

ROCZNA I DOBOWA ZMIENNOŚĆ TEMPERATURY GRUNTU NA POLANIE ŚRÓDLEŚNEJ W WIELKOPOLSKIM PARKU NARODOWYM

Katarzyna Szyga-Pluta

Annual and diurnal variability of soil temperature in a forest clearing in the Wielkopolska National Park

Abstract: The aim of this study is to investigate the distribution of soil temperature in a forest clearing in the Wielkopolska National Park. The results of measurements of ground temperature at depths of 0, 5, 10, 20, 50 and 100 cm at the UAM Ecological Station in Jeziory were analyzed. Characterization of the annual and diurnal course and the thermal stratification of the soil in the period 2002–2015 was made. The variability of soil temperature gradients between levels at different depths was investigated. During the warm period there is a lapse, and in the cold period an increase in the temperature with depth. In March and September a reversal of the thermal profile takes place in the ground. The greatest amplitude between the surface and the depth of 100 cm occurs in December and is 5,2°C. The amplitude is also high in June, i.e. 4,8°C. Temperature gradients decrease with depth. In the soil layer of 0–5 cm there are greater changes in temperature (on average 0,04°C/1 cm), and with depth the rate of change is lower (0,0001°C/1cm in the layer of 50–100 cm). A high thermal activity of soil in layers up to 20 cm is indicated by the smallest difference in temperature between the layers at the surface. The deepest layers store most heat. The layer of 20–50 cm is characterized by high heat accumulation in the warm half of the year – then the greatest differences between the 20 and 50 cm levels occur. The average diurnal ground temperature in Jeziory in the years 2002–2015 is 9,8°C and does not change with depth. The diurnal amplitude of temperature changes – it decreases with the depth. The highest amplitude of temperature is characterized by the lowest layers of soil and is 8,4°C on average throughout the day. The amplitude values decrease with depth to 0,0°C at a depth of 100 cm. It is clearly shown that the maximum temperature of soil is shifted in time with depth. The greatest diurnal

changes of soil temperature in the warm half of the year are in the layer up to 50 cm, and in the cold half of the year – to a depth of 20 cm. The obtained results show that the thermal conditions of the ground in a forest clearing are different from those characterizing the ground in open areas.

Key words: soil temperature, forest clearing, Jezioro, Wielkopolska National Park

Zarys treści: Celem niniejszego opracowania jest określenie rozkładu temperatury gruntu na polanie śródleśnej w Wielkopolskim Parku Narodowym. Analizie poddano wyniki pomiarów temperatury przy powierzchni gruntu (0 cm) oraz temperatury gruntu na głębokościach 5, 10, 20, 50 i 100 cm w Stacji Ekologicznej UAM w Jeziorach. Scharakteryzowano przebieg roczny i dobowy oraz stratyfikację termiczną gruntu w latach 2002–2015. Zbadano zmienność gradientów temperatury gruntu pomiędzy poziomami na poszczególnych głębokościach. W okresie od kwietnia do sierpnia następuje spadek, a w okresie od października do lutego wzrost temperatury wraz z głębokością. W marcu i we wrześniu zachodzi odwrócenie profilu termicznego w gruncie. Największa różnica temperatury między powierzchnią a głębokością 100 cm występuje w grudniu i wynosi 5,2°C. Dużą różnicą charakteryzuje się również czerwiec, tj. 4,8°C. Gradienty temperatury maleją wraz z głębokością. W warstwie gruntu 0–5 cm następują większe zmiany temperatury (średni gradient 0,04°C/cm), a wraz z głębokością tempo zmian jest mniejsze (średnio 0,0001°C/cm w warstwie 50–100 cm). W warstwie gleby do 20 cm zachodzą największe zmiany temperatury. Najwięcej ciepła magazynują warstwy najgłębsze. Warstwa 20–50 cm charakteryzuje się natomiast dużą akumulacją ciepła w cieplej połowie roku – występują wtedy największe różnice między tymi poziomami. Średnia dobowa temperatura gruntu w Jeziorach w latach 2002–2015 wynosiła 9,8°C. Amplituda dobowa temperatury malała wraz z głębokością. Największa amplituda temperatury charakteryzowała najpłytsze warstwy gruntu i wynosiła w ciągu doby średnio w analizowanych latach 8,4°C. Im głębiej tym wartości amplitudy malały do 0,0°C na głębokości 100 cm. Wyraźnie widoczne jest przesunięcie terminu najwyższej temperatury gruntu wraz z głębokością. Największe zmiany dobowe termiki gruntu w cieplej połowie roku zachodzą w warstwie do 50 cm, a w chłodnej połowie roku do głębokości 20 cm. Uzyskane wyniki pozwalają na stwierdzenie, że warunki termiczne gruntu na polanie śródleśnej różnią się od tych charakteryzujących grunt na obszarach otwartych.

Słowa kluczowe: temperatura gruntu, polana śródleśna, Jezioro, Wielkopolski Park Narodowy

Wstęp

Analiza wieloletniej serii pomiarów temperatury gruntu może dostarczyć szeregu ważnych informacji dotyczących zmienności warunków meteorologicznych występujących w otoczeniu obszaru badań. Rozkład temperatury w gruncie jest ważnym elementem meteorologicznym z punktu widzenia charakterystyki wymiany ciepła pomiędzy atmosferą a podłożem (Miętus, Filipiak 2001). Przebieg temperatury gruntu w ciągu doby zależy głównie od ilości energii cieplnej docierającej do jej powierzchni od Słońca, a także od warunków pogodowych – wysokości opadów,

grubości pokrywy śnieżnej, wielkości parowania oraz od rodzaju i fazy rozwojowej roślin w przypadku gleby porośniętej (Usovich, Marczewski 2005; Kossowski 2007; Michalska, Nidzgorzka-Lencewicz 2010). Istotną rolę w przebiegu temperatury gleby odgrywa pokrywa śnieżna, której termoizolacyjne właściwości zwiększają się wraz ze wzrostem jej grubości (Wojkowski, Skowera 2017). Na przebieg temperatury gleby, ale także na kształtowanie się warunków termicznych w całym jej profilu, wpływa każdy z elementów meteorologicznych. Badania nad wpływem wybranych elementów meteorologicznych kształtujących temperaturę gleby, w tym nieporośniętej i pod różnymi uprawami, były realizowane m.in. przez: Bryś (2004, 2008), Michalską i Nidzgorzka-Lencewicz (2005, 2010), Nieróbcę (2005), Kossowskiego (2005, 2007), Ciaranek (2013), Wojkowskiego i Skowercę (2017). Badania te dotyczyły gleb na otwartym terenie. Brakuje natomiast badań rozkładu temperatury w gruncie w lesie. Obszary leśne, gdzie występują powierzchnie czynne na kilku poziomach, charakteryzują się specyficznymi warunkami termicznymi. W obrębie kompleksów leśnych swoistym mikroklimatem charakteryzują się polany śródleśne. Wielkość polany oraz wysokość i gęstość otaczających ją drzew determinują zróżnicowanie warunków termicznych zależnych od dopływu promieniowania i warunków anemometrycznych (Molga 1986, Kożuchowski 2014).

