

Bożena MICHALSKA, Jadwiga NIDZGORSKA-LENCEWICZ

DOBOWA ZMIENNOŚĆ TEMPERATURY W PROFILU GLEBY POROŚNIĘTEJ W STACJI METEOROLOGICZNEJ W OSTOI

DAILY VARIABILITY OF TEMPERATURE IN THE PROFILE OF OVERGROWN SOIL IN THE OSTOJA METEOROLOGICAL STATION

Zakład Meteorologii i Klimatologii, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
ul. Papieża Pawła VI, 3, 71-459 Szczecin, bozena.michalska@zut.edu.pl

Abstract. The material used in the study is based on the results of the measurements of soil temperature carried out from 1 December 2008 to 30 November 2009 in the Ostoja meteorological station located in the suburbs of Szczecin. The analysis included hourly results of automatic measurements made at the standard depths of: 5, 10, 20 and 50 cm on the soil overgrown with lawn, in the real zonal time. Monthly, seasonal and annual mean temperatures of soil in individual hours of the day were calculated. In order to grasp temporal variability during the day (24 hours), the hourly distribution of mean and extreme values and the standard deviation in four seasons of the year were illustrated in the diagram. Monthly variability of the temperature of soil in the profile of 5–50 cm during 24 hours was shown in a form of thermoizopleths. The influence of snow cover and atmospheric precipitation on the vertical distribution of temperature in soil in selected days was evaluated.

Słowa kluczowe: amplitudy, rozkład w ciągu doby, struktura czasowa, temperatura gleby, termoizoplety.

Key words: amplitudes, distribution during the day (24 hours), temperature of soil, temporal structure, thermoizopleths.

WSTĘP

Rozkład temperatury gleby w ciągu doby zależy głównie od ilości energii cieplnej docierającej do jej powierzchni od słońca, która związana jest ze zmianami dobowymi i sezonowymi, a także od warunków pogodowych – wysokości opadów, grubości pokrywy śnieżnej, wielkości parowania oraz, w przypadku gleby porośniętej, od rodzaju i fazy rozwojowej roślin itp. (Walczak i Usowicz 1994; Szewczyk 2005; Usowicz i Marczewski 2005; Kossowski 2007).

Badania dobowej zmienności temperatury gleby dotyczą na ogół zmian zachodzących w ciągu dnia, co jest uwarunkowane standardowymi pomiarami prowadzonymi na stacjach meteorologicznych IMGW o godz. 6.00, 12.00 i 18.00 UTC, za pomocą termometrów kolankowych (Czarnecka 1977; Koźmiński 1983; Koźmiński i Michalska 1987; Bryś 2004; Nieróbca 2005). Wprowadzenie do badań pomiarów automatycznych umożliwia dokładne rozpoznanie zmian temperatury w profilu glebowym w ciągu całej doby w różnych skalach czasowych – wg doby, miesięcy, sezonów i roku. Próby takie autorki podejmowały już

wcześniej, opisując wyniki badań nad wpływem elementów meteorologicznych kształtujących temperaturę gleby nieporośniętej oraz zmiennością warunków termicznych w ciągu doby, na stacji agrometeorologicznej w Lipniku k. Stargardu Szczecińskiego (Michalska i Nidzgorska-Lencewicz 2005, 2008).

Na ogół przyjmuje się, że dobowe amplitudy temperatury gleby zanikają na głębokościach 70–100 cm (Radomski 1987). Licznar i Rojek (2004) podają, że w większości gleb Polski dobowe zmiany temperatury występują do głębokości 0,5–0,6 m, a zanik wahań temperatury gleby w płytszych warstwach jest zauważalny zwłaszcza w suchych profilach gleb piaszczystych. Na wielkość dobowej amplitudy mają wpływ warunki pogodowe. Z badań Michalskiej i Nidzgorskiej-Lencewicz (2005) wynikało, że opad dzień przed pomiarem powodował wyraźne zmniejszenie amplitudy dobowej w płytszych warstwach gleby i całkowity jej zanik na głębokości 50 cm. Wysoka temperatura powietrza, poprzedzona kilkudniowym brakiem opadu, powodowała wzrost amplitudy między głębokościami 5 i 50 cm, ale nie przyczyniła się do zmiany amplitudy na głębokości 50 cm.

Celem pracy była ocena zmian wartości średnich i ekstremalnych temperatury gleby porośniętej w ciągu doby w różnych skalach czasowych (rok, sezony, miesiące), a także wskazanie okresów największego i najmniejszego zróżnicowania temperatury w profilu gleby 5–50 cm.

