

ELEMENTY METEOROLOGICZNE KSZTAŁTUJĄCE TEMPERATURĘ
GLEBY NIEPOROŚNIĘTEJ I POD ŻYTEM W STACJI
AGROMETEOROLOGICZNEJ W LIPKACH

Bożena Michalska, Jadwiga Nidzgorska-Lencewicz

Katedra Meteorologii i Klimatologii, Akademia Rolnicza, ul. Pawła VI 3, 71-434 Szczecin
e-mail: bmichalska@agro.ar.szczecin.pl

Streszczenie. W pracy wykorzystano cegodzinne wyniki automatycznych pomiarów temperatury gleby nieporośniętej i terminowe (02⁰⁰, 08⁰⁰, 14⁰⁰, 20⁰⁰) pod żytem na 4 głębokościach: 5, 10, 20 i 50 cm, w dwóch sezonach wegetacyjnych: 2002 r. i 2003 r. oraz dobowe wyniki pomiarów elementów meteorologicznych. Zależność między temperaturą gleby a elementami meteorologicznymi określono za pomocą regresji liniowej. Najściślejszy związek z temperaturą gleby wykazywała temperatura powietrza z 200 cm n.p.g., a następnie niedosyt wilgotności i parowanie wskaźnikowe z ewaporometru Wilda. Zachodząca ścisła zależność między temperaturą gleby pod ugorem i pod żytem daje możliwość określania temperatury gleby pod żytem na różnych głębokościach na podstawie standardowych pomiarów temperatury gleby pod ugorem.

Słowa kluczowe: temperatura gleby, ugor, żyto, elementy meteorologiczne, prognozy

WSTĘP

Temperatura gleby jest jednym z elementów klimatu, który w znaczący sposób wpływa na aktywność procesów fizykochemicznych i biologicznych oraz na efektywność zabiegów agrotechnicznych w glebie. Kształtowanie się temperatury gleby zależy od salda promieniowania, od wielkości ciepła jawnego i utajonego oraz od wielkości i kierunku strumienia ciepłego gleby, a w przypadku gleby porośniętej roślinami, także od ich rodzaju i fazy rozwojowej [2,7,9]. Rośliny w miarę rozwoju modyfikują przebieg temperatury gleby, zwłaszcza w okresie największego zapotrzebowania na wodę i podczas intensywnej transpiracji [1,2,6, 8,14]. Stąd ważne jest poznanie rozkładu temperatury gleby na różnych głębokościach, jak i możliwość jej prognozowania pod roślinami w okresie wegetacji. Próby takie były już podejmowane przez wielu autorów, którzy wykorzystywali

do tego celu różne metody statystyczno-matematyczne, od prostych regresji liniowych po sztuczne sieci neuronowe [4,5,8,10]. W niniejszej pracy szukano odpowiedzi na pytania jak kształtuje się temperatura w glebie nieporośniętej i pod żytem, w zależności od elementów meteorologicznych, jaki jest dobowy przebieg temperatury na różnych głębokościach i jakie są różnice temperatury w glebie bez roślin i pod żytem w różnych jego fazach rozwojowych oraz, które z czynników meteorologicznych można wykorzystać do prognozowania temperatury gleby.

