

ZWIĄZEK TEMPERATURY GLEBY Z TEMPERATURĄ POWIETRZA W WARUNKACH JURAJSKIEJ DOLINY RZECZNEJ

Jakub Wojtkowski¹, Barbara Skowera¹

¹ Katedra Ekologii Klimatologii i Ochrony Powietrza, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków, e-mail: rmwojkow@cyf-kr.edu.pl

STRESZCZENIE

Celem niniejszej pracy było zbadanie związku pomiędzy temperaturą powierzchni czynnej i gleby a temperaturą powietrza w warunkach jurajskiej doliny rzecznej. W badaniach wykorzystano materiał obserwacyjny z lat 1991–2006 pochodzący ze stacji meteorologicznej w Ojcowie. Stacja ta położona jest w południowej części Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej na dnie jurajskiej doliny. Obliczono średnie dobowe, miesięczne i roczne temperatury gleby oraz jej miesięczne i roczne amplitudy. Do oceny związku pomiędzy temperaturą gleby na różnych głębokościach, a temperaturą powietrza, opadami atmosferycznymi oraz pokrywą śnieżną posłużono się współczynnikiem korelacji rang Spearmana. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że najsilniejsze związki temperatury powietrza z temperaturą gleby występowały w okresie wiosny i jesieni. Wzrost opadów atmosferycznych wiosną i jesienią powodował osłabienie związku temperatury powietrza z temperaturą gleby. W okresie lata związki temperatury powietrza z temperaturą gleby były słabsze i statystycznie istotne tylko do głębokości 20 cm. Wykazano ponadto, że opady atmosferyczne w lecie mogą powodować wzrost temperatury gleby. Zimą, ze względu na pokrywę śnieżną, związki temperatury powietrza z temperaturą gleby były najsłabsze i w większości przypadków statystycznie nieistotne. Stwierdzono również, że różnica temperatury powierzchniowej warstwy gleby pokrytej śniegiem i gleby bez pokrywy śnieżnej zależy przede wszystkim od grubości zalegającego śniegu.

Słowa kluczowe: warunki termiczne, temperatura gleby, temperatura powierzchni czynnej, Wyżyna Krakowsko-Częstochowska

RELATION OF SOIL TEMPERATURE WITH AIR TEMPERATURE AT THE JURASSIC RIVER VALLEY

ABSTRACT

The paper presents the results of research on thermal conditions of the soil and active surface. The main aim of the research was to evaluate the relation of active surface and soil temperature with air temperature. In this evaluation, data from the period 1991–2006 from meteorological stations in Ojców were used. The meteorological station is situated in the southern part of the Kraków-Częstochowa Upland in the bottom of the Jurassic valley. For all the depths, daily, monthly and annual soil temperature was calculated. To evaluate the relation between soil temperature and air temperature, precipitation and snow cover the Spearman correlation coefficients were used. The strongest relation between the air temperature and soil temperature was observed in spring and autumn. The rise in the precipitation in spring and autumn made the relation of air temperature and soil temperature weaker and in summer the relation between the air temperature and soil temperature and statistically significant only to 20 cm deep. It was also proved that the precipitation in summer may lead to higher soil temperature. In winter, because of the snow, the relation between air temperature and soil temperature was the weakest and in most cases statistically not significant. It was also found that the differences in the temperature of the surface covered with snow and the soil without any snow cover depends primarily on the snow cover thickness.

Keywords: thermal conditions, soil temperature, active surface temperature, the Kraków-Częstochowa Upland

WPROWADZENIE

Znajomość warunków termicznych powierzchni czynnej oraz gleby jest bardzo istotna nie tylko z punktu widzenia rolnictwa ale również innych dziedzin życia i gospodarki. Temperatura gleby ma bardzo duży wpływ na terminy rozpoczęcia i zakończenia procesów biologicznych w środowisku. Decyduje ona o natężeniu procesów oddychania i przemian biochemicznych, szczególnie istotnych w okresie wegetacji. Od temperatury gleby zależy współczynnik lepkości wody w glebie, który decyduje między innymi o sprawności działania systemów odwadniających. Znajomość rozkładu temperatury w profilu glebowym pozwala wyznaczyć głębokość przemarzania gruntu, wielkość bardzo często wykorzystywaną w projektowaniu budowlanym. Ponadto dane o temperaturze gleby są niezbędne podczas prognozowania możliwości pojawienia się roztopów oraz zimowych powodzi.

Dotychczasowe badania wykazały, że główną rolę w kształtowaniu się warunków termicznych gleby ma bilans promieniowania. Temperatura gleby, zwłaszcza jej przypowierzchniowa warstwa, charakteryzuje się w przebiegu dobowym stosunkowo dużymi zmianami. Zmiany te najczęściej są zbieżne ze zmianami temperatury powietrza i bilansem promieniowania, a różnice między amplitudami temperatur gleby są tym większe im bliżej powierzchni czynnej (Angiel, Cisowska 1995; Kossowski 2007; Bednorz, Kolendowicz 2010). Na przebieg dobowy temperatury gleby może również wpłynąć nagle zmiana warunków pogodowych spowodowana wystąpieniem opadu, zachmurzeniem czy adwekcją mas powietrza (Karpińska 1985).