MATERIAŁ I METODY

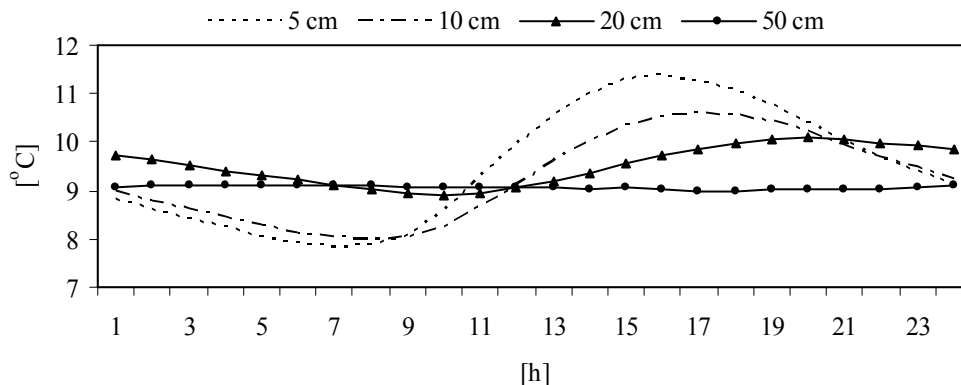
Pomiary temperatury gleby prowadzono w stacji meteorologicznej w Ostoi (w Ośrodku Szkoleniowo-Badawczym w Zakresie Energii Odnawialnej), położonej na przedmieściach Szczecina ($\lambda 14^{\circ}28'$ $\phi 53^{\circ}24'$ Hs 27 m n.p.m.), na terenie Równiny Gumienieckiej. W pracy wykorzystano wyniki pomiarów temperatury gleby prowadzone od 1 grudnia 2008 do 30 listopada 2009 r. Mimo ograniczonej do jednego roku liczebności danych, spowodowanej uruchomieniem stacji w listopadzie 2008 r., materiał obserwacyjny (365 dni x 24 pomiary w ciągu doby) wydaje się wystarczający do scharakteryzowania dobowej zmienności temperatury w profilu glebowym. Stacja została założona z funduszy Programu INTERREG III A, w ramach projektu pt. „Rozbudowa innowacyjnej infrastruktury technicznej Ośrodka Szkoleniowo-Badawczego w Zakresie Energii Odnawialnej w Ostoi położonego w Euroregionie Pomerania”. Analizą objęto codzinne wyniki automatycznych pomiarów wykonywanych w rzeczywistym czasie urzędowymi czujnikami oporowymi typu Th2-h, w zakresie temperatury $-50^{\circ}\dots+100^{\circ}\text{C}$, które umieszczono poziomo w glebie porośniętej trawnikiem na czterech standardowych głębokościach: 5, 10, 20 i 50 cm. Na stacji występuje czarna ziemia właściwa, wytworzona z gliny zwałowej o składzie granulometrycznym glina lekka. Gleba zaliczana jest do klasy bonitacyjnej gruntów ornych IIIa (pszenny dobry) i kompleksu przydatności rolniczej 8 (zbożowo-pastewny mocny).

Obliczono średnie miesięczne, sezonowe i roczne temperatury gleby w poszczególnych godzinach doby. W celu uchwycenia zmienności czasowej w ciągu doby przedstawiono na diagramach codzinny rozkład wartości średnich, ekstremalnych i odchylenia standardowego w czterech porach roku (zima XII–II, wiosna III–V, lato VI–VIII i jesień IX–XI) na czterech głębokościach. Dla wartości miesięcznych obliczono gradienty temperatury w $^{\circ}\text{C}$ między poziomami 5–50 cm oraz określono kierunki strumienia ciepłego w analizowanych

warstwach profilu glebowego do głębokości 50 cm. Zmienność temperatury gleby w profilu 5–50 cm w ciągu 24 godzin zobrazowano w postaci termoizoplek, które wykreślono dla poszczególnych miesięcy z dokładnością do 1°C. Przeanalizowano również dobowy rozkład temperatury gruntu w dniu, w którym wystąpiła najgrubsza pokrywa śnieżna, a także latem w dwóch kolejnych dobach bez opadu i po opadzie.

WYNIKI I DISKUSJA

Średnia roczna temperatura gleby w okresie od 1 grudnia 2008 do 30 listopada 2009 r. wyniosła na stacji meteorologicznej w Ostoi od 9,5°C na głębokości 5 cm do 9,1°C na głębokości 50 cm. Tak więc zróżnicowanie w profilu glebowym było małe, gdyż, uwzględniając wartości uśrednione w ciągu całej doby, nie przekroczyło 0,4°C. O podobnym rozkładzie średniej rocznej temperatury gruntu na stacjach położonych na polskim wybrzeżu Bałtyku piszą Jakusik i Owczarek (2008). Różnice temperatury w profilu glebowym 5–50 cm wyniosły od 0,3°C w Świnoujściu do 0,5°C w Łebie. Inaczej natomiast kształtowały się wartości temperatury gleby w Ostoi w poszczególnych godzinach. W najpłytszej warstwie profilu glebowego – na 5 cm – amplituda średniej rocznej temperatury wyniosła 3,6°C. Najwyższa średnia roczna temperatura (11,4°C) wystąpiła o godzinie 16.00, zaś najniższa (7,8°C) o godzinie 7.00 rano (rys. 1).



