylko w sieci IMGW, ale także w instytutach badawczych, stacjach doświadczalnych i stacjach agrometeorologicznych uczelni wyższych. Wprowadzenie nowej metody zbierania, gromadzenia i przetwarzania danych meteorologicznych może spowodować zerwanie jednorodności ciągów pomiarowych (Szwejkowski 1999, Łabędzki i in. 2001, Rojek i in. 2001).

*Adres do korespondencji – Corresponding author: dr inż. Jadwiga Nidzgorska-Lencewicz, Zakład Meteorologii i Klimatologii, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, ul. Papieża Pawła VI nr 3, 71-459 Szczecin, e-mail: jnidzgorska@zut.edu.pl

Szczególnie różne procedury przetwarzania danych, czyli obliczania wielkości średnich, stwarzają niebezpieczeństwo uzyskania rozbieżnych wyników (Żarski i in. 2001, Lorenc 2006, Kuśmierk 2008, Durło i Kajewska 2009, Kajewska i Rojek 2010). Stacje automatyczne mogą być zaprogramowane na wykonywanie pomiarów w różnych odstępach czasu, np. co 1, 5 lub 10 minut, a uzyskane w ten sposób wartości średnie godzinne i średnie dobowe mogą odbiegać od wartości obliczonych z pomiarów chwilowych wykonywanych o pełnych godzinach UTC.

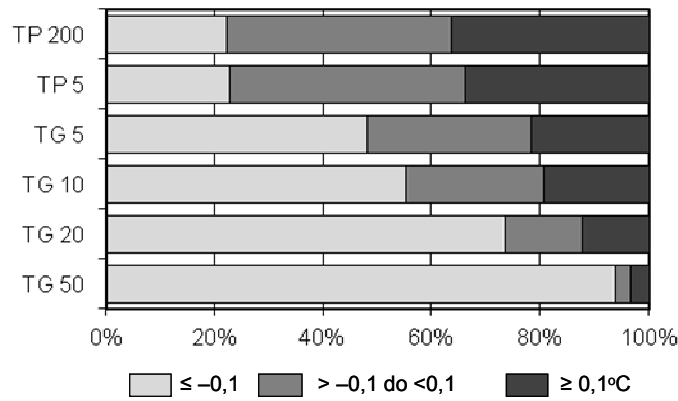
Celem pracy była ocena wielkości różnic między godzinnymi wartościami temperatury powietrza i temperatury gleby obliczonymi z 60 pomiarów wykonywanych w odstępach 1-minutowych a otrzymanymi z pomiarów chwilowych z pełnych godzin czasu urzędowego, w zestawieniu według miesięcy, sezonów i roku.

MATERIAŁ I METODY

W pracy wykorzystano wyniki automatycznych (wykonywanych w odstępach co 1 minutę) pomiarów temperatury powietrza z 5 i 200 cm n.p.g. oraz temperatury gleby z czterech głębokości: 5, 10, 20 i 50 cm z okresu od 1 grudnia 2008 do 30 listopada 2009 roku. Pomiarów wykonywano na stacji meteorologicznej w Ostoi położonej na Równinie Gumienieckiej (teren podmiejski Szczecina). Stacja powstała w ramach Programu INTERREG III A, projekt pt. „Rozbudowa innowacyjnej infrastruktury technicznej Ośrodka Szkoleniowo-Badawczego w Zakresie Energii Odnawialnej w Ostoi położonego w Euroregionie Pomierania”. Porównywano wartości godzinne obliczone jako średnia arytmetyczna z 60 pomiarów z wartościami chwilowymi z odczytów o pełnych godzinach czasu UTC. Uzyskane wyniki różnic zestawiono w trzech grupach: $>-0,1$ do $0,1$ – brak różnic, $\geq 0,1$ – temperatura z wartości uśrednianych wyższa od temperatury z odczytów chwilowych, $\leq -0,1$ temperatura z wartości uśrednianych niższa od temperatury z odczytów chwilowych. Przedstawiono przebieg obliczonych różnic temperatury powietrza i gleby w różnych okresach: roku, sezonach i miesiącach, w kolejnych godzinach doby. Scharakteryzowano średnie, odchylenie standardowe oraz maksymalne wartości dodatnich i ujemnych różnic w czterech porach roku, a ich istotność statystyczną oceniono testem t-Studenta. Obliczenia i rysunki wykonano w programach Excel[®] oraz Statistica[®].