Celem niniejszej pracy jest określenie przebiegu temperatury gruntu w ciągu roku, w poszczególnych porach roku oraz doby w latach 2002–2015 w Stacji Ekologicznej UAM w Jeziorach, która zlokalizowana jest na polanie śródleśnej w Wielkopolskim Parku Narodowym.

Metody i materiał źródłowy

Pomiary prowadzono w Jeziorach w Stacji Ekologicznej Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Stacja zlokalizowana jest w Wielkopolskim Parku Narodowym na wysokości 82 m n.p.m. nad Jeziorem Góreckim (ϕ 52°15'58"N, λ 16°48'5"E) na Pojezierzu Poznańskim (ryc. 1). Została utworzona w 1989 r. w celu realizacji zadań monitoringowych poprzez prowadzenie regularnych pomiarów i obserwacji terenowych. W 2000 r. uruchomiono czujnik mierzący temperaturę powietrza na 2 m n.p.g. (Vaisala). Od lipca 2001 r. rozpoczęto pomiary za pomocą czujników Pt100 mierzących temperaturę powietrza na wysokościach: 5, 20 i 100 cm oraz gradientowej sondy temperatury gruntu STG-941 (A-STER) mierzącej temperaturę przy gruncie pokrytym trawą (0 cm) i na głębokościach: 5, 10, 20, 50 i 100 cm. Ogródek meteorologiczny Stacji zlokalizowany na płaskiej, trawiastej polanie śródleśnej w pobliżu stacji, otoczony jest lasem z takimi gatunkami drzew jak sosna zwyczajna, dąb szypułkowy i grab pospolity. W podłożu na terenie pomiarowym znajdują się gleby płowe charakterystyczne dla borów mieszanych. Otoczenie stacji determinuje

dopływ promieniowania słonecznego do miejsca pomiarów. Na warunki termiczne tego obszaru wpływa niewątpliwie eutroficzne Jezioro Góreckie (Bednorz i in. 2003; Bednorz i in. 2004; Kaczmarek, Tamulewicz 2004).

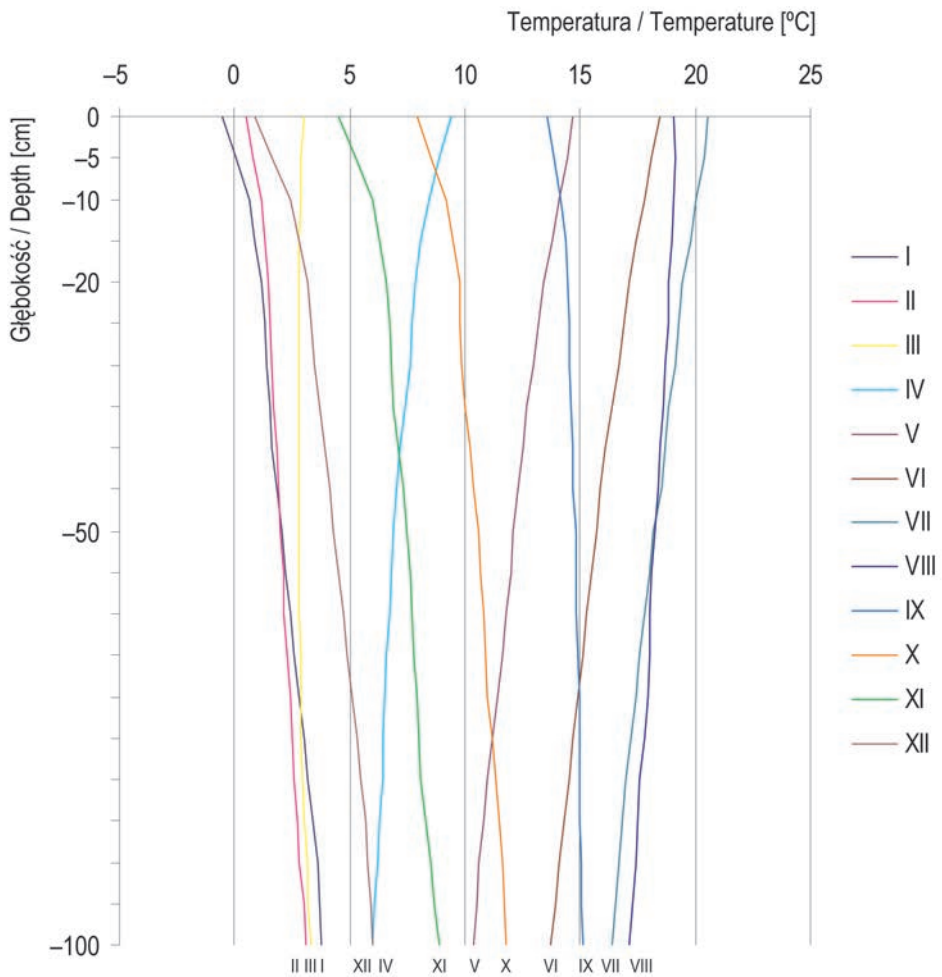
Do analizy wykorzystano codzienne pomiary temperatury powietrza na 2 m n.p.g. i temperatury gruntu czujnikami automatycznymi w okresie pomiarów, obejmujących lata 2002–2015. Jednorodność materiału pomiarowego sprawdzono testem Alexanderssona (1986). Obliczono średnie wartości temperatury przy gruncie (0 cm) i temperatury gruntu na głębokościach: 5, 10, 20, 50 i 100 cm dla kolejnych godzin w badanym okresie. Analizie poddano przebieg roczny temperatury gruntu na podstawie obliczonych średnich miesięcznych i dobowych wartości temperatury oraz stratyfikację termiczną gruntu w poszczególnych miesiącach roku. Zbadano zmienność różnicy temperatury gruntu pomiędzy poszczególnymi poziomami oraz gradientów temperatury na różnych głębokościach. Scharakteryzowano przebieg dobowy temperatury gruntu na podstawie wartości średnich z badanego okresu, średnich sezonowych oraz w najcieplejszym i najchłodniejszym miesiącu w roku. Obliczono korelację temperatury powietrza na 200 cm z temperaturą gruntu na poszczególnych głębokościach.