Jednym z ważniejszych czynników od których zależy temperatura gleby jest woda pochodząca z opadów atmosferycznych i roztopów. W przypadku gleb suchych woda powoduje wzrost wilgotności, przez co ułatwia przemieszczanie się strumienia ciepłego. Gleby suche, na skutek słabego przewodnictwa ciepła i dużo mniejszej pojemności cieplnej, ulegają silnemu nagrzaniu przez co posiadają dużo wyższe temperatury w porównaniu z glebami wilgotnymi. Wysoka temperatura występuje jednak tylko w powierzchniowej warstwie, a słabe przewodnictwo cieplne tych gruntów uniemożliwia przepływ ciepła do ich głębszych warstw. Gleby wilgotne posiadają dużą pojemność cieplną, dzięki czemu akumulują większe ilości ciepła. Zostaje

ono rozprowadzane do warstw leżących głębiej dzięki zawartości wody. Powoduje to w zimie ocieplenie, a w lecie ochłodzenie najgłębszych warstw profilu glebowego. W przypadku otrzymania takiej samej ilości ciepła, temperatura wilgotnej powierzchni czynnej będzie niższa niż powierzchni suchej. Niższe temperatury takiej powierzchni wynikają również ze strat ciepła, które zużywane jest na parowanie wody.

Równie ważnymi czynnikami wpływającymi na temperaturę gleby są pokrywa śnieżna i szata roślinna. Roślinność zatrzymuje w ciągu dnia znaczną część lub nawet całość promieniowania słonecznego nie dopuszczając przez to do silnego nagrzania się powierzchni czynnej. Z kolei w nocy pochłania część energii, która przemieszcza się z dolnych warstw gleby do jej powierzchni i chroni glebę przed nadmiernym wypromieniowaniem ciepła. Śnieg dzięki dużej porowatości jest słabym przewodnikiem ciepła. Pokrywa śnieżna posiadając silne właściwości izolacyjne chroni glebę przed nadmiernym wychłodzeniem i sprawia, że gleba płycej zamarza.

Związki temperatury gleby z różnymi elementami meteorologicznymi były przedmiotem wielu badań. Znajomość tych związków jest ważna i szczególnie przydatna w przypadkach kiedy potrzebujemy informacji na temat warunków termicznych gleby lecz nie dysponujemy bezpośrednimi pomiarami (Panecka 1970). W badaniach szczególną uwagę zwraca się na związek temperatury gleby z temperaturą powietrza (Geiger 1942, Bednarek 1966, Ciaranek 2013, Kapuściński 1991, Kossowski 2002; Kołodziej i in. 1991; Kołodziej, Kossowski 2003, Kossowski 2005) oraz składnikami bilansu promieniowania (Bednorz, Kolendowicz 2010; Bryś 2004, Karpińska 1976, 1985, Kossowski 2001, 2005, 2007).

Celem niniejszej pracy było zbadanie związku pomiędzy temperaturą powierzchni czynnej i gleby a temperaturą powietrza w warunkach jurajskiej doliny rzecznej.

MATERIAŁ I METODY

W badaniach wykorzystano materiał obserwacyjny z lat 1991–2006 pochodzący ze stacji meteorologicznej w Ojcowie należącej do Ojcowskiego Parku Narodowego. Stacja ta położona jest w południowej części Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej na dnie jurajskiej Doliny Prądnika na wysokości 320 m n.p.m (19°49'44"E,

50°12'35"N). Według regionalizacji klimatycznej Romera (1949) obszar ten należy do regionu Wyżyn Środkowych, Krainy Śląsko-Krakowskiej. Kraina ta, w stosunku do terenów sąsiednich, odznacza się skróceniem pośrednich pór roku – szarugi jesiennej i przedwiośnia. Według podziału na dzielnice rolniczo-klimatyczne Gumińskiego (1948) miejsce badań znajduje się w dzielnicy częstochowsko-kieleckiej, która wyróżnia się w stosunku do terenów sąsiednich wyższymi opadami (550–800 mm rocznie). Hess (1969) obszar ten zaklasyfikował do regionu umiarkowanie ciepłego. Z kolei Klein (1974) Dolinę Prądnika zaliczył do zimnego regionu mezoklimatycznego den dolinnych ze średnią roczną temperaturą powietrza 6,2°C, co przy dużych amplitudach temperatury powietrza, dużej wilgotności względnej oraz długim okresie utrzymywania się pokrywy śnieżnej, upodabnia mezoklimat jurajskich dolin do surowego klimatu górskiego.

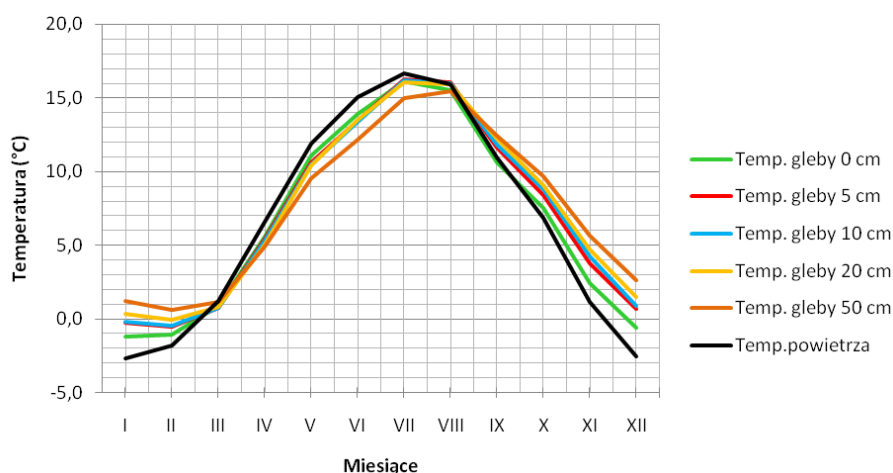
Ogródek meteorologiczny w Ojcowie położony jest na glebach aluwialnych – madach pyłowych średnich. Gleby te pokrywają dna większości okolicznych jurajskich dolin rzecznych i charakteryzują się stosunkowo dużą wilgotnością. Pomiaru temperatury gleby wykonywane były przy użyciu kolankowych termometrów glebowych na czterech standardowych głębokościach: 5, 10, 20 i 50 cm oraz dodatkowo na powierzchni czynnej (0 cm). Codzienne pomiary i obserwacje meteorologiczne wykonywane były w trzech standardowych dla stacji klimatologicznych terminach – o godzinie 6.00, 12.00 i 18.00 czasu uniwersalnego UTC (tj. 7.00, 13.00

i 19.00 czasu zimowego oraz 8.00, 14.00 i 20.00 czasu letniego).