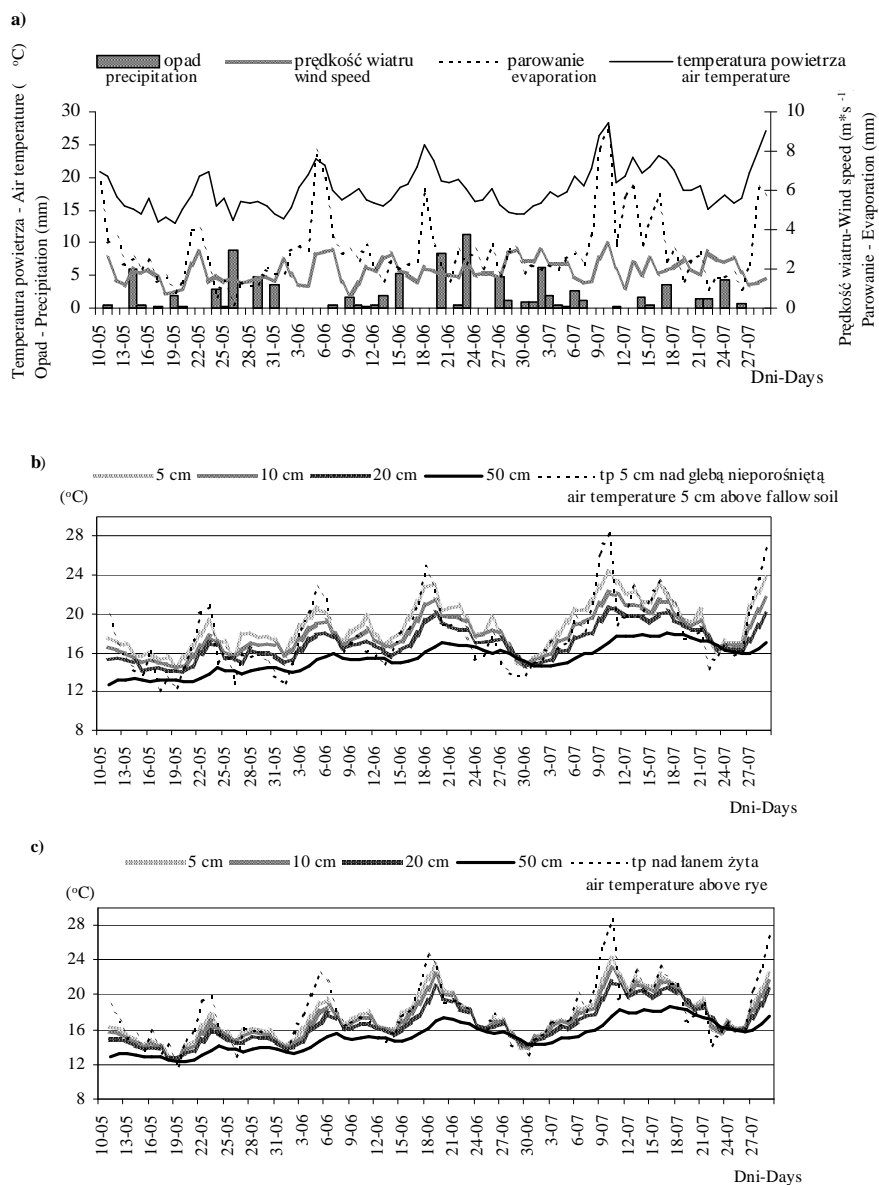
MATERIAŁ I METODY

W pracy wykorzystano cegodzinne wyniki automatycznych pomiarów temperatury gleby nieporośniętej i terminowe (02⁰⁰, 08⁰⁰, 14⁰⁰, 20⁰⁰) pod żytem na 4 głębokościach: 5, 10, 20 i 50 cm, w dwóch sezonach wegetacyjnych: od 11.05 do 29.07 w 2002 r. i od 4.05 do 30.07 w 2003 r. Ponadto wykorzystano dobowe wyniki pomiarów napromieniowania, temperatury powietrza z 200 i 5 cm nad gruntem oraz nad łanem żyta, opadów, prędkości wiatru, parowania (z ewaporometru Wilda), wilgotności względnej i niedosytu wilgotności. W badaniach uwzględniono również klimatyczny bilans wodny, którego wielkość obliczono jako różnicę pomiędzy opadami i parowaniem zmierzonym ewaporometrem Wilda. Wszystkie dane pochodziły ze stacji agrometeorologicznej w Lipkach k. Stargardu Szczecińskiego, usytuowanej w centralnej części Niziny Szczecińskiej (φ 53°21', λ 14°58'), położonej na glebie lekkiej, brunatnej kwaśnej, bez podsiąku wody gruntowej [7].

Zależność między temperaturą gleby a elementami meteorologicznymi określono za pomocą regresji liniowej. Istotność współczynników korelacji oszacowano na poziomie $\alpha = 0,01$ i $\alpha = 0,05$, a istotność równań regresji sprawdzono testem F-Snedecora z tą samą wiarygodnością.