WYNIKI I DYSKUSJA

Częstość występowania różnic pomiędzy temperaturą powietrza i gleby, obliczoną z wartości średnich oraz z pomiarów chwilowych (o pełnych godzinach) przedstawia rysunek 1. Wyniki pomiarów temperatury powietrza z wysokości klatki meteorologicznej (200 cm n.p.g.) oraz z warstwy przygruntowej (5 cm n.p.g.) wykazywały brak różnic w tych dwóch sposobach obliczeń w około 20% wyników. Dodatnie różnice, czyli wynik z wartości uśrednianych wyższy od wartości chwilowych, stanowiły na obydwu poziomach pomiarowych nieco ponad 40%, a różnice ujemne odznaczały się trochę niższym udziałem częstości – odpowiednio 38 i 36%. W przypadku temperatury gleby, w miarę wzrostu jej głębokości zdecydowanie zwiększał się udział jednakowych wyników, a malał udział wyników z dodatnimi i ujemnymi różnicami. W płytszych warstwach gleby w niewielkiej ilości przeważały różnice dodatnie nad ujemnymi, a na większych głębokościach – 20 i 50 cm – różnice ujemne. W najgłębszej warstwie gleby w ponad 90% wyniki obliczeń były jednakowe.



TP 200, TP 5 – temperatura powietrza odpowiednio z 200 i 5 cm n.p.g. – air temperature, respectively from 200 and 5 cm above the ground;
 TG 5, TG 10, TG 20, TG 50 – temperatura gleby odpowiednio z 5, 10, 20 i 50 cm – soil temperature, respectively from 5, 10, 20 and 50 cm;

Rys. 1. Częstość występowania godzinnych różnic temperatury powietrza i temperatury gleby obliczonych z wartości średnich oraz z pomiarów chwilowych w ciągu roku
 Fig. 1. Frequency of hourly differences in air and soil temperatures calculated from mean values and instantaneous measurements in a year

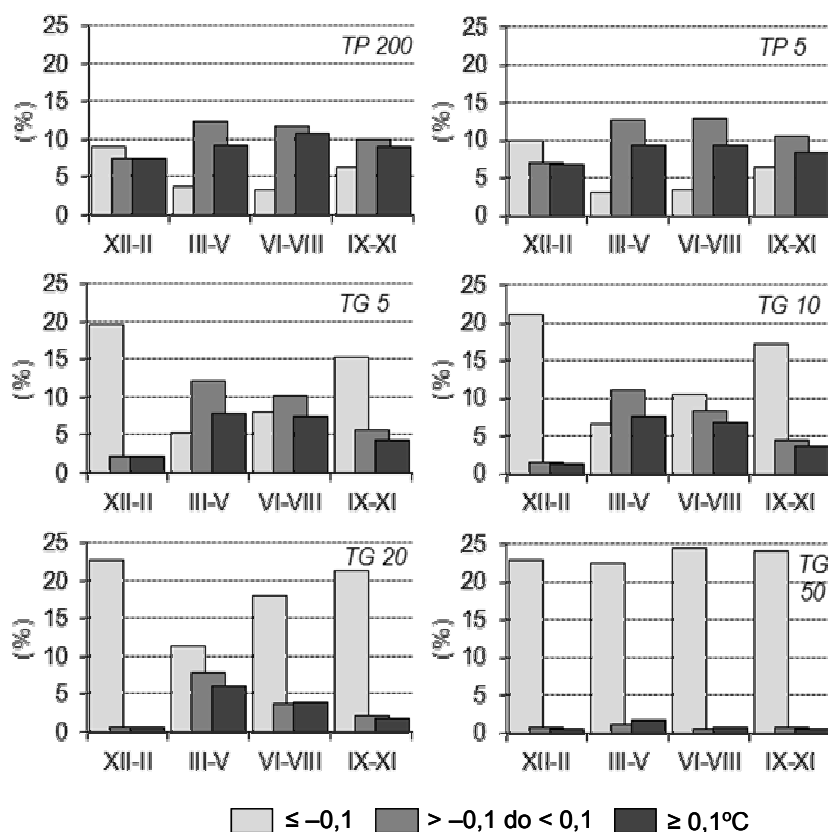
Analiza testu t-Studenta wykazała, że wartości temperatury powietrza z 200 i 5 cm n.p.g. w ciągu roku, uzyskane z pomiarów chwilowych, jak i obliczone z 60 pomiarów w odstępach 1-minutowych różniły się między sobą wysoce istotnie ($\alpha = 0,01$). Nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic w przypadku pomiarów temperatury gruntu – tabela 1.