Posługując się standardowymi metodami statystycznymi obliczono wartości średnie dobowe, a następnie średnie miesięczne i roczne temperatury gleby oraz miesięczne i roczne amplitudy temperatur gleby na wszystkich głębokościach. Do oceny związku pomiędzy temperaturą gleby na różnych głębokościach, a temperaturą powietrza, opadami atmosferycznymi oraz pokrywą śnieżną posłużono się współczynnikiem korelacji rang Spearmana.

WYNIKI

Roczny przebieg temperatury gleby w Ojcowie wykazuje stosunkowo dużą zbieżność z przebiegiem temperatury powietrza (rys. 1). W chłodnej połowie roku, od października do marca, obserwowany był wzrost temperatury gleby wraz z głębokością. W miesiącach zimowych najwyższa temperatura gleby występowała na głębokości 50 cm. Średnia miesięczna temperatura dla zimy na tej głębokości wynosiła 1,5°C i była wyższa o 3,8°C od temperatury powietrza. Najniższą temperaturą charakteryzowała się wtedy powierzchnia czynna (–1,0°C) oraz warstwa gleby na głębokości 5 cm (0,0°C). W okresie letnim sytuacja była odwrotna – najwyższe temperatury występowały na głębokości 5 cm i obniżały się one stopniowo wraz z głębokością. Związane to było z najintensywniejszym w tym okresie dopływem promieniowania słonecznego do powierzchni czynnej (Caputa, Wojkowski 2013, 2015). Wraz ze wzrostem głębokości wielkość przenika-



Rys. 1. Roczny przebieg średniej miesięcznej temperatury powietrza i gleby w Ojcowie (1991–2006)
Fig. 1. Annual course of mean monthly active surface, soil and air temperature in Ojców (1991–2006)

jącego strumienia ciepła malała co objawiało się spadkiem temperatury gleby. Najwyższe wartości w ciągu roku temperatury osiągały w lipcu na głębokości 5 cm i wynosiły średnio 16,3°C. Temperatura gleby na głębokości 50 cm była w tym czasie niższa o 1,3°C.

Wraz ze wzrostem głębokości zmniejszały się również wartości amplitud temperatury gleby. Średnia roczna amplituda temperatury gleby dla powierzchni czynnej wynosiła 18,5°C, a na głębokości 50 cm była już niższa o 3,6°C. Podobne spostrzeżenia przedstawili w swoich pracach Bakowski (1977) i Bryś (2008). W badanym wieloleciu 1991–2006 średnie roczne temperatury, zarówno powietrza jak i gleby różniły się w małym zakresie wartości. Średnia roczna temperatura powierzchni czynnej była wyższa od średniej rocznej temperatury powietrza (6,6°C) tylko

o 0,1°C. Na głębokości 5 cm różnica ta wzrastała do 0,6°C, a na głębokości 50 cm wynosiła 0,9°C. Obserwowane w Ojcowie różnice temperatur są wyraźnie mniejsze od wartości podawanych przez innych autorów i wynikają najprawdopodobniej z silnego uwilgotnienia gleby pokrywającej dno jurajskiej Doliny Prądnika.

W celu określenia wpływu warunków meteorologicznych w Ojcowie na związek pomiędzy temperaturą powietrza, a temperaturą gleby wydzielono w badanym wieloleciu 1991–2006 pory roku ciepłe, dla których średnie miesięczne temperatury były najwyższe i pory roku chłodne, dla których średnie miesięczne temperatury były najniższe (tab. 1). Podobnie na podstawie opadów atmosferycznych, wyznaczono w analizowanym okresie pory roku najbardziej suche, dla których sumy opadów miesięcznych były najniższe i pory roku deszczowe, dla których sumy opadów miesięcznych były najwyższe (tab. 1). Dla tak wyznaczonych pór roku przeanalizowano związki temperatury powietrza z temperaturą gleby na różnych głębokościach.

Jak wynika z przeprowadzonych obliczeń, wiosną zauważyć można bardzo silny związek temperatury powietrza z temperaturą gleby (tab. 2). Najsilniejszy związek zaobserwowano dla temperatury powietrza i powierzchni czynnej (rys. 2). Wszystkie współczynniki korelacji na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ były w tym okresie statystycznie istotne. Najwyższe wartości współczynników korelacji osiągały dla przypowierzchniowej warstwy gleby i stopniowo zmniejszały się wraz z głębokością. Stwierdzono ponadto, że związki temperatury powietrza z temperaturą gleby są silniejsze w przypadku ciepłej wiosny.