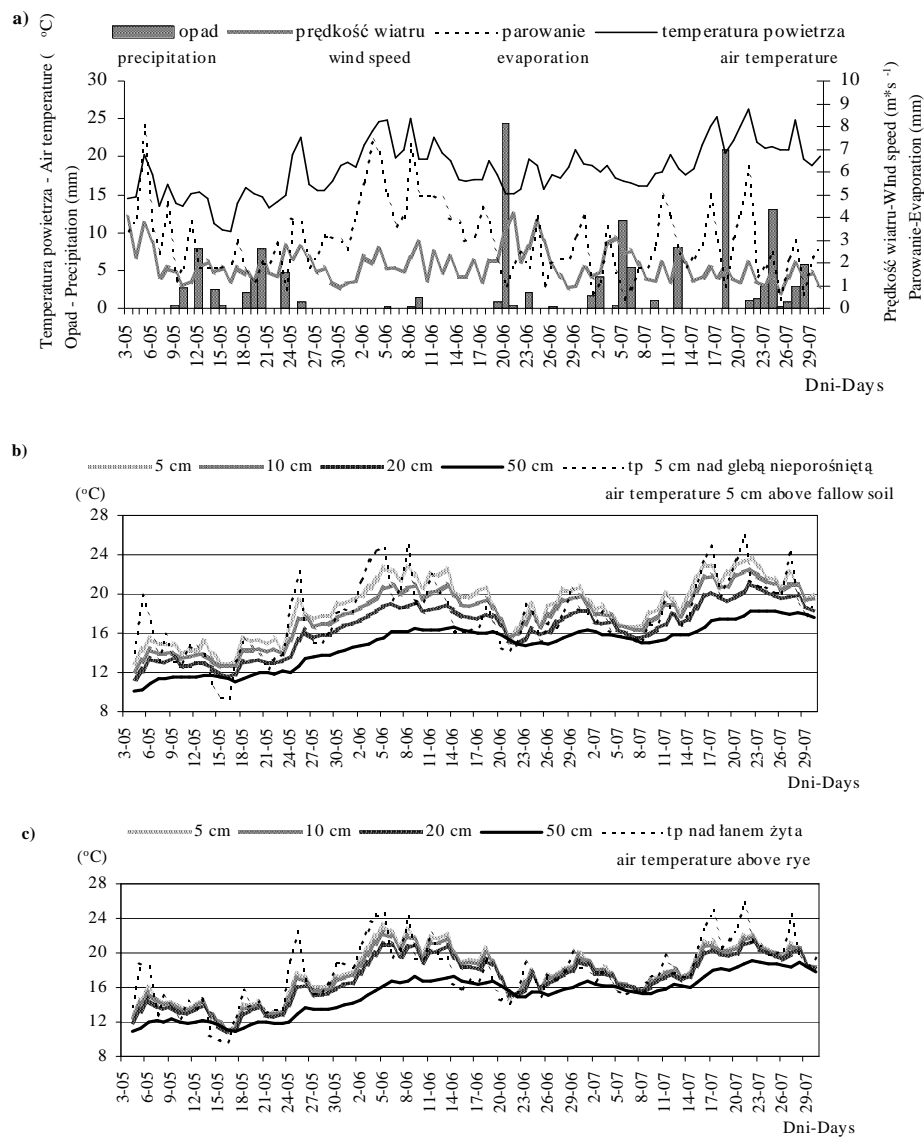
WYNIKI I DYSKUSJA

Lata, w których prowadzono badania można zaliczyć do ciepłych i suchych (rys. 1 i 2). W roku 2002 wszystkie analizowane miesiące (od maja do lipca) były bardzo ciepłe, gdyż temperatura powietrza przekroczyła w każdym z nich, wartość wieloletnią o 1,5 wielkości odchylenia standardowego. W roku 2003 maj był miesiącem ciepłym, a czerwiec ekstremalnie ciepłym – średnia temperatura tego miesiąca była wyższa o 3,6°C od normy, (tak wysoką temperaturę w czerwcu zanotowano po raz pierwszy od 1961 roku), lipiec natomiast, zaliczono do miesięcy bardzo ciepłych, gdyż średnia temperatura tego miesiąca przekroczyła normę o 2,5°C.



Rys. 1. Przebieg dobowej temperatury powietrza, opadów, prędkości wiatru, parowania wody z ewaporometru Wilda (a) oraz temperatury w glebie nieporośniętej (b) i pod uprawą żyta (c) w okresie 11.05 do 29.07. 2002

Fig 1. The course of 24 hour air temperature, precipitation, speed of wind, evaporation from the Wild evapometer (a) and temperature of fallow soil (b) and soil with rye (c) in the period from 11th May to 29th July, 2002



Rys. 2. Przebieg dobowej temperatury powietrza, opadów, prędkości wiatru, parowania wody z ewaporometru Wilda (a) oraz temperatury w glebie nieporośniętej (b) i pod uprawą żyta (c) w okresie 4.05 do 30.07. 2003

Fig. 2. The course of 24 hour air temperature, precipitation, speed of wind, evaporation from the Wild evapometer (a) and temperature in the fallow soil (b) and in the soil with rye (c) in the period from 4th May to 30 July 2003

Według klasyfikacji Kaczorowskiej [3] maj w latach 2002 i 2003 oraz czerwiec w roku 2002 były miesiącami suchymi, stanowiącymi odpowiednio: 58, 65 i 62% normy, a lipiec w 2002 r. i czerwiec w 2003 r. – bardzo suchymi – jedynie 43 i 48% normy. Tylko opady w lipcu 2003 przewyższyły wartość średnią wieloletnią o 28%.