Temperatura powietrza w latach 2002–2015

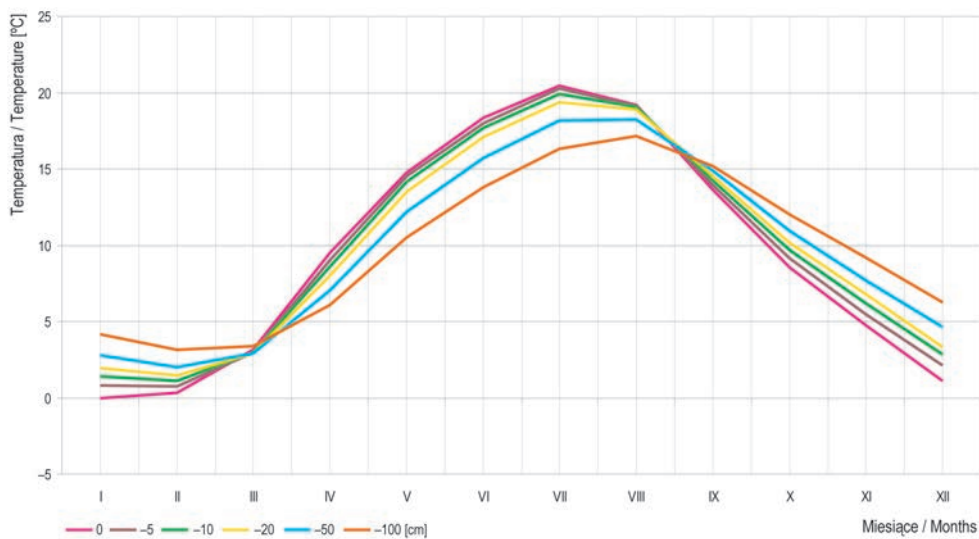
Średnia roczna temperatura powietrza w Jeziorach w latach 2002–2015 wynosiła 9,0°C (ryc. 2A). Najcieplejszy w okresie dokonywania pomiarów był rok 2015 (10,1°C). Najchłodniejszym zaś był rok 2010 ze średnią roczną temperaturą równą 7,5°C. Średnia roczna amplituda temperatury w badanym okresie wynosiła 21,1°C: największa w 2012 r. (27,3°C), a najmniejsza w 2007 r. (15,3°C). Szczególnie duże wahania z roku na rok średniej rocznej temperatury wystąpiły od 2009 r. Największymi wahaniami temperatury powietrza z roku na rok charakteryzowała się zima (rys. 2B). Wiosną i jesienią wahania te były najmniejsze. Średnia temperatura powietrza wiosną wynosiła 8,8°C. Najcieplejsza wiosna wystąpiła w 2002 i 2007 r. (10,2°C), a najchłodniejsza w 2013 r. (6,7°C). Średnia temperatura w lecie wynosiła 18,4°C. Najcieplejsze lato w Jeziorach było w 2011 r. (20,8°C), a najchłodniejsze w 2005 r. (17,4°C). Jesienią średnia temperatura była równa 9,0°C. W roku 2006 jesień była najcieplejsza (11,0°C), a w 2010 r. najzimniejsza (7,5°C). W sezonie zimowym średnia temperatura wynosiła -0,1°C. Najwyższa średnia temperatura zimą wystąpiła w 2015 r. (3,0°C), a najniższa w 2010 r. (-4,6°C).



Ryc. 1. Położenie Stacji Ekologicznej UAM w Jeziorach
Fig. 1. Location of the UAM Ecological Station in Jeziory



Ryc. 3. Stratyfikacja termiczna gruntu w kolejnych miesiącach w Jeziorach w latach 2002–2015
 Fig. 3. Thermal stratification of soil in consecutive months in Jeziora in the years 2002–2015



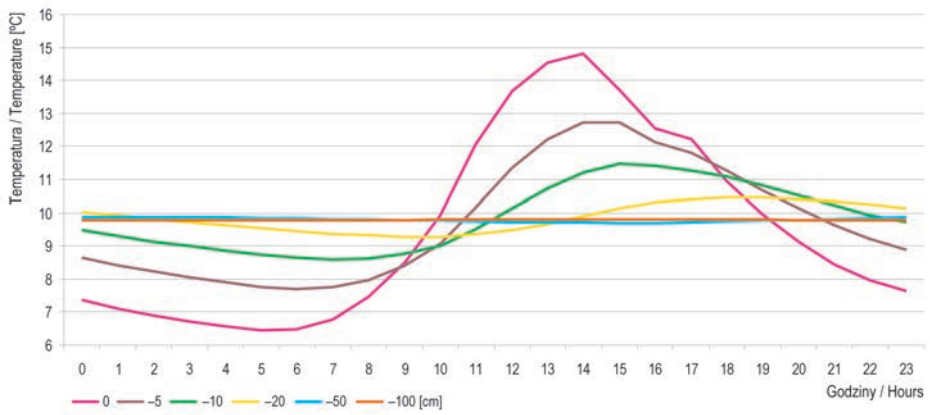
Ryc. 4. Przebieg roczny temperatury gruntu na różnych głębokościach w Jeziorach w latach 2002–2015

Fig. 4. Annual course of soil temperature at various depths in Jezioro in the years 2002–2015



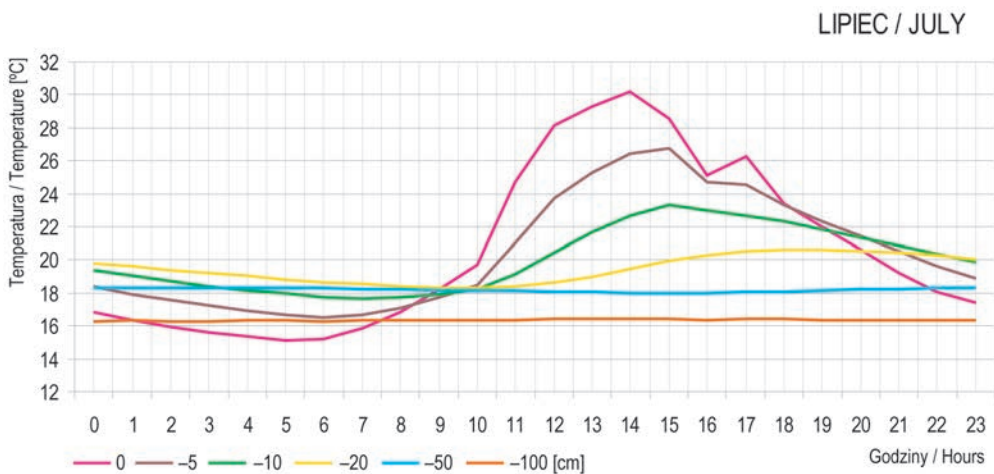
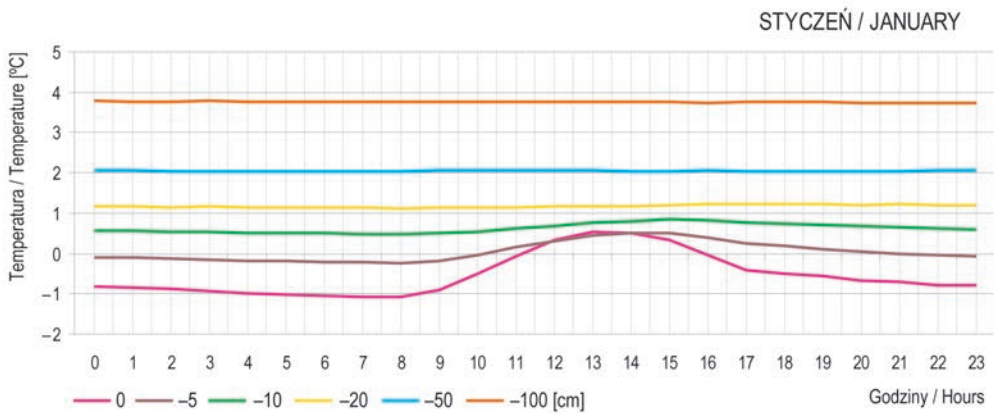
Ryc. 5. Zmienność różnicy temperatury gruntu pomiędzy poziomami na głębokościach: 0, 5, 10, 20, 50 i 100 cm w Jeziorach w latach 2002–2015