Tabela 1. Najcieplejsze i najchłodniejsze oraz najbardziej suche i deszczowe pory roku w Ojcowie (1991–2006)

Table 1. The warmest, coldest, driest and the wettest periods of the year in Ojcow (1991–2006)

Ciepłe i chłodne pory roku		Suche i deszczowe pory roku	
Zima ciepła	1997/1998	Zima sucha	1996/1997
Zima chłodna	1995/1996	Zima deszczowa	2003/2004
Wiosna ciepła	2002	Wiosna sucha	2002
Wiosna chłodna	1996	Wiosna deszczowa	1994
Lato ciepłe	1992	Lato suche	1992
Lato chłodne	1993	Lato deszczowe	2001
Jesień ciepła	2000	Jesień sucha	2005
Jesień chłodna	1993	Jesień deszczowa	1998

Tabela 2. Współczynniki korelacji dla związku średniej dobowej temperatury powietrza z średnią dobową temperaturą gleby w ciepłych i chłodnych porach roku

Table 2. The correlation coefficients for relations between daily air temperature and daily soil temperature during warm and cold periods of the year

Pora roku	Głębokość pomiaru temperatury gleby				
	0 cm	5 cm	10 cm	20 cm	50 cm
Wiosna ciepła (2002 rok)	0,9731	0,9386	0,9365	0,9138	0,8573
Wiosna chłodna (1996 rok)	0,9757	0,9077	0,8831	0,8520	0,8282
Lato ciepłe (1992 rok)	0,8343	0,8000	0,7570	0,6565	0,5187
Lato chłodne (1993 rok)	0,9296	0,8995	0,8742	0,7104	0,3682
Jesień ciepła (2000 rok)	0,9295	0,8556	0,8160	0,8179	0,7517
Jesień chłodna (1993 rok)	0,9823	0,9813	0,9560	0,9413	0,9000
Zima ciepła (1997/98 rok)	0,8723	0,4086	0,3347	0,2000	0,0447
Zima chłodna (1995/96 rok)	0,9402	0,6885	0,5639	0,3847	0,2214

*Wartości oznaczone kursywą są nieistotne statystycznie

Na przebiegach temperatur przedstawionych na rycinie 2 zauważyć można znacznie mniejsze zmiany temperatury gleby w stosunku do zmian temperatury powietrza i powierzchni czynnej. W przypadku chłodnej wiosny w miesiącu marcu, zmianom temperatury powietrza praktycznie nie towarzyszyły żadne zmiany temperatury gleby na głębokości 50 cm. Dopiero od kwietnia, po zaniku pokrywy śnieżnej, obserwuje się wzrost temperatury gleby na tej głębokości.

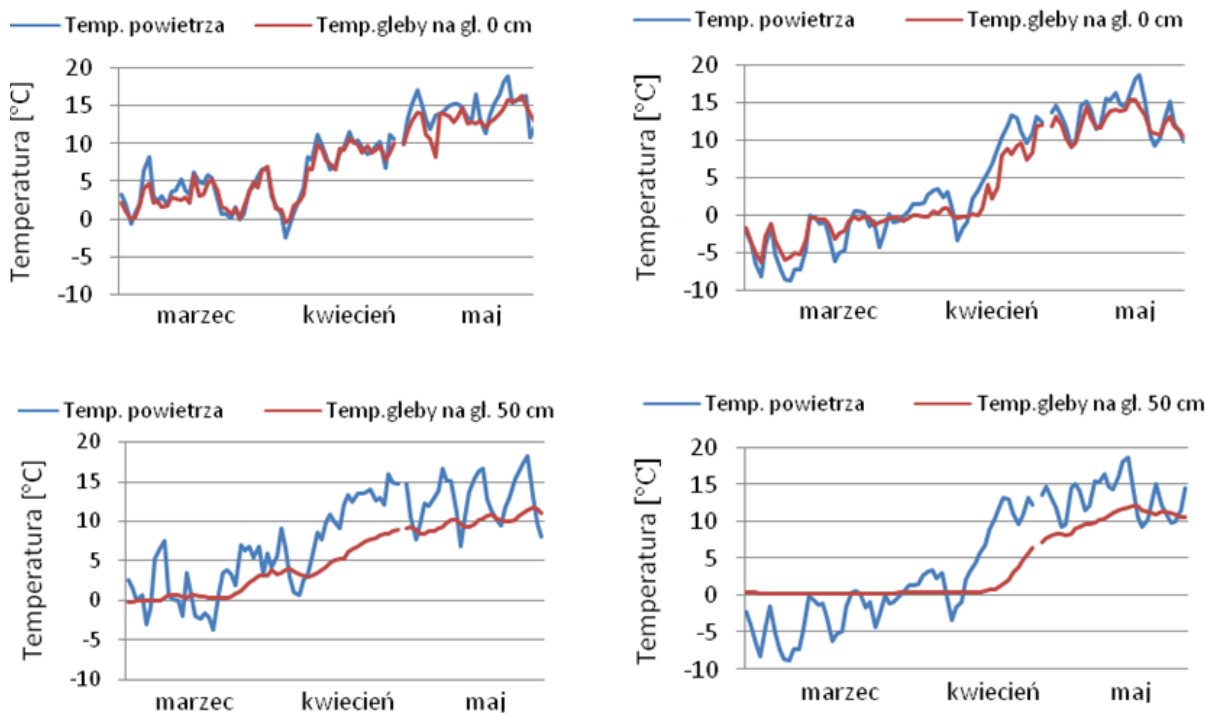
W okresie lata związki temperatury powietrza z temperaturą gleby były nieco słabsze niż w okresie wiosennym (tab. 2). Jedynie na głębokości 20 i 50 cm związki te były statystycznie nieistotne. W tej porze roku współczynniki korelacji w przypadku chłodnego lata osiągały wyższe wartości niż dla ciepłego, a więc odwrotnie niż to miało miejsce wiosną.