Przebieg dobowych wartości temperatury w glebie nieporośniętej i pod żytem na tle ważniejszych czynników meteorologicznych w latach badań przedstawiono na rysunkach 1 i 2. Wpływ na temperaturę gleby miała przede wszystkim temperatura powietrza, niezależnie czy była mierzona tuż nad gruntem lub nad łanem żyta, czy na standardowej wysokości, czyli na 200 cm nad gruntem. Świadczą o tym wartości współczynników korelacji r zamieszczonych w tabeli 1. Najwyższe wartości współczynników uzyskano dla poziomów glebowych 5 cm – dla ugoru $r = 0,876$ oraz dla żyta $r = 0,87$. Podobne wyniki uzyskała Bryś [1] badając wieloletnie relacje termiki ugoru i trawnika z czynnikami meteorologicznymi i hydrologicznymi w Obserwatorium na Swojcu k. Wrocławia. Najściślejsze związki temperatury gleby na głębokości 5 cm (bez roślin i pod żytem) stwierdzono z temperaturą powietrza mierzoną w dniu pomiaru. Na głębokościach 10 i 20 cm najlepiej te związki opisywała temperatura powietrza z dnia poprzedzającego pomiar – dla ugoru $r = 0,849$ i $r = 0,847$, a dla żyta $r = 0,885$ i $r = 0,88$, natomiast na głębokości 50 cm – temperatura powietrza zmierzona 2 dni przed pomiarem temperatury gleby – dla ugoru $r = 0,719$, a dla żyta $r = 0,76$.

Z czynników wilgotnościowych najsilniejszy, dodatni związek z temperaturą gleby wykazywały, niedosyt wilgotności powietrza oraz parowanie wskaźnikowe, przy czym w miarę wzrostu głębokości związki temperatury gleby z omawianymi czynnikami, choć wysoce istotne, były coraz słabsze, co również potwierdzają wyniki badań Bryś [1]. Relacje temperatury gleby z opadami dobowymi okazały się na wszystkich analizowanych głębokościach nieistotne statystycznie. Dobowe sumy opadów kolejnych dni mogą być natomiast wykorzystane do określania stanu uwilgotnienia gleby lekkiej do głębokości 5 cm, na co wskazują badania Koźmińskiego i in. [6].

Zbadano również wpływ elementów meteorologicznych na temperaturę gleby pod żytem (na tle ugoru) w różnych fazach rozwojowych rośliny. Najwyższe wartości współczynników korelacji r otrzymano w fazie pełnia kłoszenia – koniec kwitnienia (tab. 2), przy czym dla żyta najściślejsze związki z temperaturą gleby na różnych głębokościach wykazywała temperatura powietrza z 200 cm n.p.g. na 1 dzień przed pomiarem – wartości r wahały się od 0,911 na 5 cm do 0,706 na 50 cm. Szata roślinna, w tym przypadku łan żyta, pełni istotną rolę buforową dla oddziaływań typu sprzężeń zwrotnych, pomiędzy termiką gleby a temperaturą powietrza [1]. Poza opadem i prędkością wiatru wpływ pozostałych czynników okazał się, niemal na wszystkich badanych głębokościach, wysoce istotny.

Tabela 1. Współczynniki korelacji (r) dla zależności dobowej temperatury gleby nieporośniętej (a) i pod żytem (b) na głębokościach: 5, 10, 20 i 50 cm od elementów meteorologicznych mierzonych w dniu pomiaru (x_0) oraz w dniach poprzedzających pomiar ($x_1...x_5$), w okresie 11.05-29.07.2002 oraz 04.05-30.07. 2003

Table 1. Coefficients of correlation (r) for 24-hour relationship of temperature in the fallow soil (a) and in the soil with rye (b) at the depths of 5, 10, 20 and 50 cm and meteorological elements measured on the day of the measurement (x_0) and during the days preceding the measurement ($x_1...x_5$), in the period from 11th May to 29th July 2002 and from 4th May to 30 July, 2003