Tabela 1. Wartości testu t-Studenta (α co najmniej 0,05) dla godzinnych różnic temperatury powietrza i temperatury gleby obliczonych z wartości średnich oraz z pomiarów chwilowych
 Table 1. Values of the t-Student test (α at least 0.05) for the hourly differences in air and soil temperatures calculated from mean values and instantaneous measurements

		TP 200		TP 5		TG 5	
		wartości testu t-Studenta dla różnic the value of t-Student test for differences					
		a	b	a	b	a	b
Rok – Year	doła – 24 h	-2,69	2,72	-3,13	3,18		
Wiosna – Spring	dzień – day		2,13		2,44		
	noc – night			-2,21			
Lato – Summer	dzień – day		3,06		3,19		2,16
	noc – night	-2,60		-2,68			
Jesień – Autumn	dzień – day				2,15		
	noc – night						
Zima – Winter	dzień – day						
	noc – night						

TP 200, TP 5 – temperatura powietrza odpowiednio z 200 i 5 cm n.p.g. – air temperature, respectively from 200 and 5 cm above the ground; TG 5 – temperatura gleby z 5 cm – soil temperature from 5 cm.
 a, b – wartości testu t-Studenta dla różnic odpowiednio dodatnich i ujemnych – the value of t-Student test for differences respectively, in positive and negative.
 brak wartości w komórce oznacza brak zależności statystycznie istotnej – cells without values mean lack of statistically significant relationship.

W układzie pór roku, największy odsetek wyników nie wykazujących różnic między dwoma sposobami obliczeń występował na wszystkich poziomach pomiarowych zimą, zwiększając się od 9% w przypadku pomiarów temperatury powietrza na 200 cm n.p.g. do 23% w glebie na głębokościach 20 i 50 cm (rys. 2).



Pozostałe objaśnienia jak na rys. 1 – Other explanations as in Fig.1.

Rys. 2. Częstość występowania godzinnych różnic temperatury powietrza i temperatury gleby obliczonych z wartości średnich oraz z pomiarów chwilowych, według sezonów

Fig. 2. Frequency of hourly differences in air and soil temperatures calculated from mean values and instantaneous measurements, by seasons

W tej porze roku różnice dodatnie, jak i ujemne, występowały w zbliżonych proporcjach na wszystkich poziomach pomiarowych. Wiosną, latem i jesienią przeważały dodatnie różnice w pomiarach temperatury powietrza, a w przypadku temperatury gleby proporcje zmieniały się w miarę wzrostu głębokości na korzyść jednakowych wyników obliczeń. W najgłębszej warstwie – 50 cm, brak różnic w dwóch sposobach obliczeń temperatury gleby kształtował się od około 22% wiosną do 24% latem i jesienią. Analiza zbioru równoległych obserwacji średniej dobowej temperatury powietrza (200 cm n.p.g.) na stacjach w Łebie, Płocku i Katowicach, mierzony w 2003 roku sprzętem tradycyjnym i czujnikami automatycznymi, wykazała, iż ponad 90% wszystkich obserwacji mieściło się w przedziale $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ (Lorenc 2006). Znacznie większy rozrzut odchyłań dotyczył pomiarów temperatury minimalnej przy gruncie, największy udział miały odchylenia w kierunku ujemnym, np. w Płocku blisko 80% pomiarów