Rys. 1. Średnia roczna temperatura gleby porośniętej na głębokościach: 5, 10, 20 i 50 cm, według godzin
Fig. 1. Mean annual temperature of overgrown soil, at the depths of: 5, 10, 20 and 50 cm, according to hours

Mniejszą o 1°C amplitudą w ciągu doby odznaczała się średnia roczna temperatura gleby na głębokości 10 cm (2,6°C), przy czym nastąpiło przesunięcie wartości ekstremalnych – najwyższej na godzinę 17.00 i najniższej, utrzymującej się nieco dłużej, na czas od 7 do 9.00 rano. Na głębokości 20 cm różnica między temperaturą najwyższą, która wystąpiła w godzinach wieczornych (19–20.00), i najniższą (9–10.00) – przed południem – wyniosła tylko 1,1°C. Przebieg średniej rocznej temperatury na głębokości 50 cm był w ciągu całej doby niemal jednakowy – od godz. 23.00 do 13.00 wyniosła ona 9,1°C, a od 14.00 do 22.00 – 9,0°C. Podobne wyniki autorki uzyskały analizując dobowy przebieg średniej rocznej temperatury gleby nieporośniętej w Lipniku k. Stargardu Szczecińskiego (Michalska i Nidzgorska-Lencewicz 2008). Mimo iż były to różne okresy badań, odmienne gleby oraz ich pokrycie, to

temperatura najwyższa na głębokości 5 cm na obydwu stanowiskach była bardzo zbliżona – 11,3°C Lipnik i 11,4°C Ostoja. Większe różnice dotyczyły wartości najniższych, gdyż na stacji w Ostoje temperatura wyniosła 7,8°C, a w Lipniku 8,6°C. W miarę wzrostu głębokości amplituda dobową średniej rocznej temperatury gleby wyraźnie się zmniejszała i w Lipniku na glebie nieporośniętej na głębokości 50 cm wyniosła 0,2°C (Michalska i Nidzgorska-Lencewicz 2008), a w Ostoje pod murawą trawiastą – 0,1°C.

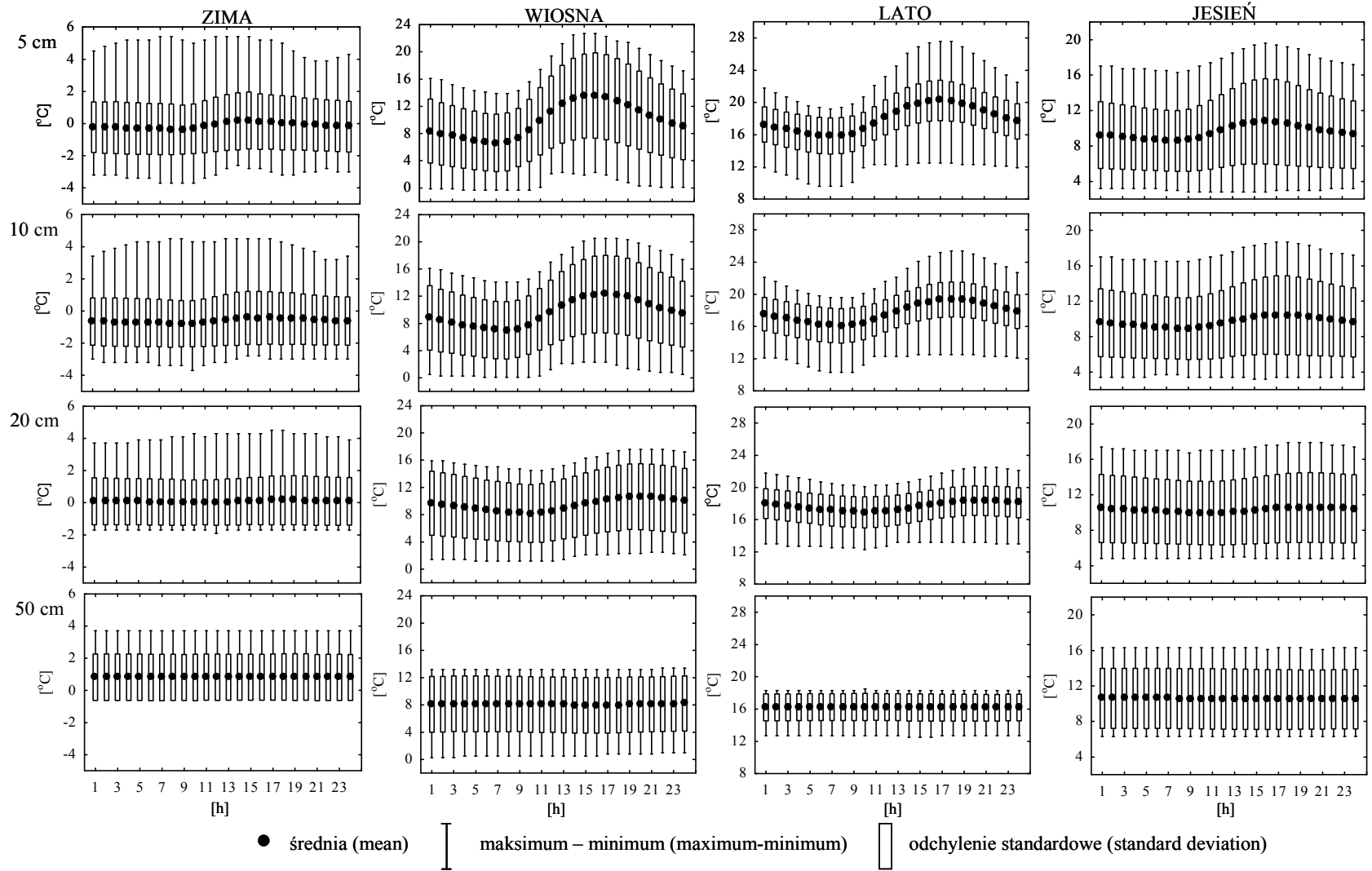
Przebieg temperatury gleby w cyklu dobowym na czterech głębokościach w ujęciu pór roku zamieszczono na rys. 2. Przedstawia on wartości średnie, ekstremalne oraz odchylenie standardowe. W porze zimowej największe różnice (0,6°C) w wartościach średnich zachodziły na głębokości 5 cm. Najwyższa średnia temperatura wystąpiła o godz. 15.00, a wartości najniższe przypadają na 8–9.00 rano. O tej porze roku zauważa się na wszystkich badanych głębokościach większe różnice między wartościami maksymalnymi a średnimi, aniżeli minimalnymi a średnimi. Szczególnie jest to widoczne na głębokości 50 cm, gdzie na diagramie wartości odchylenia standardowego nałożyły się na wartości temperatury minimalnej. Na tej głębokości zimą całkowicie zanikają w ciągu doby różnice temperatur zarówno średnich, jak i ekstremalnych.