Na przebiegach temperatur przedstawionych na rysunku 3 można zauważyć, że zmiany temperatury gleby i powierzchni czynnej są większe w przypadku chłodnego lata. Niższe wartości współczynnika korelacji w porównaniu do okresu wiosny można tłumaczyć wegetacją i pojawieniem się szaty roślinnej. Jak już wspomniano wcześniej, roślinność pełni rolę termoizolatora, który ogranicza dopływ energii do powierzchni gleby oraz chroni ją przed szybkim wychłodze-

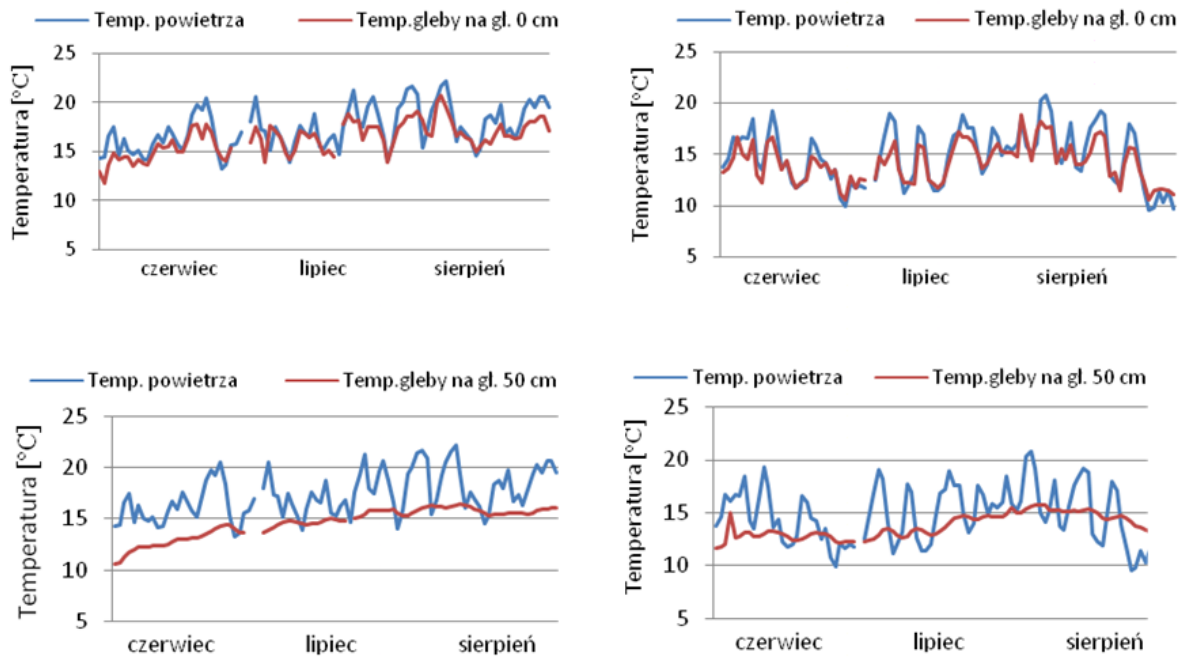
niem. Podobne spostrzeżenia przedstawili w swoich pracach Bac, Rojek (1999), Ussowicz, Rejman (2000), Nieróbca (2005) i Bryś (2008).

Silny związek temperatury powietrza z temperaturą gleby zaobserwowano również w okresie jesiennym (tab. 2). Współczynniki korelacji dla wszystkich głębokości były statystycznie istotne i podobnie jak wiosną osiągały stosunkowo wysokie wartości. Stwierdzono ponadto, że związki temperatury powietrza z temperaturą gleby były silniejsze w przypadku chłodnej jesieni. Chłodna jesień charakteryzowała się również tym, że temperatury gleby i powierzchni czynnej były podczas tego okresu przeważnie wyższe od temperatury powietrza (rys. 4). W drugiej połowie listopada chłodnej jesieni pojawiła się pokrywa śnieżna która spowodowała, że temperatury w przy powierzchniowej warstwie gleby zmieniły się w dużo mniejszym zakresie niż w tym samym czasie temperatura powietrza (rys. 4). Podobne spostrzeżenia przedstawili w swoich pracach Karpińska (1982), Biniak i in. (2005) oraz Ciaranek (2013).