Dni Days	5 cm		10 cm		20 cm		50 cm	
	a	b	a	b	a	b	a	b
Temperatura powietrza 200 cm n.p.g. – Air temperature 200 cm above ground level								
x_0	0,876**	0,870**	0,823**	0,843**	0,773**	0,798**	0,591**	0,635**
x_1	0,834**	0,876**	0,849**	0,885**	0,847**	0,880**	0,683**	0,744**
x_2	0,689**	0,732**	0,739**	0,758**	0,770**	0,784**	0,719**	0,760**
x_3	0,588**	0,629**	0,655**	0,659**	0,688**	0,693**	0,708**	0,727**
x_4	0,532**	0,569**	0,599**	0,602**	0,630**	0,640**	0,684**	0,697**
x_5	0,485**	0,519**	0,552**	0,551**	0,586**	0,591**	0,660*	0,668**
Temperatura powietrza a – 5 cm nad glebą nieporośniętą, b – nad łanem zryta Air temperature a – 5 cm above fallow soil, b – above rye								
x_0	0,875**	0,886**	0,816**	0,858**	0,766**	0,812**	0,577**	0,644**
x_1	0,834**	0,873**	0,846**	0,882**	0,844**	0,879**	0,672**	0,749**
x_2	0,689**	0,732**	0,736**	0,758**	0,767**	0,784**	0,711**	0,761**
x_3	0,585**	0,632**	0,649**	0,662**	0,684**	0,694**	0,699**	0,727**
x_4	0,525**	0,581**	0,591**	0,612**	0,623**	0,648**	0,675**	0,699**
x_5	0,477**	0,527**	0,542**	0,559**	0,577**	0,599**	0,650**	0,673**
Promieniowanie – Global radiation								
x_0	0,338**	0,232**	0,198*	0,171*	0,083	0,089	-0,125	-0,113
x_1	0,335**	0,298**	0,284**	0,272**	0,237**	0,223**	-0,033	-0,007
x_2	0,261**	0,261**	0,204**	0,245**	0,204**	0,212**	0,018	0,032
x_3	0,206**	0,216**	0,181*	0,208**	0,181*	0,186*	0,048	0,052
x_4	0,168*	0,200*	0,154	0,194*	0,155	0,178*	0,056	0,060
x_5	0,140	0,192*	0,128	0,188*	0,133	0,173*	0,063	0,075
Opad – Precipitation								
x_0	-0,070	-0,030	-0,006	-0,006	0,042	0,028	0,091	0,097
x_1	-0,112	-0,108	-0,083	-0,089	-0,064	-0,059	0,053	0,053
x_2	-0,073	-0,116	-0,052	-0,101	-0,061	-0,079	0,022	0,024
x_3	-0,008	-0,049	-0,009	-0,050	-0,030	-0,046	0,007	0,008
x_4	0,032	-0,002	0,042	0,003	0,020	0,010	0,018	0,036
x_5	-0,029	-0,069	0,001	-0,057	0,006	-0,033	0,038	0,038

Tabela 1. cd.
Table 1. Cont.