Fig. 5. Variability of the difference between mean soil temperatures at a depth of: 0, 5, 10, 20, 50 i 100 cm in Jezioro in the years 2002–2015



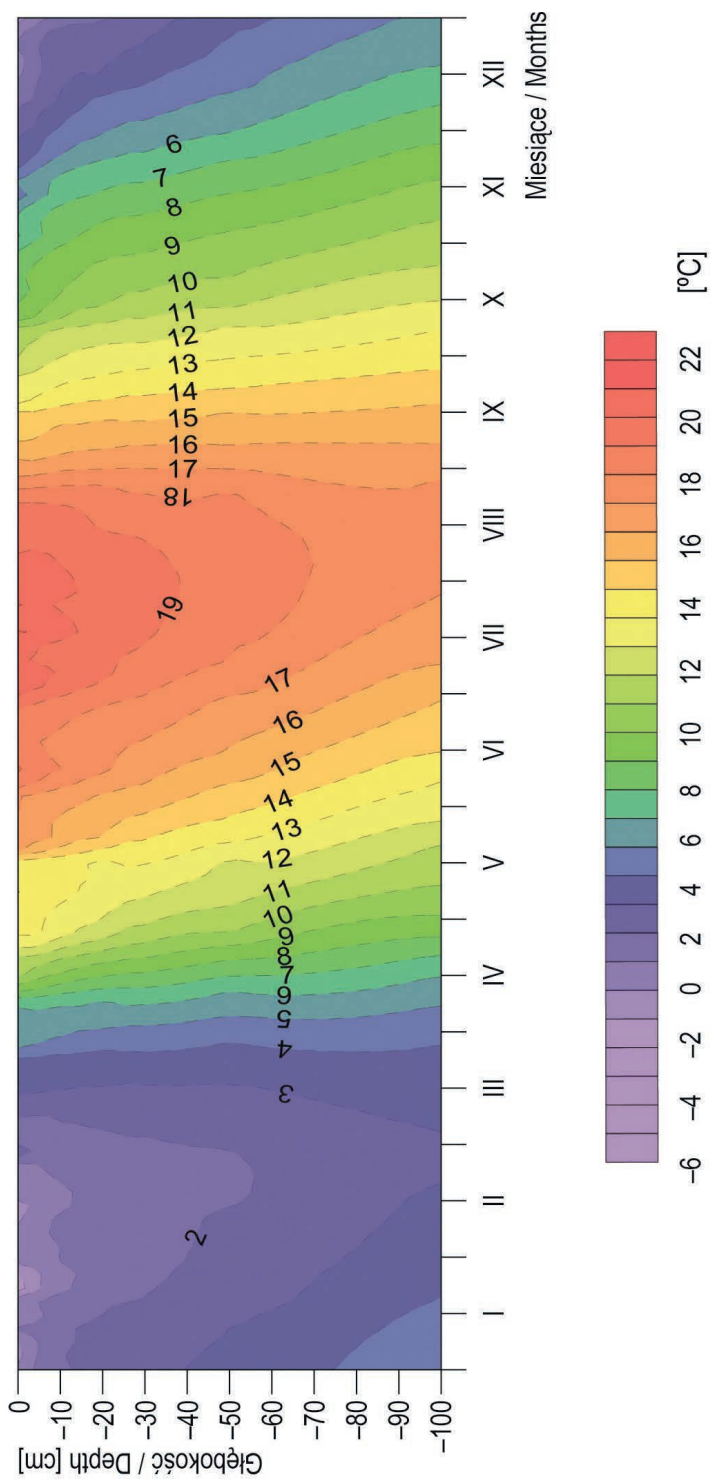
Ryc. 6. Przebieg dobowy średniej temperatury gruntu na różnych głębokościach w Jeziorach w latach 2002–2015

Fig. 6. Diurnal course of the mean soil temperature at various depths in Jeziora in the years 2002–2015



Ryc. 7. Przebieg dobowy średniej temperatury gruntu na różnych głębokościach w najchłodniejszym i najcieplejszym miesiącu roku w Jeziorach w latach 2002–2015

Fig. 7. Diurnal course of the mean soil temperature at various depths in the coldest and the warmest months in Jeziora in the years 2002–2015



Ryc. 9. Roczny rozkład temperatury gruntu na różnych głębokościach w Jeziorach w latach 2002–2015
 Fig. 9. Annual distribution of soil temperature at various depths in Jeziora in the years 2002–2015



Ryc. 2. Przebieg średniej rocznej (A) i sezonowej (B) temperatury powietrza w Jeziorach w kolejnych latach 2002–2015

Fig. 2. Multiannual course of the mean annual (A) and seasonal (B) air temperature in Jeziora in the years 2002–2015

Przebieg roczny temperatury gruntu w Jeziorach

Średnia roczna temperatura gruntu zmieniała się nieznacznie w ciągu roku – najniższa była na powierzchni 9,5°C, na głębokości 5 cm wynosiła 9,7°C, a od 10 cm w głąb gruntu równa była 9,8°C. Zmiana temperatury wraz z głębokością była zróżnicowana w ciągu roku (ryc. 3). W okresie od kwietnia do sierpnia następował spadek, a w okresie od października do lutego wzrost temperatury wraz z głębokością. W marcu i we wrześniu zachodziło odwrócenie profilu termicznego w gruncie (ryc. 3, 4). Największa różnica temperatury między powierzchnią gruntu a głębokością 100 cm występowała w grudniu i wynosiła 5,2°C. Dużą różnicą charakteryzował się również czerwiec, tj. 4,8°C. W płytszych warstwach gruntu, tj. do 20 cm, następowały większe zmiany temperatury, a wraz z głębokością tempo zmian było mniejsze. Temperatura w gruncie w Jeziorach, podobnie jak w Krakowie (Ciaranek 2013) i Puławach (Nieróbca 2005), zmieniała się najdynamiczniej w warstwie do 20 cm.

W przebiegu rocznym średnio w badanym okresie grunt do głębokości 20 cm najcieplejszy był w lipcu (ryc. 4). W głębszych warstwach najwyższa średnia miesięczna temperatura gleby przypadała na sierpień. Minimalna temperatura natomiast w całym przekroju pionowym gruntu przyjmowała najniższe wartości w lutym. Tylko warstwa przypowierzchniowa wyziębia się najmocniej w styczniu lub w lutym, co jest związane ściśle z przebiegiem temperatury powietrza. Powierzchnia gruntu charakteryzowała się największą amplitudą roczną temperatury równą 20,4°C. Im głębiej, tym amplituda roczna była coraz mniejsza: na 5 cm – 19,5°C, na 10 cm – 18,5°C, na 20 cm – 17,5°C, na 50 cm – 15,5°C. Najniższa była na głębokości 100 cm, gdzie wynosiła 13,0°C.