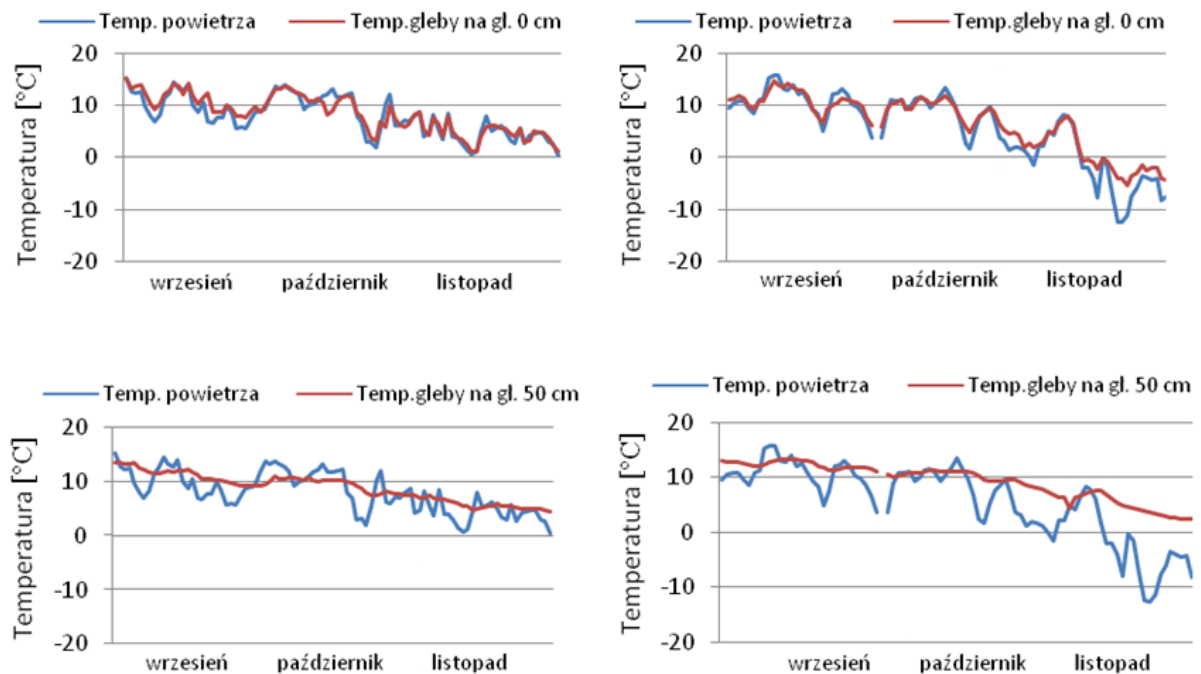
W okresie zimy związki temperatury powietrza z temperaturą gleby były zdecydowanie naj słabsze i w większości przypadków statystycznie nieistotne (tab. 2). Jedynie dla powierzchni czynnej oraz dla gleby na głębokości 5 cm pod-



Rys. 2. Przebieg temperatury powietrza i gleby w okresie ciepłej (po lewej) i chłodnej (po prawej) wiosny
Fig. 2. The course of air and soil temperature during warm (on the left) and cold (on the right) spring



Rys. 3. Przebieg temperatury powietrza i gleby w okresie ciepłego (po lewej) i chłodnego (po prawej) lata
 Fig. 3. The course of air and soil temperature during warm (on the left) and cold (on the right) summer



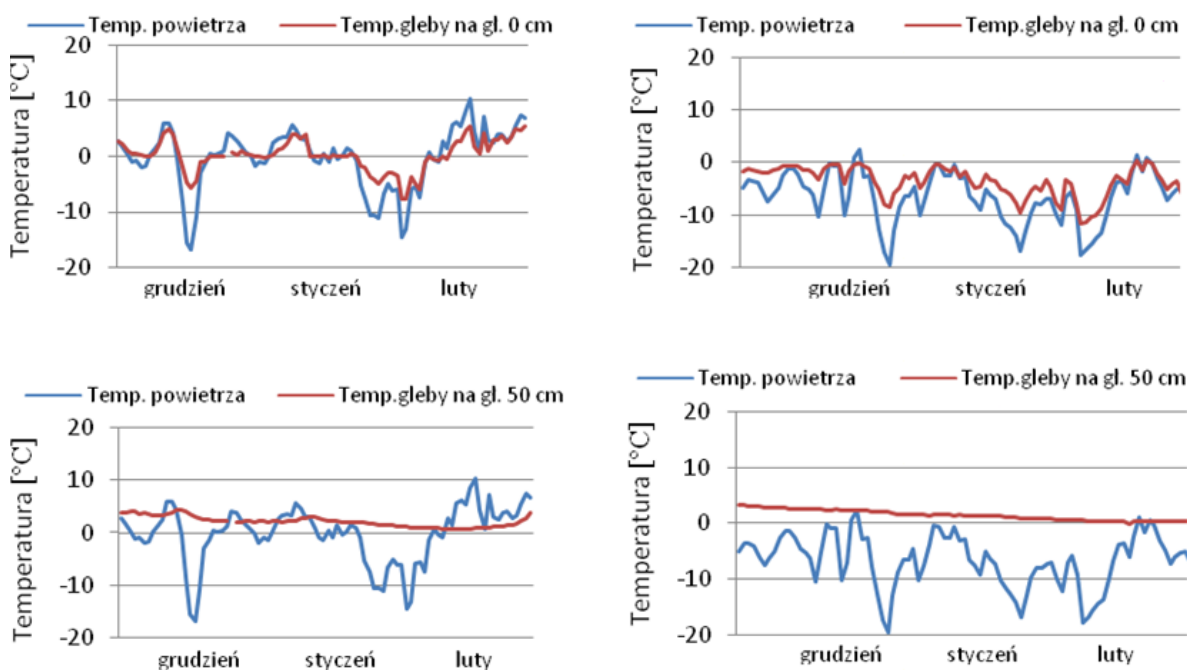
Rys. 4. Przebieg temperatury powietrza i gleby w okresie ciepłej (po lewej) i chłodnej (po prawej) jesieni
 Fig. 4. The course of air and soil temperature during warm (on the left) and cold (on the right) autumn

czas chłodnej zimy współczynniki korelacji były statystycznie istotne. Przyczyną tego stanu była obecność pokrywy śnieżnej, która w okresie zimy ma znaczący wpływ w kształtowaniu się temperatury gleby. Pokrywa śnieżna spowodowała, że w okresie zimy amplitudy temperatury gleby na wszystkich głębokościach były wtedy najniższe (rys. 5).