Dni Days	5 cm		10 cm		20 cm		50 cm	
	a	b	a	b	a	b	a	b
Prędkość wiatru – Wind speed								
x ₀	-0,122	-0,005	-0,097	0,001	-0,070	0,007	-0,011	0,005
x ₁	-0,157	-0,064	-0,135	-0,005	-0,108	-0,040	-0,020	0,003
x ₂	-0,132	-0,079	-0,121	-0,076	-0,113	-0,066	-0,030	-0,016
x ₃	-0,062	-0,042	-0,071	-0,045	-0,089	-0,045	-0,032	-0,019
x ₄	0,009	0,012	-0,008	0,001	-0,034	-0,002	-0,023	-0,006
x ₅	0,057	0,058	0,032	0,049	0,006	-0,038	-0,006	0,013
Parowanie wskaźnikowe – Evaporation								
x ₀	0,474**	0,494**	0,379**	0,446**	0,307**	0,377**	0,123	0,160**
x ₁	0,452**	0,531**	0,419**	0,518**	0,396**	0,481**	0,198*	0,260**
x ₂	0,313**	0,405**	0,312**	0,411**	0,325**	0,404**	0,230**	0,279**
x ₃	0,259**	0,340**	0,261**	0,345**	0,268**	0,341**	0,235**	0,269**
x ₄	0,234**	0,310**	0,241**	0,319**	0,246**	0,320**	0,228**	0,262**
x ₅	0,196*	0,275**	0,207**	0,288**	0,215**	0,293**	0,219**	0,255**
Wilgotność względna – Relative air humidity								
x ₀	-0,296**	-0,300**	-0,197*	-0,260**	-0,114	-0,195*	0,065	0,018
x ₁	-0,278**	-0,346**	-0,238**	-0,331**	-0,204**	-0,291**	-0,008	-0,070
x ₂	-0,185*	-0,260**	-0,163*	-0,261**	-0,151	-0,245**	-0,039	-0,095
x ₃	-0,123	-0,200*	-0,114	-0,201*	-0,105	-0,191*	-0,044	-0,091
x ₄	-0,110	-0,191*	-0,098	-0,192*	-0,081	-0,183*	-0,042	-0,089
x ₅	-0,074	-0,162*	-0,072	-0,173*	-0,061	-0,172*	-0,033	-0,094
Niedosyt wilgotności – Air humidity deficiency								
x ₀	0,530**	0,534**	0,437**	0,490**	0,361**	0,424**	0,175*	0,214**
x ₁	0,518**	0,587**	0,491**	0,576**	0,462**	0,542**	0,263**	0,326**
x ₂	0,391**	0,464**	0,393**	0,473**	0,397**	0,470**	0,302**	0,354**
x ₃	0,321**	0,389**	0,336**	0,398**	0,341**	0,402**	0,303**	0,341**
x ₄	0,300**	0,358**	0,310**	0,370**	0,306**	0,376**	0,293**	0,328**
x ₅	0,278**	0,340**	0,294**	0,355**	0,292**	0,364**	0,288**	0,328**
Klimatyczny bilans wodny – Climatic water balances								
x ₀	-0,245**	-0,221**	-0,156*	-0,183*	-0,089	-0,128	0,023	0,013
x ₁	-0,269**	-0,296**	-0,232**	-0,276**	-0,208**	-0,238**	-0,036	-0,061
x ₂	-0,182*	-0,252**	-0,164*	-0,242**	-0,177*	-0,222**	-0,073	-0,091
x ₃	-0,109	-0,173*	-0,109	-0,176*	-0,130	-0,171*	-0,087	-0,099
x ₄	-0,066	-0,123	-0,061	-0,123	-0,080	-0,118	-0,075	-0,074
x ₅	0,099	-0,163*	-0,082	-0,158*	-0,080	-0,142	-0,056	-0,070

*** współczynnik korelacji istotny przy $\alpha < 0,01$; *** correlation coefficient significant at $\alpha < 0,01$;

** współczynnik korelacji istotny przy $\alpha < 0,05$; ** correlation coefficient significant at $\alpha < 0,05$;

* współczynnik korelacji istotny przy $\alpha < 0,1$; * correlation coefficient significant at $\alpha < 0,1$.

Tabela 2. Współczynniki korelacji (r) dla zależności dobowej temperatury gleby nieporośniętej (a) i pod żytem (b) od elementów meteorologicznych w poszczególnych fazach fenologicznych żyta. Lata 2002-2003

Table 2. Coefficients of correlation (r) for the 24 hour relationship of temperature in the fallow soil (a) and in the soil with rye (b) and meteorological elements in individual phenological stages of rye. Years 2002-2003

	5 cm		10 cm		20 cm		50 cm	
	a	b	a	b	a	b	a	b
Pełnia kłoszenia – Koniec kwitnienia Beginning of heading – End of flowering								n = 33
1	0,877**	0,889**	0,824**	0,863**	0,795**	0,824**	0,581**	0,675**
2	0,873**	0,911**	0,817**	0,887**	0,788**	0,851**	0,574**	0,706**
3	0,579**	0,484**	0,474**	0,446**	0,376*	0,403*	0,207	0,272
4	-0,350*	-0,272	-0,243	-0,245	-0,158	-0,205	0,001	-0,071
5	0,293	0,364*	0,276	0,342	0,259	0,312	0,113	0,217
6	0,714**	0,739**	0,666**	0,716**	0,608**	0,682**	0,418*	0,513**
7	-0,669**	-0,639**	-0,606**	-0,616**	-0,551**	-0,581**	-0,374*	-0,420*
8	0,747**	0,741**	0,694**	0,721**	0,652**	0,689**	0,487**	0,539**
9	-0,610**	-0,572**	-0,514**	-0,543**	-0,428*	-0,498**	-0,224	-0,320
Koniec kwitnienia – Dojrzałość mleczna End of flowering – Milk maturity								n = 22
1	0,701***	0,757***	0,642***	0,697***	0,571***	0,690***	0,337	0,347
2	0,700***	0,743***	0,640***	0,677***	0,568***	0,668***	0,330	0,315
3	0,155	0,377*	0,099	0,258	0,041	0,077	-0,143	-0,243
4	0,026	-0,064	0,042	-0,016	0,056	0,066	0,057	0,077
5	0,268	0,219	0,269	0,268	0,258	0,294	0,133	0,166
6	0,640***	0,683***	0,590***	0,654***	0,536***	0,642***	0,350	0,361*
7	-0,568***	-0,699***	-0,516**	-0,639***	-0,463**	-0,563***	-0,289	-0,263
8	0,600***	0,709***	0,541***	0,640***	0,477**	0,572***	0,275	0,255
9	-0,593***	-0,657***	-0,543***	-0,617***	-0,488**	-0,585***	-0,314	-0,319
Dojrzałość mleczna – Dojrzałość woskowa Milk maturity – Wax maturity								n = 53
1	0,888***	0,890**	0,848***	0,834***	0,780***	0,763***	0,527***	0,462***
2	0,907***	0,896***	0,867***	0,838***	0,798***	0,765***	0,546***	0,464***
3	0,478***	0,626***	0,401***	0,493***	0,296**	0,347**	0,020	0,024
4	-0,107	-0,176	-0,092	-0,128	-0,067	-0,069	-0,022	-0,017
5	-0,311**	-0,440***	-0,299**	-0,414***	-0,275**	-0,356***	-0,169	-0,203
6	0,644***	0,657***	0,600***	0,605***	0,540***	0,552***	0,354***	0,351***
7	-0,415***	-0,485***	-0,389***	-0,437***	-0,340**	-0,333**	-0,150	-0,101
8	0,523***	0,538***	0,480***	0,474***	0,410***	0,394***	0,171	0,139
9	-0,320**	-0,386***	-0,293**	-0,324**	-0,250*	-0,256*	-0,145	-0,141