przekroczyło $-1,0^{\circ}\text{C}$. Częstość odchyień w kierunku przeciwnym na wszystkich stacjach miała niewielki procent. Stąd wysnuto wniosek, iż pomiary temperatury minimalnej przy powierzchni gruntu od czasu rejestracji czujnikiem automatycznym są zerwaną serią, w stosunku do okresu wcześniejszego. Do podobnych stwierdzeń doszli Kejna i Uscka-Kowalkowska (2006). Wprowadzenie pomiarów automatycznych na stacji w Koniczynie na Pojezierzu Chełmińskim nie zapewniało porównywalnych z tradycyjnymi wyników pomiarów w zakresie temperatury powietrza, gdyż średnia roczna różnica $-0,3^{\circ}\text{C}$ przekroczyła wartość krytyczną przyjętą przez Lorenc (2006) za $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$. W celu zachowania zgodności pomiarów temperatury powietrza mierzonej różnymi metodami Kuśmierk (2008) skonstruowała równania regresji pozwalające przeliczyć pomiary standardowe, opierając się na pomiarach automatycznych i odwrotnie.

Miary statystyczne (wartości średnie, odchylenie standardowe oraz ekstrema) dodatnich i ujemnych różnic na wszystkich poziomach pomiarowych w czterech porach roku przedstawia rysunek 3. Największe średnie wartości i odchylenia standardowe zarówno dodatnich, jak i ujemnych różnic występowały na poziomie pomiarowym 5 cm n.p.g., najmniejsze natomiast, jak należało się spodziewać, w najgłębszej warstwie gleby. Przeciętne wartości dodatnich różnic w żadnej z pór roku nie przekraczały 1°C , największe były w lecie – od $0,16^{\circ}\text{C}$ na głębokościach 20 i 50 cm do $0,74^{\circ}\text{C}$ na wysokości 5 cm n.p.g. W tej porze roku wystąpiły też ekstremalnie duże różnice pomiędzy temperaturą powietrza obliczoną dwiema analizowanymi metodami. Na wysokości 200 cm n.p.g. różnica wyniosła $6,1^{\circ}\text{C}$, a w przygruntowej warstwie powietrza aż 10°C . Sytuacja taka zdarzyła się 4 lipca 2009 roku, kiedy temperatura z pomiaru chwilowego o godz. 18⁰⁰ była niższa w porównaniu z wartością obliczoną jako średnia z 60 cominutowych pomiarów. Przyczyną była zapewne gwałtowna ulewa (6,1 mm) połączona z silnym porywistym wiatrem ($61 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$), która wystąpiła między godziną 17 a 18, powodując duży spadek temperatury powietrza, co zostało zarejestrowane w pomiarach chwilowych na poziomach 200 i 5 cm n.p.g. Stąd wydaje się, że wartości uśredniane dają bardziej rzeczywisty obraz przebiegu temperatury powietrza od wartości chwilowych.

Średnie ujemne różnice temperatury powietrza najwyższe były latem, a temperatury gleby wiosną, zaś najmniejsze zimą. Niezależnie od sezonu, największe zarówno średnie, jak i minimalne różnice wystąpiły w przygruntowej warstwie powietrza (rys. 3). Rozpatrując dobową strukturę różnic w dwóch sposobach obliczeń temperatury, stwierdza się, że największa częstość ujemnych różnic (wartości uśrednione były niższe od wartości z pomiarów chwilowych) wystąpiła w godzinach przedpołudniowych (rys. 4). W kwietniu częstość ta wyniosła nawet 100% zarówno w pomiarach temperatury powietrza, jak i temperatury gleby do głębokości 20 cm. Również wysoki procent (ponad 90) ujemnych różnic utrzymywał się w przypadku temperatury powietrza, w pozostałych miesiącach wiosny i lata, przesuwając się jednak na wcześniejsze godziny poranne.