W celu zbadania wpływu pokrywy śnieżnej na temperaturę gleby obliczono i porównano współczynniki korelacji dla dwóch miesięcy zimowych o zbliżonych średnich temperaturach powietrza, przy czym jeden charakteryzował się obecnością pokrywy śnieżnej a drugi jej brakiem (tab. 3). Jak wynika z przeprowadzonych obliczeń obecność śniegu bardzo wyraźnie oddziaływała na kształtowanie się temperatury w całym profilu gleby. Nieistotne statystycznie i stosunkowo niskie wartości współczynników korelacji dla

okresu z pokrywą śnieżną świadczyć mogą o silnych właściwościach termoizolacyjnych śniegu. Pokrywa śnieżna podobnie jak szata roślinna ogranicza dopływ energii do powierzchni gleby, a z drugiej strony chroni ją przed wychłodzeniem. W 2009 roku, przy okazji kartowania śniegu na terenie Ojcowskiego Parku Narodowego wykonano serię pomiarów temperatury powierzchniowej warstwy gleby pokrytej śniegiem i gleby bez pokrywy śnieżnej (Wojkowski 2009). Jak wynika z tych pomiarów, różnice temperatur powierzchniowych warstw gleby pokrytej śniegiem i gleby bez pokrywy śnieżnej wynosiły od 2,6 °C do 3,7 °C i zależały przede wszystkim od grubości pokrywy śnieżnej.

Do zbadania wpływu opadów atmosferycznych na temperaturę gleby obliczono i porównano współczynniki korelacji w suchych i deszczowych porach roku (tab. 4). Z przeprowadzonych



Rys. 5. Przebieg temperatury powietrza i gleby w okresie ciepłej (po lewej) i chłodnej zimy (po prawej)
 Fig. 5. The course of air and soil temperature during warm (on the left) and cold (on the right) winter

Tabela 3. Współczynniki korelacji dla związku średniej dobowej temperatury powietrza z średnią dobową temperaturą gleby dla okresu z obecnością pokrywy śnieżnej i bez pokrywy

Table 3. Correlation coefficients for relations between daily air temperature and daily soil temperature during the period with snow cover and without snow cover

Okres	Głębokość pomiaru temperatury gleby				
	0 cm	5 cm	10 cm	20 cm	50 cm
Pokrywa śnieżna (styczeń 2001)	0,8959	0,1643	0,1100	0,0002	0,0435
Brak pokrywy śnieżnej (styczeń 1994)	0,7681	0,6964	0,6253	0,5138	0,2280

*Wartości oznaczone kursywą są nieistotne statystycznie

Tabela 4. Współczynniki korelacji dla związku średniej dobowej temperatury powietrza z średnią dobową temperaturą gleby w suchych i deszczowych porach roku**Table 4.** Correlation coefficients for relations between daily air temperature and daily soil temperature during the dry and wet period

Pora roku	Głębokość pomiaru temperatury gleby				
	0 cm	5 cm	10 cm	20 cm	50 cm
Wiosna deszczowa (1994 rok)	<i>0,0173</i>	<i>0,0141</i>	<i>0,0101</i>	<i>0,0098</i>	<i>0,0063</i>
Wiosna sucha (2002 rok)	0,3160	0,2809	0,2839	0,2934	0,2924
Lato deszczowe (2001 rok)	0,3606	0,3406	0,3298	0,3162	0,2950
Lato suche (1992 rok)	0,2665	0,2280	0,2392	0,2549	0,2025
Jesień deszczowa (1998 rok)	0,1449	0,1483	0,1549	0,1816	0,1710
Jesień sucha (2005 rok)	0,1897	0,2828	0,3114	0,2817	0,2254

*Wartości oznaczone kursywą są nieistotne statystycznie

obliczeń wynika, że w przejściowych porach roku, tj. wiosną i jesienią współczynniki korelacji osiągały wyższe wartości w okresach suchych. Podczas deszczowej wiosny współczynniki były statystycznie nieistotne lub jak w przypadku deszczowej jesieni przyjmowały stosunkowo niskie wartości. Może to świadczyć o tym, że opad atmosferyczny w przejściowych porach roku osłabia związek temperatury powietrza z temperaturą gleby. W okresie lata mamy sytuację odwrotną. Współczynniki korelacji w okresie deszczowego lata przyjmują wyższe wartości i wskazują na to, że opady atmosferyczne w tym okresie mogą powodować wzrost temperatury gleby. Prawdopodobnie dzieje się to na skutek tego, że woda opadowa przewodzi ciepło pochłonięte z powierzchni gleby do jej głębszych warstw, powodując wzrost temperatury gleby.

WNIOSKI

1. Pokrywające dna jurajskich dolin mady rzeczne charakteryzują się dużym uwilgotnieniem co powoduje, że w profilu glebowym obserwowane są stosunkowo niewielkie zmiany temperatury.
2. Najsilniejsze związki temperatury powietrza z temperaturą gleby obserwowano przede wszystkim w okresie wiosny i jesieni.
3. Wzrost opadów atmosferycznych wiosną i jesienią powodował osłabienie związku temperatury powietrza z temperaturą gleby.
4. W okresie lata związki temperatury powietrza z temperaturą gleby były słabsze i statystycznie istotne tylko do głębokości 20 cm. Silniejsze związki wykazano tylko podczas deszczowego lata co było spowodowane przenikaniem ciepła wraz z infiltrującą w profil glebowy wodą opadową.

5. Zimą, ze względu na pokrywę śnieżną, związki temperatury powietrza z temperaturą gleby były najsłabsze i w większości przypadków statystycznie nieistotne.
6. Badania wykazały, że szata roślinna w lecie oraz pokrywa śnieżna w zimie silnie oddziałują na rozkład temperatury gleby w całym jej profilu.
7. Różnice temperatury powierzchniowej warstwy gleby pokrytej śniegiem i gleby bez pokrywy śnieżnej zależały przede wszystkim od grubości pokrywy śnieżnej i wynosiły od 2,6 °C do 3,7 °C.