Tabela 2. cd. – Table 2. Cont.

	5 cm		10 cm		20 cm		50 cm	
	a	b	a	b	a	b	a	b
Dojrzałość woskowa – Zbiór Wax maturity – Harvest								n = 37
1	0,924 ^{***}	0,934 ^{***}	0,897 ^{***}	0,886 ^{***}	0,847 ^{***}	0,822 ^{***}	0,654 ^{***}	0,591 ^{***}
2	0,924 ^{***}	0,935 ^{***}	0,896 ^{***}	0,882 ^{***}	0,846 ^{***}	0,813 ^{***}	0,653 ^{***}	0,575 ^{***}
3	0,485 ^{***}	0,620 ^{***}	0,441 ^{***}	0,515 ^{***}	0,369 ^{**}	0,370 ^{**}	0,200 ^{***}	0,157
4	0,059	-0,009	-0,088	0,063	0,131	0,142	0,186	0,172
5	-0,466 ^{***}	-0,546 ^{***}	-0,458 ^{***}	-0,521 ^{***}	-0,441 ^{***}	-0,467 ^{***}	-0,413 ^{**}	-0,386 ^{***}
6	0,430 ^{**}	0,497 ^{***}	0,377 ^{**}	0,393 ^{**}	0,295 [*]	0,257	0,069	0,009
7	-0,390 ^{**}	-0,437 ^{***}	-0,338 ^{**}	0,331 ^{**}	-0,259	-0,211	-0,014	0,043
8	0,607 ^{***}	0,642 ^{**}	0,554 ^{***}	0,538 ^{***}	0,470 ^{***}	0,424 ^{***}	0,210	0,147
9	-0,078	-0,156	-0,037	-0,064	-0,024	0,044	0,139	0,144

n – liczba przypadków – number of cases,

1 – temperatura powietrza 200 cm n.p.g. – air temperature 200 cm above ground level (°C),

2 – temperatura powietrza: a – nad łanem żyta, b – 5 cm nad glebą nieporośniętą,
air temperature: a – 5 cm above fallow soil, b – above rye (°C),

3 – promieniowanie – global radiation ($\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$),

4 – opad atmosferyczny – precipitation (mm),

5 – prędkość wiatru – wind speed ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$),