Przebieg różnicy temperatury między poszczególnymi poziomami gruntu pozwala na identyfikację warstw magazynujących ciepło podczas kolejnych sezonów termicznych (ryc. 5). O dużej aktywności termicznej gruntu w warstwach najpłytszych do 20 cm świadczą najmniejsze różnice temperatury między warstwami przy powierzchni ziemi. Zachodzi w nich największa wymiana ciepła z otoczeniem. Warstwy te reagują szybko na zmiany warunków termicznych otoczenia. Najwięcej ciepła magazynują warstwy najgłębsze. Największe różnice temperatury występowały między poziomami 50 i 100 cm w ciągu całego roku. Zmieniał się jedynie kierunek przepływu ciepła w porach przejściowych (latem – 2,2°C, zimą – -1,9°C). Profil izotermiczny zaznaczał się wyraźnie w marcu oraz we wrześniu. Warstwa nadległa charakteryzowała się natomiast dużą akumulacją ciepła w ciepłej połowie roku – występowały wtedy największe różnice między poziomami 20 i 50 cm (1,8°C).

Największa zmiana temperatury wraz z głębokością charakteryzowała najchłodniejszą i najcieplejszą porę roku (tab. 1). W zimie temperatura wzrastała o 4°C, a w lecie spadała o 3,5°C. Najmniejsza zmiana temperatury wraz z głębokością występowała wiosną, kiedy następował jej spadek o 2,4°C. Jesienią następował wzrost temperatury o 3,1°C.

Średnia roczna wartość gradientu temperatury gruntu wraz z głębokością malała (tab. 2). Największe zmiany temperatury zachodziły na głębokości do 5 cm (0,04°C na 1 cm), a następnie w warstwie 5–10 cm (0,03°C na 1 cm), co potwierdza wcześniej publikowane wyniki (Nieróbca 2005). Gradient temperatury malał wraz z głębokością we wszystkich porach roku oprócz lata. W lecie największa zmiana temperatury na jednostkę następowała w warstwie 5–10 cm oraz 10–20 cm, a nie w warstwie do 5 cm, jak w pozostałych porach roku.

Tab. 1. Średnia sezonowa temperatura gruntu w Jeziorach latach 2002–2015

Table 1. Mean seasonal soil temperature in Jezioro in the years 2002–2015

głębokość [cm]	Wiosna III–V	Lato VI–VIII	Jesień IX–XI	Zima XII–II
0	9,1	19,3	9,0	0,5
-5	8,8	19,1	9,5	1,2
-10	8,6	18,9	10,0	1,8
-20	8,1	18,5	10,5	2,3
-50	7,4	17,4	11,2	3,1
-100	6,7	15,8	12,1	4,5

Tab. 2. Średnie wartości gradientów temperatury gruntu (°C/cm) na różnych głębokościach w Jeziorach (2002–2015)

Table 2. Average values of soil temperature gradients (°C / cm) at different depths in Jezioro (2002–2015)

Głębokość [cm]	Średnia	Wiosna	Lato	Jesień	Zima
0–5	-0,0412	0,0584	0,0344	-0,1067	-0,1527
5–10	-0,0283	0,0530	0,0471	-0,1036	-0,1115
10–20	-0,0018	0,0429	0,0448	-0,0486	-0,0474
20–50	0,0022	0,0247	0,0357	-0,0222	-0,0299
50–100	-0,0001	0,0141	0,0321	-0,0190	-0,0280

Przebieg dobowy temperatury gruntu w Jeziorach w latach 2002–2015

Średnia dobowa temperatura gruntu w Jeziorach w latach 2002–2015 wynosiła 9,8°C. Na powierzchni gruntu (0 cm) była najniższa – w badanym okresie równa 9,5°C. Do głębokości 20 cm wzrastała do 9,9°C, a od głębokości 50 cm wynosiła 9,8°C. Amplituda dobowy temperatury malała wraz z głębokością. Największa różnica temperatury charakteryzowała najpłytsze warstwy gruntu i wynosiła w ciągu doby średnio 8,4°C. Im głębiej tym wartości te malały do 0,0°C na głębokości 100 cm.

Wyraźnie widoczne jest przesunięcie terminu maksymalnej temperatury gruntu wraz z głębokością (ryc. 6). Przy powierzchni gruntu występowało ono o godzinie 14 i wynosiło średnio 14,8°C. Na głębokości 5 cm występowało o godzinie 14 i 15 (12,7°C), na 10 cm w gruncie o 15 (11,5°C). Dużo później temperatura osiągała najwyższe wartości w ciągu dnia na głębokości 20 cm – ok. godziny 18–19 (10,5°C). Na głębokości 50 cm wahania są niewielkie (0,2°C). Wzrost temperatury następował dopiero ok. godziny 23 i utrzymywał się do wczesnych godzin porannych. Termin wystąpienia minimalnej temperatury był również opóźniony wraz z głębokością.

Najniższa średnia dobowy temperatura przy gruncie wystąpiła o godzinie 5 – wynosiła w badanym wieloleciu 6,4°C. Najbliżej powierzchni (5 cm) temperatura obniżyła się do 7,7°C o godzinie 6. Głębiej (10 cm) najniższa temperatura przypadała w godzinach 6–8 i wynosiła średnio 8,6°C. Minimum dobowy temperatury na 20 cm w gruncie występowało w godzinach 7–9, równe 9,3°C. Temperatura na 50 cm osiągnęła najniższe wartości równe 9,7°C w godzinach od 12–18.

Od godziny 20 do 9 następował wzrost temperatury gruntu wraz z głębokością. W ciągu dnia profil termiczny był odwrotny – następował spadek temperatury w głębszych warstwach gruntu. Terminy zwrotu występują dwa razy w ciągu doby, tj. ok. godziny 10 i 19.

Najchłodniejszym miesiącem w latach 2002–2015 w Jeziorach był styczeń ze średnią temperaturą powietrza równą $-1,0^{\circ}\text{C}$, a najcieplejszym – lipiec ze średnią miesięczną $19,5^{\circ}\text{C}$. Średnia roczna amplituda temperatury powietrza wyniosła $20,5^{\circ}\text{C}$ w badanym okresie.