LITERATURA

1. Angiel M., Cisowska M. 1995. Stosunki klimatyczne prognozy Pogórza Karpackiego między Rabą i Uswicą. Wyd. Uniw. Jagiell., Kraków.
2. Bac S., Rojek M. 1999. Meteorologia i klimatologia w inżynierii środowiska. Wyd. Akademii Rolniczej we Wrocławiu, ss. 315.
3. Bakowski B., Baranowski R. 1977. Wpływ zróżnicowania składu fazowego gleby na dynamikę i jej temperatury. Roczniki Gleboznawcze, 28(1), 37–44.
4. Bednarek A. 1966. O wpływie temperatury powietrza na kształtowanie temperatury gleby w warunkach ograniczonego dopływu energii promieniowania słońca. Przegl. Geograf. XI (XII), z. 4, 251–260.
5. Bednorz E., Kolendowicz L. 2010. Daily course of the soil temperature in summer in chosen ecosystems of Słowiński National Park, northern Poland. Quaestiones Geographicae 29/1, 5–12.
6. Biniak M., Kostrzewa S., Żyromski A. 2005. Ocena wieloletniej zmienności temperatury gleby i pokrywy śnieżnej oraz ich zależności w okresach zimowych 1965/66 ÷ 2003/2004 we Wrocławiu

- Swojcu. Zesz. Nauk. AR Wroc., Inżynieria Środowiska XIV, nr 520, 115–129.
7. Bryś K. 2004. Wieloletnia zmienność termiki gleby we Wrocławiu – Swojcu i jej radiacyjne i cyrkulacyjne uwarunkowania. *Acta Agrophysica*, 3(2), 209–219
 8. Bryś K. 2008. Wieloletni wpływ pokrywy roślinnej na termikę gleby. *Acta Agrophysica*, 12(1), 39–53.
 9. Caputa Z., Wojkowski J. 2013. Wpływ promieniowania słonecznego na temperaturę powietrza i gleby na Wyżynie Krakowskiej. *Prądnik. Prace Muz. Szafera* 23, Ojców, 65–74.
 10. Caputa Z., Wojkowski J. 2015. Structure of radiation balance in diverse types of relief. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Land Reclamation*, 44(4), 343–354.
 11. Ciaranek D. 2013. Wpływ warunków pogodowych na przebieg temperatury gleby w Ogrodzie Botanicznym Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie. *Prace Geograficzne*, 133, 77–99.
 12. Geiger R. 1942. *Das Klima der bodennahen Luftschicht: ein Lehrbuch der Mikroklimatologie*. Friedr. Vieweg & Sohn.
 13. Kapuściński J. 1991. Próba określenia warunków termicznych gleby z temperaturą powietrza. *Rocz. Glebozn. T. XLII nr 1/2 Warszawa*, 17–26.
 14. Karpińska Z. 1982. Warunki cieplne gleby. *Agroklimatyczne podstawy melioracji wodnych w Polsce* pod red. S. Baca, PWRiL, Warszawa, 205–258.
 15. Karpińska Z. 1985. Wpływ opadu naturalnego i nawodnień deszczownianych na termikę gleby w zróżnicowanych warunkach pogodowych. *Zesz. Nauk. AR Wroc. Mel. XXVIII*, 155, 177–193.
 16. Klein J. 1974. Mezo i mikroklimat Ojcowskiego Parku Narodowego. *Studia Naturae, ser. A*, 8, 1–105.
 17. Kołodziej J., Galant H., Liniweicz K. 1991. The course of temperature in the soil layer from 0 to 100 cm deep with differentiated soil plant cover. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 396, 57–61.
 18. Kossowski J. 2002. Związek temperatury przypowierzchniowej warstwy gleby z temperaturą powietrza i właściwościami fizycznymi gleby. *Acta Agrophysica*, 2(3), 75–78.
 19. Kossowski J., Kołodziej J. 2003. Szacowanie średnich dobowych wartości temperatury w warstwie ornej gleby na podstawie temperatury powietrza i wilgotności gleby. *Annales Universitatis Marie Curie-Skłodowska, sec. E, Agricultura*, 58, 69–78.
 20. Kossowski J. 2005. Związek amplitud dobowych temperatury gleby w warstwie przypowierzchniowej z amplitudami temperatury powietrza i innymi elementami meteorologicznymi. *Acta Agrophysica*, 5(3), 657–667.
 21. Kossowski J., 2007. O relacji między strumieniem ciepła w glebie a promieniowaniem słonecznym. *Acta Agrophysica* 2007, 151, 10(1), 121–135.
 22. Nieróbca A. 2005. Porównanie temperatury gleby na ugorze i pod murawą. *Acta Agrophysica*, 6(2), 443–453.
 23. Panecka K. 1970. Próba sporządzenia mapy rozkładu geograficznego temperatury gleby w Polsce. *Przegląd Geofizyczny*, 15, 3, 267–275.
 24. Usowicz B., Rejman J. 2000. Zmienność przestrzenna temperatury w przypowierzchniowej warstwie gleby płowej na zboczu lessowym. *Acta Agrofizyka*, 34, 189–197.
 25. Wojkowski J. 2009. Przestrzenne zróżnicowanie pokrywy śnieżnej na obszarze Ojcowskiego Parku Narodowego. *Prądnik. Prace Muz. Szafera* 19, Ojców, 89–108.