Wiosna charakteryzuje się największą zmiennością temperatury, co potwierdzają wartości odchylenia standardowego, które na wszystkich głębokościach są około trzykrotnie większe niż zimą. Największe zmiany średniej temperatury zachodziły między godziną 9 a 18.00 w warstwie gleby 5–20 cm. Na głębokości 50 cm różnice średniej temperatury wiosną nie przekraczały w ciągu doby 0,2°C. Wiosną, odwrotnie niż zimą, zauważa się większe amplitudy między wartościami średnimi a minimalnymi niż średnimi a maksymalnymi, co szczególnie jest widoczne w godzinach popołudniowych na głębokości 5 cm i w ciągu całej doby na głębokości 50 cm (rys. 2).

Lato, to pora roku o stosunkowo małej zmienności temperatury gleby. Największe odchylenia wartości ekstremalnych od średniej zachodziły między godziną 14 a 21.00 w warstwie gleby 5–10 cm, a o kilka godzin później na głębokości 20 cm. Nie było zmian średniej temperatury gleby w przebiegu dobowym na głębokości 50 cm.

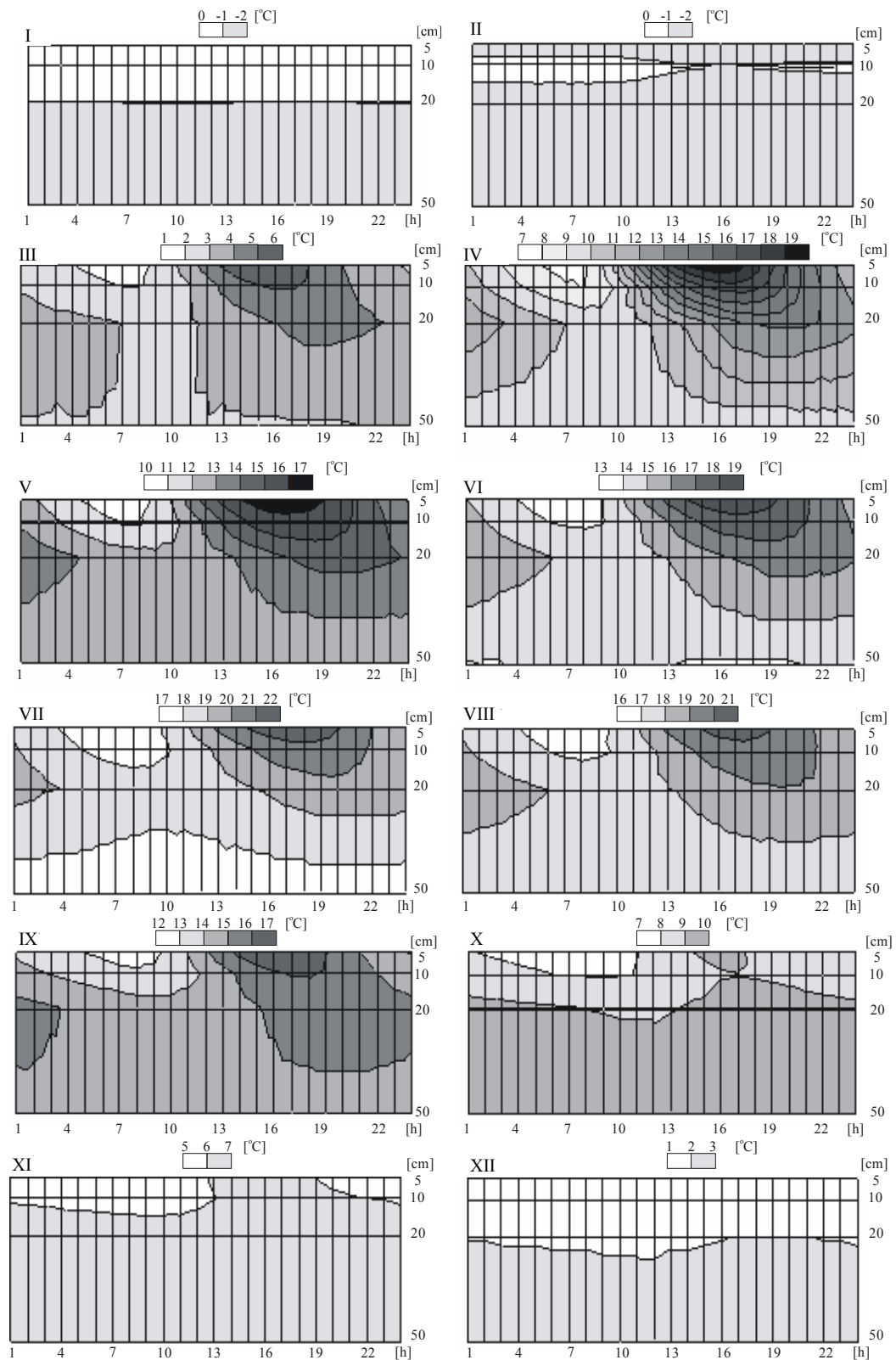
Jesień, to druga po wiosnie pora roku, w której jest duża zmienność temperatury gleby, co obrazują wielkości odchylenia standardowego. Największa zmienność była w godzinach popołudniowych, ale w przeciwieństwie do wiosny większe różnice w ciągu całej doby były między wartościami średnimi a maksymalnymi, a nie średnimi a minimalnymi.