Wahania dobowy temperatury gruntu w najchłodniejszym miesiącu roku – styczniu zanikają na głębokości około 20 cm (ryc. 7). Wahania dobowy temperatury na 5 cm nie przekraczają $0,7^{\circ}\text{C}$. Na 10 cm amplituda temperatury wynosiła zaledwie $0,4^{\circ}\text{C}$, a na 5 cm – $0,1^{\circ}\text{C}$. Temperatura powierzchni gruntu zmieniała się od $0,5^{\circ}\text{C}$ o godzinie 13–14 do $-1,1^{\circ}\text{C}$ o godzinie 7. W najzimniejszym miesiącu nie zaznacza się odwrócenie profilu termicznego w gruncie. Temperatura spada wraz z głębokością w ciągu całej doby. Zmienia się tylko wartość amplitudy temperatury od 1,6 do 0°C . Temperatura spada poniżej zera tylko w warstwie gruntu do 5 cm, na co wpływa położenie stacji i pokrycie terenu roślinnością. Szata roślinna w lecie silnie

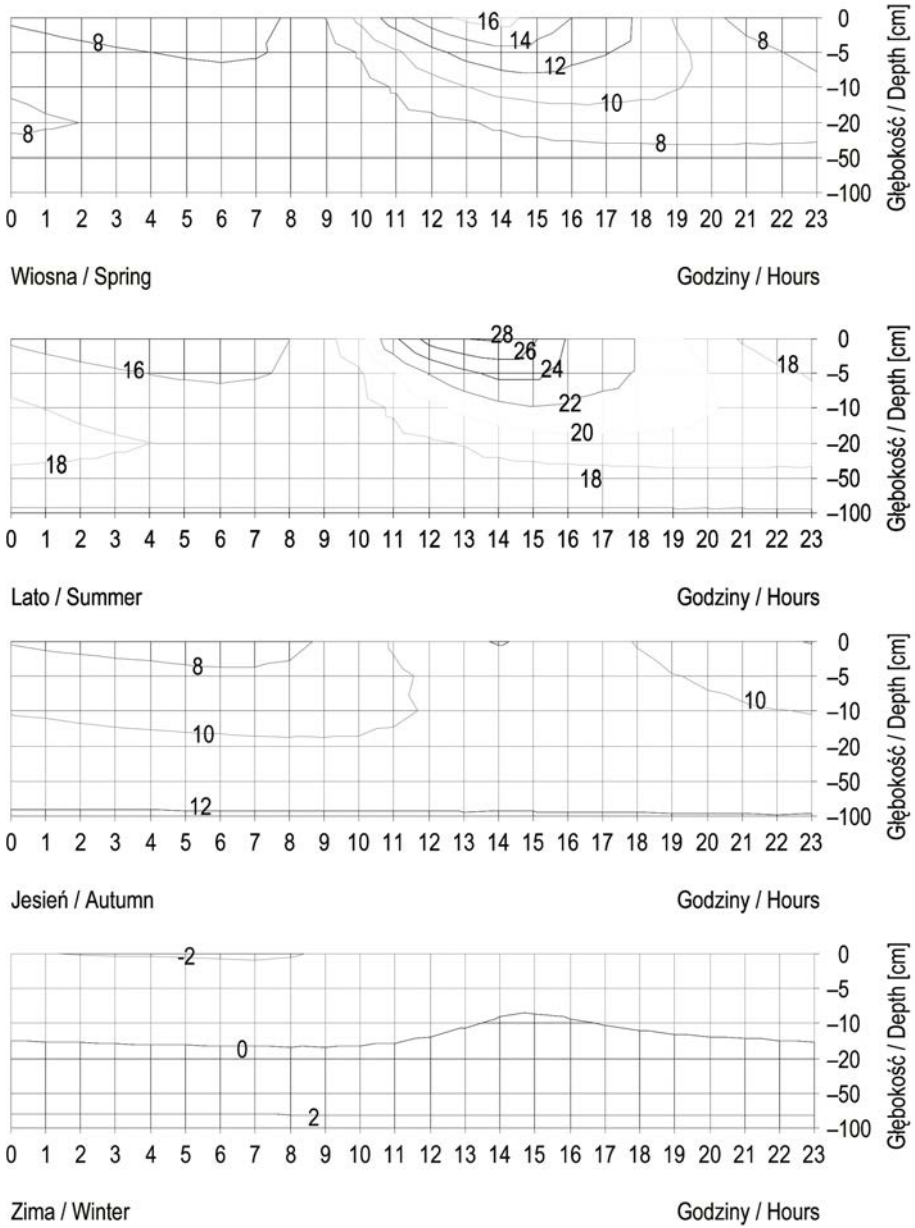
oddziałuje na rozkład temperatury gleby w całym jej profilu (Wojkowski, Skowera, 2017). Powoduje ona zmniejszenie amplitudy temperatury gleby oraz wartości ekstremalnych temperatury. Trawa zabezpiecza glebę przed szybkim oziębieniem w okresie jesienno-zimowym, dlatego temperatura gleby pod murawą jest wtedy wyższa (Nieróbca 2005). Rośliny znacząco wpływają na zróżnicowanie cieplnych właściwości gleby głównie w powierzchniowej warstwie poprzez zróżnicowanie zawartości wody w glebie (Usowicz, Marczewski 2005).

W najcieplejszym miesiącu w roku – lipcu – amplituda dobową temperatury wahała się od 15,1°C przy powierzchni ziemi do 0°C na 100 cm pod powierzchnią ziemi (ryc. 7). W profilu termicznym gruntu następuje zwrot dwukrotnie w ciągu doby – około godziny 8 i 19. W nocy temperatura wzrastała do głębokości 10–20 cm, a następnie spadała wraz z głębokością. W dzień następował spadek temperatury w całym profilu gruntu do 100 cm.

W przebiegu dobowym temperatury przy powierzchni gruntu oraz w płytszych warstwach gruntu do 10 cm w lipcu zaznacza się wyraźnie nagły wzrost po okresie obniżania się temperatury od wartości maksymalnej, a następnie ponowny spadek temperatury. Taki przebieg temperatury wynika ze zmiany dopływu promieniowania słonecznego do punktu pomiaru. Położenie ogródka meteorologicznego na polanie śródleśnej i osłonięcie miejsca pomiaru przez otaczające drzewa powoduje zatrzymanie dopływu promieniowania słonecznego przez pewien czas i ponowny nieograniczony jego dopływ w późniejszym terminie. Polanę otaczają głównie drzewa liściaste, toteż w styczniu ten przebieg nie jest w ten sposób zakłócony. Wynika to stąd, że gęstość strumienia ciepła na powierzchni gruntu w ciągu dnia znajduje się w ścisłym związku z przebiegiem natężenia całkowitego promieniowania słonecznego (Kossowski 2007).

Średnie wartości temperatury gruntu w Jeziorach charakteryzuje zróżnicowany rozkład dobowy w poszczególnych porach roku (ryc. 8). Największe zmiany termiki gruntu w cieplej połowie roku (marzec–sierpień) zachodziły w warstwie do 50 cm, a w chłodnej połowie roku do głębokości 20 cm. Wiosną w godzinach porannych zaznaczało się wyraźne obniżenie temperatury przy powierzchni. Również dobrze widoczne było największe nagrzanie powierzchni ziemi w czasie największego dopływu promieniowania słonecznego w ciągu doby. Latem to zróżnicowanie termiczne gruntu było podobne. Wyróżnia się najcieplejsza warstwa gruntu w ciągu doby do 5 cm. W chłodnej połowie roku (wrzesień–luty) zmiany temperatury oraz ich zasięg pionowy w gruncie były znacznie mniejsze. Jesienią wahania dobowe zaznaczały się do głębokości 20 cm. Zimą następowało wyraźne wychłodzenie powierzchni gruntu we wczesnych godzinach porannych.