Zdecydowanie największy brak różnic w sposobach obliczeń występował zimą, a zwłaszcza przy temperaturze gleby, gdzie różnice zanikały w miarę wzrostu głębokości, a na poziomie 50 cm było ich bardzo mało we wszystkich miesiącach roku. Wpływ na to miała zapewne mała dobowo zmienność temperatury na tej głębokości. Jak wynika z badań Michalskiej i Nidzgorskiej-Lencewicz (2008) w glebie nieporośniętej, termoizoplety dobowego rozkładu temperatury gleby na głębokości 50 cm wskazywały na całkowity brak zmienności w styczniu.

Udział dodatnich różnic (wartości uśrednione wyższe od pomiarów chwilowych) zaczynał wzrastać na początku wiosny, utrzymując się na wysokim poziomie od kwietnia do września. Najwięcej tych różnic występowało w przygruntowej warstwie powietrza, a następnie na 200 cm n.p.g. oraz w powierzchniowej warstwie gleby. Dodatnie różnice są charakterystyczne dla godzin wieczornych i nocnych, co ma zapewne związek z dobową zmianą strumienia ciepłego w glebie (Usovich i Marczewski 2005, Kossowski 2007, Michalska, Nidzgorska-Lencewicz 2008).

W tabeli 1 zamieszczono istotne wartości testu t-Studenta wskazujące na różnice w sposobach obliczeń temperatury powietrza i gleby w ciągu doby z umownym jej podziałem na porę dzienną (7.00–18.00) i nocną (19.00–6.00). Temperatura powietrza (z 200 i 5 cm n.p.g.) różniła się istotnie w ciągu dnia wiosną i latem, a na wysokości z 5 cm n.p.g. w tych porach roku również nocą. W przypadku temperatury gruntu istotne różnice zaznaczyły się tylko na głębokości 5 cm – w ciągu dnia latem.

Rysunek 5 przedstawia histogramy częstości ujemnych i dodatnich różnic z dwóch sposobów obliczeń temperatury powietrza i gleby zestawione dla czterech pór roku. Wynika z nich, że niezależnie od wysokości pomiaru temperatury powietrza i głębokości temperatury gleby, największa częstość, we wszystkich porach roku, wystąpiła w przedziale 0,0 do 0,5°C, a więc były to różnice dodatnie. Największy rozrzut częstości na histogramach dotyczył temperatury powietrza wiosną i latem, szczególnie w warstwie przygruntowej. Na głębokościach 20 i 50 cm częstość różnic w sposobach pomiarów temperatury gleby zawierała się w przedziałach –0,5–0,0 i 0,0–0,5°C, ze zdecydowaną przewagą różnic dodatnich.

Przytoczone w pracy wyniki badań innych autorów dotyczą przede wszystkim porównania wyników pomiarów meteorologicznych uzyskanych z przyrządów tradycyjnych i automatycznych. O wadze problemu świadczą liczne prace z tego zakresu oraz seminaria i konferencje poświęcone problematyce pomiarów i opracowań elementów meteorologicznych. Po wprowadzeniu czujników automatycznych często dochodzi do zerwania jednorodności ciągów pomiarowych nie tylko w przypadku temperatury powietrza, ale też i innych elementów meteorologicznych – usłonecznienia, wilgotności powietrza czy opadów atmosferycznych. Wynika to z niejednorodności przyrządów, procedur pomiarowych i przetwarzania danych, a w szczególności obliczania wielkości średnich, jak to wystąpiło w przypadku niniejszych badań.