Przebieg średnich miesięcznych wartości temperatury gleby w rozkładzie dobowym obrazują termoisoplety przedstawione na rys. 3. W badanym okresie od 1 grudnia 2008 do 30 listopada 2009 r. najwyższe temperatury – od 21 do 22°C – wystąpiły w lipcu przy powierzchni gleby w godzinach od 15 do 20.00. Takie 5-godzinne występowanie najwyższych temperatur było również w maju, czerwcu i we wrześniu, ale w tych miesiącach maksimum wystąpiło o godzinę wcześniej – od 14 do 19.00. Na większych głębokościach temperatura malała, co miało związek z przenikaniem ciepła na drodze przewodnictwa cieplnego. Usowicz i Marczewski (2005) podają, że wielkość strumienia ciepła w glebie jest determinowana składem mineralogicznym i zawartością materii organicznej – tzw. składową stałą oraz zagęszczeniem, uwilgotnieniem i temperaturą gleby – tzw. składową dynamiczną. Z przeprowadzonych przez autorów badań nad właściwościami cieplnymi gleby na czarnym ugorze i pod murawą wynika, że roślinność znacząco modyfikowała te właściwości, głównie w powierzchniowej warstwie gleby poprzez zróżnicowanie zawartości wody w glebie.



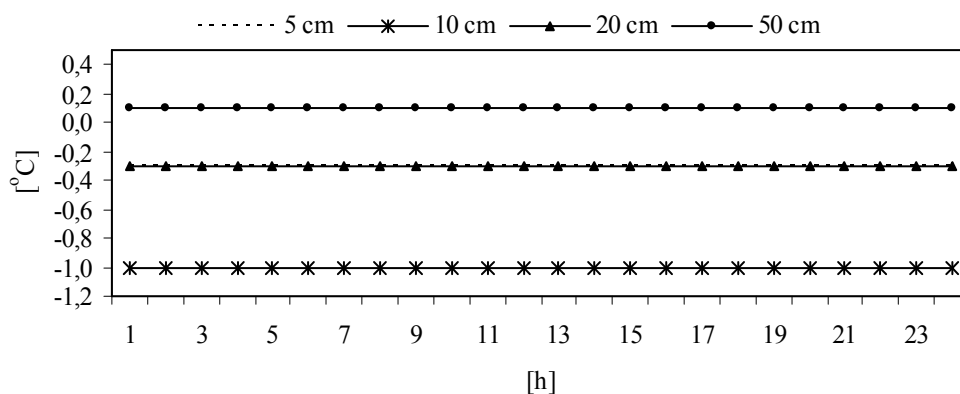
Rys. 2. Średnie, maksymalne, minimalne oraz odchylenie standardowe temperatury gleby porośniętej (°C) na głębokościach: 5, 10, 20 i 50 cm, według sezonów i godzin