Rozkład temperatury gruntu w Jeziorach w kolejnych dniach roku w badanym okresie przedstawia przekrój na rycinie 9. Można zauważyć, że zmiany dobowe temperatury dochodzą do ok. 50 cm. Na głębokości 100 cm zaznaczają się już tylko



Ryc. 8. Dobowy rozkład temperatury gruntu w poszczególnych porach roku w Jeziorach (2002–2015)

Fig. 8. Diurnal distribution of soil temperature in particular seasons in Jezioro (2002–2015)

wahania roczne. Największe wahania zachodzą w przypowierzchniowej warstwie do ok. 20 cm. Zaznacza się wyraźnie przesunięcie terminów maksymalnej i minimalnej temperatury gruntu w Jeziorach proporcjonalnie do głębokości zgodnie z trzecim prawem Fouriera. Opóźnienie to nastąpiło na głębokości 10 cm o 1–3 godzin, na 20 cm – o 2–5 godzin, a na głębokości 50 cm 7–13 godzin.

W przebiegu temperatury gruntu na różnych głębokościach istnieje wysoka, istotna statystycznie korelacja ($p > 0,001$) z przebiegiem temperatury powietrza (tab. 3). Nieco niższe wartości współczynnik korelacji przyjmuje zimą, szczególnie w głębszych warstwach gruntu (poniżej 20 cm). Potwierdzają to wcześniejsze wyniki uzyskane dla różnego rodzaju gleb w półroczu ciepłym (Konopko, Kasperska 2002). Zależność temperatury gruntu z temperaturą powietrza na 200 cm maleje wraz z głębokością. Współczynnik korelacji wahał się od 0,98 na głębokości 5 cm do 0,81 na głębokości 100 cm (tab. 3). Podobne wyniki uzyskała Ciaranek (2013), stwierdzając ponadto zróżnicowanie korelacji w ciągu doby. Bryś (2004) i Kossowski (2005) podają, że związek amplitud dobowych temperatury gleby z amplitudami dobowymi temperatury powietrza okazuje się silniejszy niż z jakimkolwiek (rozpatrywanym pojedynczo) elementem meteorologicznym, a na wielkość amplitud dobowych temperatury gleby najbardziej wpływają zmiany dopływu promieniowania słonecznego. Wojkowski i Skowera (2017) stwierdzili, że najsilniejsze związki temperatury powietrza z temperaturą gleby występują wiosną i jesienią, słabsze są latem i głównie do głębokości 20 cm, a zimą w osłabieniu tego związku dużą rolę odgrywa pokrywa śnieżna.

Tab. 3. Korelacja temperatury powietrza z temperaturą gruntu w Jeziorach (2002–2015)

Table 3. Correlation of air and soil temperatures in Jeziora (2002–2015)

Wysokość/głębokość [cm]	rok	wiosna	lato	jesień	zima
200/0	0,995289	0,995239	0,892973	0,998449	0,922171
200/–5	0,993026	0,991968	0,935949	0,997196	0,775758
200/–10	0,989798	0,988534	0,960104	0,99564	0,650615
200/–20	0,983362	0,983006	0,961041	0,99368	0,551815
200/–50	0,962601	0,973704	0,903881	0,990353	0,444185
200/–100	0,904102	0,955772	0,799812	0,987168	0,399124

Dyskusja

Największe różnice wartości temperatury na różnych głębokościach występują w Jeziorach od maja do sierpnia oraz w okresie zimowym, co jest zgodne z wcześniejszymi badaniami Koźmińskiego i Michalskiej (2000). Badania Jakusik i Owczarek (2008) dla stacji na wybrzeżu wykazują, że okres ten trwał na tym obszarze od kwietnia do sierpnia. Występuje wtedy zgodność przepływu ciepła w całym profilu gruntu, co potwierdzają badania Nieróbcy (2005) i Ciaranek (2013).

Największą zmiennością dobową wyróżnia się temperatura gruntu w Jeziorach wiosną i latem. Przyczyną tego są zmiany dopływu promieniowania słonecznego do stanowiska pomiarowego, wynikające z jego osłonięcia wysokopiennym lasem. Natomiast jesienią i zimą zmiany te są znacznie mniejsze. Badania Jakusik i Owczarek (2008) wskazują na największe dobowe zróżnicowanie termiki gruntu na polskim wybrzeżu wiosną i jesienią.

W związku z przenikaniem ciepła na drodze przewodnictwa cieplnego i zgodnie z drugim prawem Fouriera wraz z głębokością amplituda temperatury gleby w Jeziorach w badanym okresie zmniejszała się. Średnia roczna temperatura gruntu zmieniała się nieznacznie. Różnice w profilu glebowym 5–50 cm są znacznie niższe w Jeziorach (0,1°C) niż uzyskane przez Ciaranek (2013) w Krakowie (0,6°C), jak również Michalską i Nidzorską-Lencewicz (2010) w Ostoi (0,4°C) oraz Jakusik i Owczarek (2008) w Świnoujściu (0,3°C) i w Łebie (0,5°C). Wynika to z położenia punktu pomiarowego na polanie śródlądowej oraz pokrycia terenu roślinnością, co wpływa na złagodzenie wahań temperatury gruntu (Nieróbca 2005; Usowicz, Marczewski 2005; Bryś 2008; Wojkowski, Skowera 2017).

Terminy maksymalnej i minimalnej temperatury gruntu w Jeziorach wraz z głębokością występują coraz później, średnio o 2 (na 10 cm), 4 (na 20 cm) i 10 godzin (na 50 cm) w stosunku do poziomu 5 cm. Michalska i Nidzorska-Lencewicz (2010) stwierdzają, że w Ostoi w profilu gleby porośniętej na głębokości 10 cm opóźnienie wynosiło ok. 1 godziny, na 20 cm – ok. 3 godzin, a na 50 cm – ok. 7 godzin.

Wyrównana temperatura w całym profilu gruntu w Jeziorach występuje w marcu i wrześniu. W Lipkach k. Stargardu Szczecińskiego zmiana kierunku strumienia cieplnego z zimowego na letni zachodzi na przełomie drugiej i trzeciej dekady marca, zaś z letniego na zimowy później niż w Jeziorach, bo na przełomie drugiej i trzeciej dekady września (Koźmiński i Michalska 2000). Ciaranek (2013) stwierdziła, że w Ogrodzie Botanicznym w Krakowie zmiana kierunku strumienia ciepła w glebie najczęściej występuje w marcu (od powierzchni w głąb) oraz we wrześniu (od głębszych warstw ku powierzchni). Podobne wyniki uzyskała Nieróbca (2005) na podstawie pomiarów temperatury gruntu w Puławach. Natomiast późniejszy termin zmiany z profilu letniego na zimowy, bo w październiku, nastąpił w Ostoi k. Szczecina (Michalska, Nidzorska-Lencewicz 2010). Wcześniejsza zmiana profilu

z letniego na zimowy w Jeziorach jest spowodowana położeniem stacji na polanie śródleśnej otoczonej lasem wpływającym m.in. na ograniczenie dopływu promieniowania słonecznego.