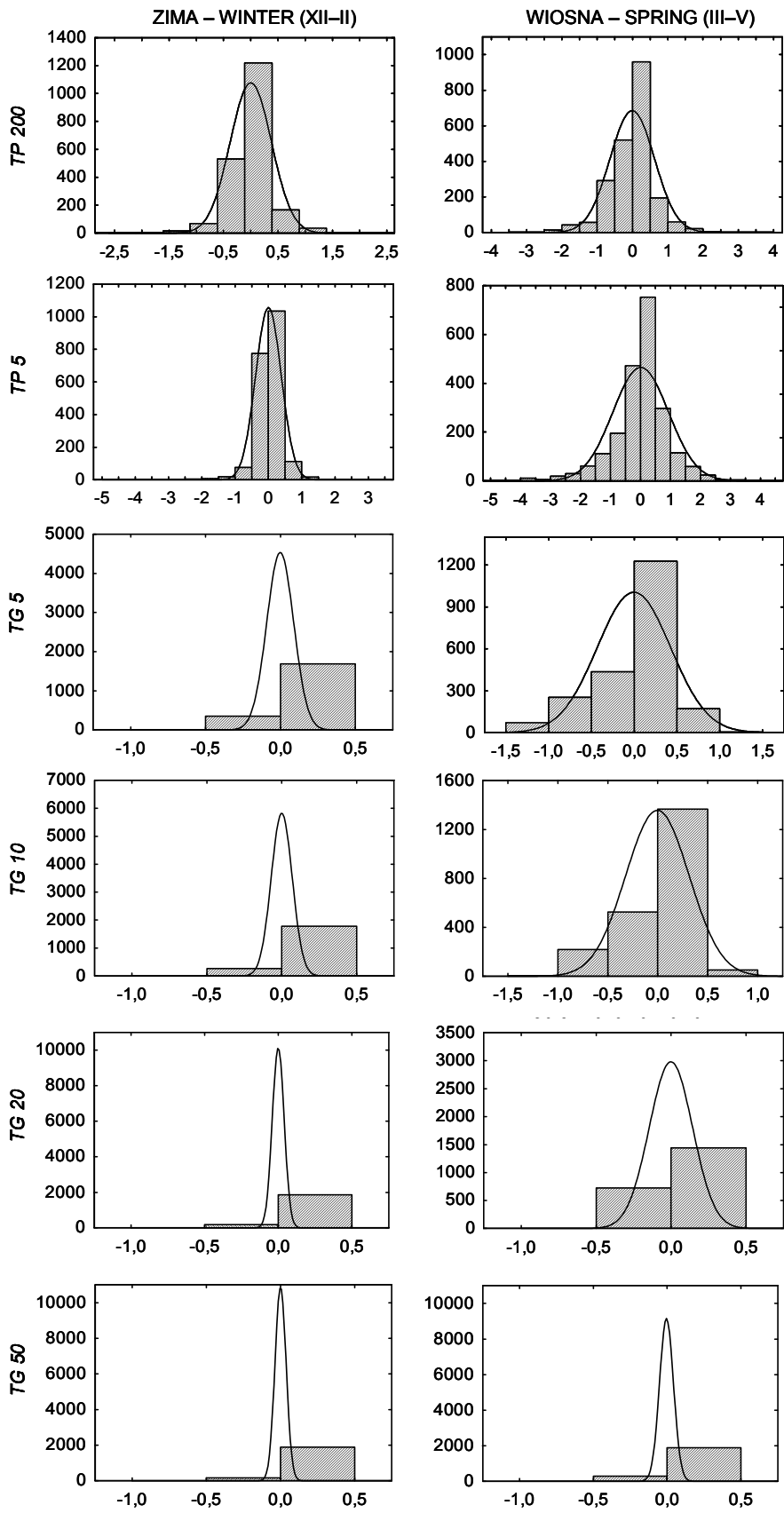
WNIOSKI

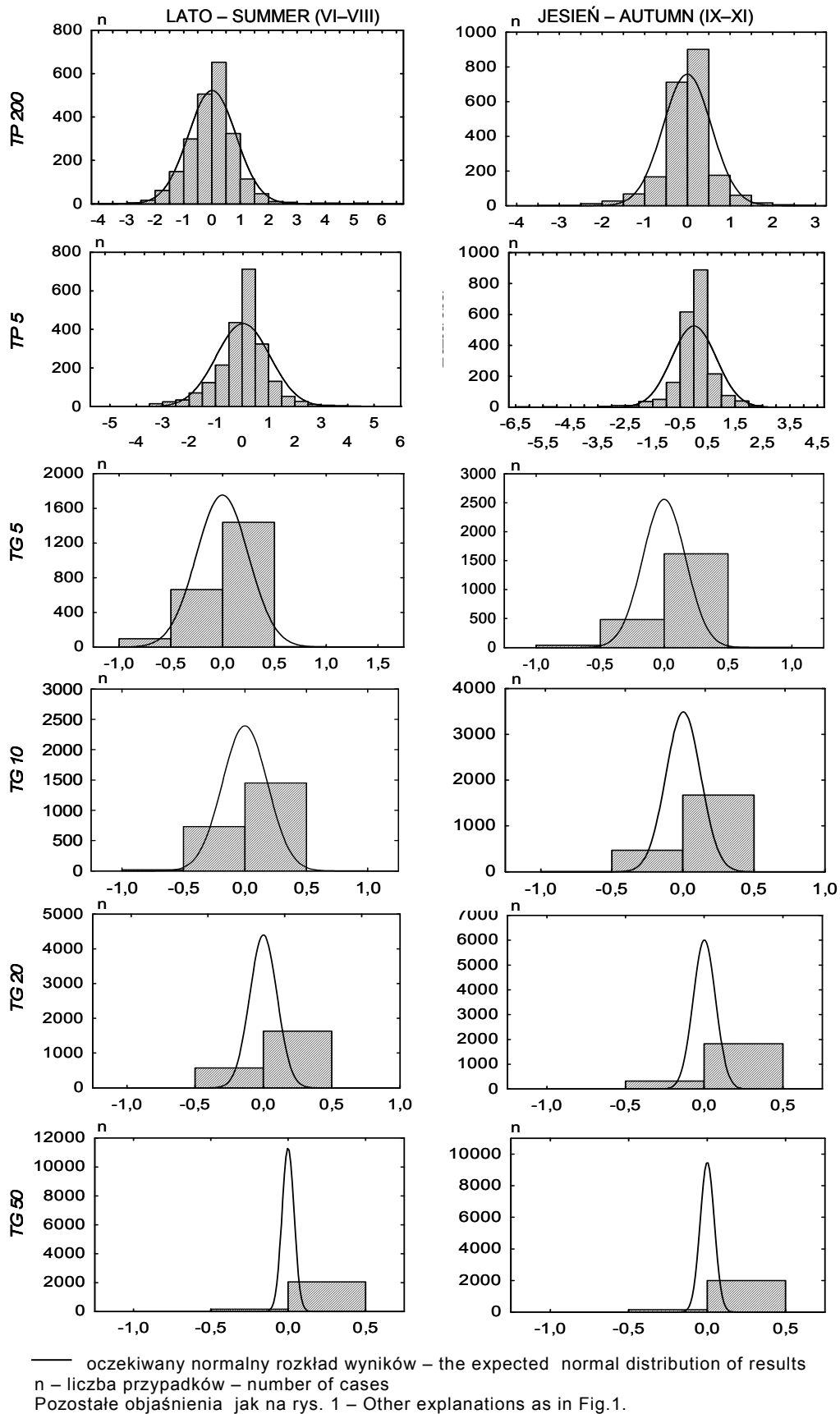
1. Dwa sposoby pozyskiwania wartości godzinnych temperatury powietrza i gleby przedstawione w niniejszej pracy wskazały na istotne różnice uzyskanych wyników, zwłaszcza w odniesieniu do temperatury powietrza wiosną i latem.