Fig. 2. Mean, maximum and minimum values and standard deviation of overgrown soil temperature (°C) at the depths of: 5, 10, 20 and 50 cm, according to seasons and hour



Rys. 3. Średnie miesięczne temperatury gleby porośniętej na głębokościach: 5, 10, 20 i 50 cm, według godzin
 Fig. 3. Mean monthly temperature of overgrown soil, at the depths of: 5, 10, 20 and 50 cm, according to hours

Na głębokości 20 cm temperatura w lipcu (najcieplejszym miesiącu) nie przekraczała 20°C , a amplituda w ciągu doby wyniosła $1,3^{\circ}\text{C}$ (maksymalna $19,7^{\circ}$ o godz. 20.00 i minimalna $18,4^{\circ}$ o godz. 10.00). Jeszcze mniejsza dobową amplitudę zachodziła na poziomie 50 cm, jak wynika z termozoplek, jej wartość nie przekroczyła 1°C . Największa amplituda dobową wystąpiła w całym profilu glebowym w kwietniu. W najpłytszej badanej warstwie wyniosła ona $11,2^{\circ}\text{C}$ (z maksimum w godzinach od 14.30 do 16.30 i minimum od 6.00 do 8.00), malejąc w miarę głębokości do $0,3^{\circ}\text{C}$. Zróźnicowanie wartości ekstremalnych na poziomie 50 cm nie zostało uwidocznione z uwagi na przyjęte jednostopniowe przedziały temperatury na termozoplekach. Najmniejszy gradient temperatury w całym profilu glebowym 5–50 cm wystąpił w miesiącach wiosennych i letnich między 9 a 11.00, a już od września przesunął się na godziny późniejsze między 11 a 12.00. W listopadzie niemal całkowita izotermia w profilu glebowym zachodziła w godzinach od 13 do 19.00. W grudniu i styczniu wyższe temperatury utrzymywały się w ciągu całej doby w warstwie 20–50 cm, co zgodne jest z kierunkiem strumienia ciepłego. Natomiast w lutym najniższa temperatura we wszystkich godzinach występowała na głębokości 10 cm, co miało zapewne związek z zalegającą od 11 do 25 lutego pokrywą śnieżną, która największe grubości – 15–20 cm osiągnęła między 20 a 22 lutego. Przeanalizowano dodatkowo godziny przebiegu temperatury gleby na czterech głębokościach w dniu wystąpienia najgrubszej pokrywy śnieżnej (20 cm), czyli 20 lutego (rys. 4).



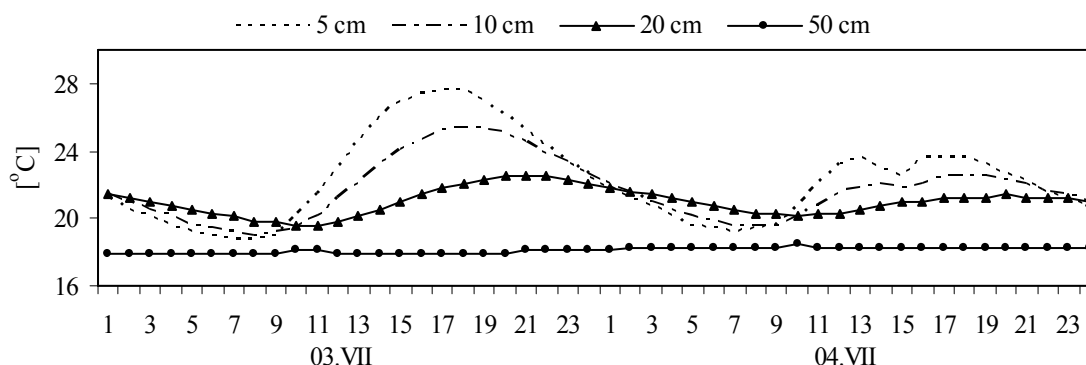
Rys. 4. Przebieg temperatury gleby porośniętej na głębokościach: 5, 10, 20 i 50 cm, w dniu 20 II 2009 r.