Największą aktywnością termiczną charakteryzują się warstwy gruntu do 20 cm, o czym świadczą największe amplitudy temperatury, zarówno dobowe, jak i roczne oraz najmniejsze różnice w wartościach temperatury między kolejnymi poziomami w warstwie przypowierzchniowej. Największe zróżnicowanie występuje w tej warstwie w Jeziorach w okresie od maja do lipca oraz w grudniu. Według Koźmińskiego i Michalskiej (2000) największe różnice temperatury gleby pomiędzy głębokościami 5 i 50 cm występują w drugiej dekadzie maja. Intensywna wymiana ciepła w przypowierzchniowej warstwie w ciągu doby zachodzi wskutek wypromieniowania efektywnego, podczas gdy głębiej utrzymuje się wyższa temperatura (Olecki 1969). W ciągu dnia duża aktywność przypowierzchniowych warstw gruntu jest silnie uzależniona od natężenia promieniowania słonecznego (Kossowski 2007).

Podsumowanie

Położenie stacji w Jeziorach na polanie śródleśnej, otoczonej wysokopiennym lasem, modyfikującym dopływ promieniowania słonecznego ma istotny wpływ na rozkład temperatury w gruncie:

1. Największe różnice wartości temperatury na różnych głębokościach występują od maja do sierpnia oraz w okresie zimowym.
2. Największą zmiennością dobową wyróżnia się temperatura gruntu wiosną i latem.
3. Różnice temperatury w profilu glebowym 0–50 cm są znacznie niższe w Jeziorach niż wyniki we wcześniejszych publikacjach.
4. Wyrównana temperatura w całym profilu gruntu w Jeziorach występuje w marcu i wrześniu.
5. Zależność temperatury gruntu z temperaturą powietrza na 200 cm maleje wraz z głębokością. Najsilniejsze związki temperatury powietrza z temperaturą gleby występują wiosną i jesienią, słabsze są latem i głównie do głębokości 20 cm, a zimą są najslabsze.
6. Największą aktywnością termiczną charakteryzują się warstwy gruntu do 20 cm, o czym świadczą największe amplitudy temperatury zarówno dobowe, jak i roczne, oraz najmniejsze różnice w wartościach temperatury między kolejnymi poziomami w warstwie przypowierzchniowej.

W przebiegu dobowym i rocznym zauważyć można różnice w porównaniu z wynikami otrzymanymi wcześniej dla gleb na terenach otwartych. Uzyskane wyniki skłaniają do rozszerzenia badań i porównania warunków termicznych gruntu różnych obszarów w obrębie kompleksów leśnych.

Literatura

- Alexandersson H., *A homogeneity test applied to precipitation data*, Journal of Climatology, 6, 661–675.
- Bednorz E., Kolendowicz L., Szyga-Pluta K., 2003, *Topoclimatic and bioclimatic research in the Wielkopolski National Park* [w:] A.T. Miler (red.), *Kształtowanie i ochrona środowiska leśnego*, Wyd. Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu, 273–280.
- Bednorz E., Kolendowicz L., Szyga-Pluta K., 2004, *Badania topoklimatyczne i bioklimatyczne w Wielkopolskim Parku Narodowym*, Morena, Prace Wielkopolskiego Parku Narodowego, 11, 15–20.
- Bryś K., 2004, *Wieloletnia zmienność termiki gleby we Wrocławiu-Swojcu i jej radiacyjne i cyrkulacyjne uwarunkowania*, Acta Agrophysica, 3(2), 209–219.
- Bryś K., 2008, *Wieloletni wpływ pokrywy roślinnej na termikę gleby*, Acta Agrophysica, 12(1), 39–53.
- Ciaranek D., 2013, *Wpływ warunków pogodowych na przebieg temperatury gleby w Ogrodzie Botanicznym Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie*, Prace Geograficzne, IGiP UJ, 133, 77–99.
- Jakusik E., Owczarek M., 2008, *Zmienność temperatury gruntu na polskim wybrzeżu*, Acta Agrophysica, 12(2), 367–380.
- Kaczmarek L., Tamulewicz J., 2004, *Z badań nad pionowym rozkładem temperatury powietrza w rejonie Jeziora Góreckiego (Wielkopolski Park Narodowy)* [w:] A. Kostrzewski, L. Kaczmarek, B. Walna (red.), *Stan i przemiany środowiska przyrodniczego Wielkopolskiego Parku Narodowego*, Poznań–Jeziory, 51–53.
- Konopko S., Kasperska W., 2002, *Korelacja temperatury gleby z temperaturą powietrza w środowisku suchym (Bydgoszcz) i wilgotnym (Frydrychowo) w półroczu ciepłym (IV–IX) w okresie 1975–1985* [w:] G. Wójcik, K. Marciniak (red.), *Działalność profesora Władysława Górczyńskiego i jej kontynuacja*, Wyd. Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń, 397–407.
- Kossowski J., 2005, *Związek amplitud dobowych temperatury gleby w warstwie przy powierzchniowej z amplitudami temperatury powietrza i innymi elementami meteorologicznymi*, Acta Agrophysica, 5(3), 657–667.
- Kossowski J., 2007, *O relacji między strumieniem ciepła w glebie a promieniowaniem słonecznym*, Acta Agrophysica, 10(1), 121–135.
- Kożuchowski K.M., 2014, *Meteorologia i klimatologia dla studentów leśnictwa*, Wyd. Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.
- Koźmiński Cz., Michalska B., 2000, *Klimatyczna charakterystyka rejonu stacji agrometeorologicznej w Lipkach k. Stargardu Szczecińskiego*, Wyd. Akademii Rolniczej w Szczecinie.
- Michalska B., Nidzgorska-Lencewicz J., 2005, *Elementy meteorologiczne kształtujące temperaturę gleby nieporośniętej i pod żytem na stacji agrometeorologicznej w Lipkach*, Acta Agrophysica, 6(2), 425–441.
- Michalska B., Nidzgorska-Lencewicz J., 2010, *Dobowa zmienność temperatury w profilu gleby porośniętej w stacji meteorologicznej w Ostoi*, Folia Pomeranae Universitatis Technologiae Stetinensis, 279 (15), 63–72.

- Miętus M., Filipiak J., 2001, *Temperatura gruntu w rejonie stacji polarnej w Hornsundzie*, Problemy Klimatologii Polarnej, 11, 67–80.
- Molga M., 1986, *Meteorologia rolnicza*, Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa.
- Nieróbca A., 2005, *Porównanie temperatury gleby na ugorze i pod murawą*, Acta Agrophysica, 6(2), 443–453.
- Olecki Z., 1969, *Wpływ zachmurzenia na przebieg dobowy temperatury gleby w okresie letnim w piętrze pogórskim Karpat*, Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne, 25, 99–116.
- Usołowicz B., Marczewski W., 2005, *Rozkład właściwości cieplnych w gruncie na czarnym ugorze i pod murawą*, Acta Agrophysica, 5(3), 745–757.
- Wojkowski J., Skowera B., 2017, *Związek temperatury gleby z temperaturą powietrza w warunkach jurajskiej doliny rzecznej*, Inżynieria Ekologiczna 18, 1, 18–26.

Katarzyna Szyga-Pluta
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu
Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych
Instytut Geografii Fizycznej i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego
ul. B. Krygowskiego 10, 61-680 Poznań
pluta@amu.edu.pl