2. W układzie rocznym tylko 20% wyników pomiarów temperatury powietrza wykazywało brak różnic, w przypadku temperatury gleby udział jednakowych wyników wzrastał w miarę wzrostu głębokości warstwy gleby, przekraczając 90% na poziomie 50 cm.

3. Największa zgodność w dwóch sposobach obliczeń występowała zimą. We wszystkich porach roku przeważały różnice dodatnie (wartości uśrednione wyższe od pomiarów chwilowych).

4. W dobowej strukturze największa częstość różnic dodatnich występowała w godzinach wieczornych i nocnych, a ujemnych różnic w godzinach okołopołudniowych. Rozkład częstości zależał od pory roku i badanego elementu.





Rys. 5. Histogramy godzinnych różnic temperatury powietrza i temperatury gleby obliczonych z wartości średnich oraz z pomiarów chwilowych, według sezonów
 Fig. 5. Histograms of hourly differences in air and soil temperatures calculated from mean values and instantaneous measurements, by seasons

5. Wyniki badań niniejszej pracy wskazują, iż pomiar godzinny uzyskany jako średnia z 60 pomiarów cominutowych jest bardziej właściwy, zwłaszcza w odniesieniu do temperatury powietrza, od pomiarów chwilowych wykonywanych o pełnych godzinach.

PIŚMIENNICTWO

- Durło G.B., Kajewska J.** 2009. Czynniki technologiczne w automatycznych stacjach meteorologicznych. *Acta Agrophys.* 13 (1), 49–66.
- Kajewska J., Rojek M.** 2010. Porównanie temperatury gleby mierzonej rtęciowymi termometrami kolankowymi i za pomocą stacji automatycznej w Obserwatorium Wrocław-Swojec. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, IT-P w Falentach* 10 (32), 79–93.
- 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. *Ann. UMCS, sect. B, vol. LXI*, 208–217.
- Kossowski J.** 2007. O relacji między strumieniem ciepła w glebie a promieniowaniem słonecznym. *Acta Agrophys.* 151 10 (1), 121–135.
- Kuśmierk R.** 2008. Ocena przydatności automatycznej stacji pomiarowej do charakterystyki warunków termicznych powietrza. *Acta Agrophys.* 161 12 (1), 141–152.
- Lorenc H.** 2006. Ocena jakości danych meteorologicznych po wprowadzeniu automatycznych przyrządów rejestrujących na sieci IMGW. *Ann. UMCS, sect. B, LXI*, 256–266.
- Łabędzki L., Roguski W., Kasperska W.** 2001. Porównanie pomiarów meteorologicznych prowadzonych stacją automatyczną. *Prz. Nauk. Wydz. Inż. i Kszt. Śr.* 21, Warszawa, SGGW, 195–201.
- Michalska B., Nidzgorska-Lencewicz J.** 2008. Variability of daily temperature conditions in bare soil profile. *EJPAU*, vol. 11, issue 4, Topic: Agronomy.
- Rojek M., Rojek S., Łomotowski J.** 2001. Porównanie danych meteorologicznych uzyskanych przy wykorzystaniu klasycznej i automatycznej stacji meteorologicznej. *Ann. UMCS, sect. B, LV/LVI*, 37, 299–307.
- Szwejkowski Z.** 1999. Porównanie wyników pomiarów dokonywanych za pomocą klasycznej i automatycznej stacji meteorologicznej. *Folia Univ. Agric. Stetin., Agric.* 202 (89), 199–202.
- Usołowicz B., Marczewski W.** 2005. Rozkład właściwości cieplnych gleby na czarnym ugorze i pod murawą. *Acta Agrophys.* 5 (3), 745–757.
- Żarski J., Dudek S., Kuśmierk R.** 2001. Wstępna ocena przydatności automatycznej stacji pomiarowej do badań agrometeorologicznych. *Zesz. Nauk. ATR*, 236, Rol. 47, 129–134.