Fig. 4. The course of overgrown soil temperature at the depths of: 5, 10, 20 and 50 cm, on 20 February 2009

Nie zaobserwowano żadnych różnic temperatury gleby w czasie w profilu glebowym – we wszystkich przedziałach doby temperatura była jednakowa. Najwyższa, dodatnia temperatura ($0,1^{\circ}\text{C}$) wystąpiła na głębokości 50 cm, a najniższa ($-1,0^{\circ}\text{C}$) na głębokości 10 cm. Zarówno pokrywa śnieżna zimą, jak i opady atmosferyczne w ciągu całego roku, a także pokrycie gleby roślinnością prowadzą do deniwelacji różnic temperatury gleby w czasie, jak i w profilu glebowym, na co również zwracali uwagę między innymi Michalska i Nidzgorska-Lencewicz (2005), Usowicz i Marczewski (2005), Bryś (2008). W dniach tzw. insolacyjnych, czyli bez opadu, ilość ciepła wnikająca do gleby podczas całego dnia na ogół nie przekracza 20% (choć najwyższe wartości mogą osiągać 29%) sumy dobowej całkowitego promieniowania słonecznego, wykazując wyraźną zależność od wielkości tych sum (Kossowski 2007). Tym

między innymi należałoby tłumaczyć duże zróżnicowanie temperatury gleby w kwietniu zarówno w powierzchniowej warstwie, które w ciągu doby wyniosło $11,2^{\circ}\text{C}$, jak i w profilu gleby 5–50 cm – $9,6^{\circ}\text{C}$ w godzinach między 15 a 16.00. Porównując sumy promieniowania całkowitego, w poszczególnych miesiącach 2009 r., stwierdza się, że zarówno w Ostoi, jak i na stacji agrometeorologicznej w Lipniku, położonej w centralnej części Niziny Szczecińskiej, najwyższe wartości wystąpiły właśnie w kwietniu i wyniosły odpowiednio: $156\,417\text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ oraz $155\,779\text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, co na obydwu stacjach stanowiło 127% normy wieloletniej (Lipnik 1995–2005), która wyniosła $123\,024\text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

W badanym okresie najwyższa temperatura powietrza ($30,1^{\circ}\text{C}$) wystąpiła 3 lipca o godz. 16.00, godzinę później zmierzono najwyższą temperaturę ($27,6^{\circ}\text{C}$) w przy powierzchniowej warstwie gleby. Na głębokości 10 cm maksimum ($25,4^{\circ}\text{C}$) wystąpiło między 18 a 19.00, a na głębokości 20 cm – ($22,5^{\circ}\text{C}$) między 20 a 22.00. Dobowe maksimum ($18,5^{\circ}\text{C}$) na najgłębszym poziomie 50 cm wystąpiło następnego dnia o godz. 10.00 (rys. 5).



Rys. 5. Przebieg temperatury gleby porośniętej na głębokościach: 5, 10, 20 i 50 cm, w dniach 3 VII oraz 4 VII 2009 r.

Fig. 5. The course of overgrown soil temperature at the depths of: 5, 10, 20 and 50 cm, on 3 July and 4 July 2009

Amplitudy dobowe temperatury gleby w tym dniu (3 VII), zaliczanym do pogodnych o bardzo wysokiej sumie promieniowania całkowitego ($7983\text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$), zmniejszały się w profilu glebowym odpowiednio: $8,9^{\circ}$, $6,4^{\circ}$, $3,9^{\circ}$ i $0,6^{\circ}\text{C}$. W następnym dniu (4 VII), który odznaczał się dużo mniejszą dzienną sumą promieniowania całkowitego ($4365\text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$), w godzinach okołopołudniowych wystąpił opad w wysokości 6,1 mm, w wyniku którego nastąpiło wyraźne zmniejszenie różnic temperatury w ciągu doby na poszczególnych poziomach pomiarowych, jak i między poziomami – z $4,4^{\circ}\text{C}$ na głębokości 5 cm do całkowitego zaniku amplitudy dobowej na głębokości 50 cm. Ilość ciepła wnikająca do gleby i zmiany kierunku strumienia ciepła zależą w dużej mierze od stopnia zachmurzenia i rodzaju chmur w tym czasie. Zachmurzenie nie jest mierzone przez automatyczną stację w Ostoi, ale z pomiarów promieniowania całkowitego można wnioskować, że od około godz. 12.00 niebo było całkowicie zachmurzone, gdyż promieniowanie zmniejszyło się z $830\text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ o godz. 11.00 do $73\text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ o godz. 12.00, a wartości na poziomie 160–180 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ utrzymywały się do godzin popołudniowych.

WNIOSKI

W badanym okresie od 1 grudnia 2008 do 30 listopada 2009 r. średnia roczna temperatura gleby osiągnęła najwyższą wartość (11,6°C) na poziomie 5 cm o godz. 16.00, a najniższą (7,8°C) o godz. 7.00. W miarę wzrostu głębokości zmniejszały się amplitudy temperatury od 3,6°C w najpłytszej warstwie, poprzez 2,6° na głębokości 10 cm i 1,1° – na 20 cm, by na poziomie 50 cm zaniknąć niemal zupełnie – 0,1°C. Oprócz zmniejszania się amplitudy, występuje również przesunięcie w czasie wartości ekstremalnych w głębszych poziomach pomiarowych, odpowiednio: o około 1, 3 i 7 godzin, w stosunku do głębokości na 5 cm.

Spośród czterech pór roku największą zmiennością temperatury charakteryzuje się wiosna, co potwierdzają wartości odchylenia standardowego, które na wszystkich głębokościach są około trzy razy większe niż zimą. Największe zmiany średniej temperatury wiosną zachodziły między godziną 9 a 18.00 w warstwie gleby 5–20 cm. Na głębokości 50 cm średnia temperatura w kolejnych godzinach doby we wszystkich porach roku (poza wiosną) nie wykazywała zmian.

Najwyższa średnia miesięczna temperatura gleby (21–22°C) wystąpiła w lipcu na głębokości 5 cm w godzinach między 15 a 20.00, a najniższa (17–18°C) między 4 a 9.00. Dobowa amplituda temperatury gleby malała w tym miesiącu od 4,3°C w najpłytszej warstwie do 0,1°C w najgłębszej. W najchłodniejszym styczniu najwyższa temperatura wystąpiła na głębokości 50 cm (–0,1°C), a w najpłytszej warstwie wyniosła tylko 0,4°C, przy całkowitym zaniku dobowego zróżnicowania na tych głębokościach.

Najmniejszy gradient temperatury, nieprzekraczający 1°C w całym profilu glebowym 5–50 cm, występował w miesiącach wiosennych i letnich w godzinach przedpołudniowych, a w okresie jesiennym w godzinach popołudniowych. Zmiana kierunku strumienia ciepłego z zimowego na letni zachodzi w marcu, a z letniego na zimowy w październiku.

PIŚMIENNICTWO

- Bryś K.** 2004. Wieloletnia zmienność termiki gleby we Wrocławiu-Swojcu i jej radiacyjne i cyrkulacyjne uwarunkowania. *Acta Agrophys.* 3 (2), 209–219.
- Bryś K.** 2008. Wieloletni wpływ pokrywy roślinnej na termikę gleby. *Acta Agrophys.* 12 (1), 39–53.
- Czarnecka M.** 1977. Przebieg temperatury gleby pod ziemniakami średniowczesnymi oraz jęczmieniem jarym na stacji agrometeorologicznej w RZD Lipki k. Stargardu Szczecińskiego w latach 1963–1974. *Zesz. Nauk. AR Szczec., Rol.* 61, 93–100.
- Jakusik E., Owczarek M.** 2008. Zmienność temperatury gruntu na polskim Wybrzeżu. *Acta Agrophys.* 12 (2) 367–380.
- Kossowski J.** 2007. O relacji między strumieniem ciepła w glebie a promieniowaniem słonecznym. *Acta Agrophys.* 10 (1), 121–135.
- Koźmiński C.** 1983. Kształtowanie się temperatury gleby na głębokości 5 cm na stacji agrometeorologicznej w Lipkach k. Stargardu Szczecińskiego od czynników meteorologicznych. *Zesz. Nauk. AR, Rol. XXX-Ser. Przynr.*, 81–92.
- Koźmiński C., Michalska B.** 1987. Temperatura gleby na głębokości 50 cm w Polsce. Wydaw. AR w Szczecinie, 120.
- Licznar P., Rojek M.** 2004. Ocena warunków termicznych profilu glebowego przy wykorzystaniu sztucznych sieci neuronowych. *Acta Agrophys.* 3 (2), 317–323.
- Michalska B., Nidzgorska-Lenczewicz J.** 2005. Elementy meteorologiczne kształtujące temperaturę gleby nieporośniętej i pod żytem w stacji agrometeorologicznej w Lipkach. *Acta Agrophys.* 6 (2), 425–441.

- Michalska B., Nidzgorska-Lencewicz J.** 2008. Variability of daily temperature conditions in bare soil profile. *Electronics J. Pol. Agric. Univ., Agron.*, vol. 11, iss. 4.
- Nieróbca A.** 2005. Porównanie temperatury gleby na ugorze i pod murawą. *Acta Agrophys.* 6 (2), 444–453.
- Radomski C.** 1987. *Agrometeorologia*. PWN, Warszawa.
- Szewczyk J.** 2005. Wpływ zmian klimatycznych na temperaturę podpowierzchniową Ziemi. *Prz. Geol.* 53, 77–86.
- Usowicz B., Marczewski W.** 2005. Rozkład właściwości cieplnych gleby na czarnym ugorze i pod murawą. *Acta Agrophys.* 5 (3), 745–757.
- Walczak R., Usowicz B.** 1994. Variability of moisture, temperature and thermal properties in bare soil and in crop field. *Int. Agrophys.* 8, 161–169.