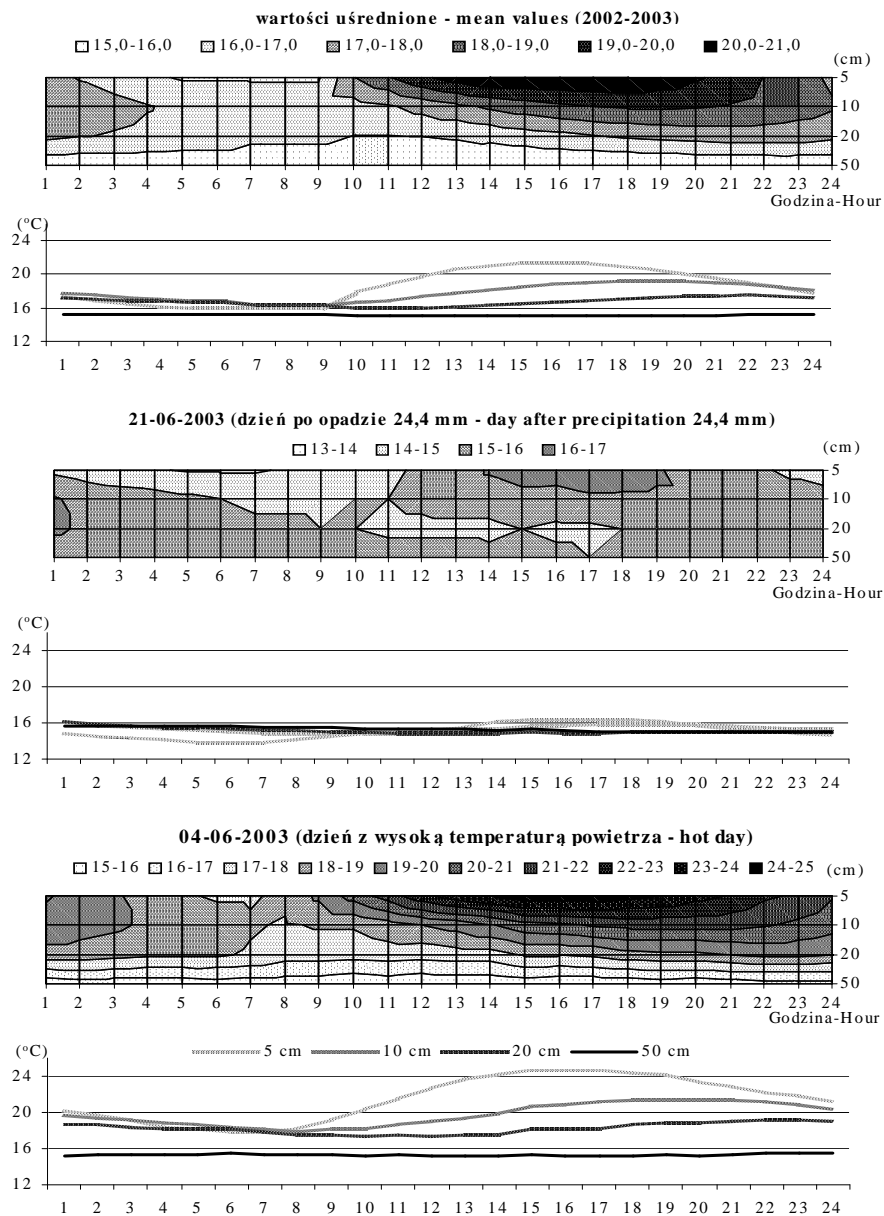
6 – parowanie wskaźnikowe – evaporation (mm),

7 – wilgotność względna – relative air humidity (%),

8 – niedosyt wilgotności – air humidity deficiency (hPa),

9 – klimatyczny bilans wodny – climatic water balance (mm).

W dobowym przebiegu temperatury w glebie nieporośniętej, największą średnią amplitudę obserwowano na głębokości 5 cm, przy czym maksymalna wartość występowała między godziną 15 i 16, a minimalna o godzinie 5 (rys. 3). Niskie wartości temperatury utrzymywały się do godziny 9, po tym terminie następował na głębokości 5 cm wyraźny wzrost temperatury. Na większych głębokościach zaznaczały się czasowe przesunięcia ekstremalnych wartości temperatury – 2 godziny na głębokości 10 cm i 7 godzin na 20 cm. Na głębokości 50 cm dobową amplitudę zanikła niemal zupełnie. Licznar i Rojek [10] podają, iż w większości gleb Polski dobowe zmiany temperatury występują do głębokości około 0,5-0,6 m, a zanik wahań temperatury gleby jest zauważalny, zwłaszcza w suchych profilach gleb piaszczystych. Na wielkość dobowej amplitudy miały wpływ warunki pogodowe. Opad (24,4 mm), który wystąpił 20 czerwca 2003 spowodował wyraźne zmniejszenie amplitudy i wyrównanie wartości temperatury na wszystkich głębokościach, natomiast wysoka średnia dobową temperaturę powietrza (24,5°C) w dniu 4 czerwca 2003, poprzedzona kilkudniowym brakiem opadów spowodowała wzrost amplitudy (9,5°C) między głębokością 5 a 50 cm o 3,1°C w stosunku do wartości średniej (6,4°C) – rysunek 3.

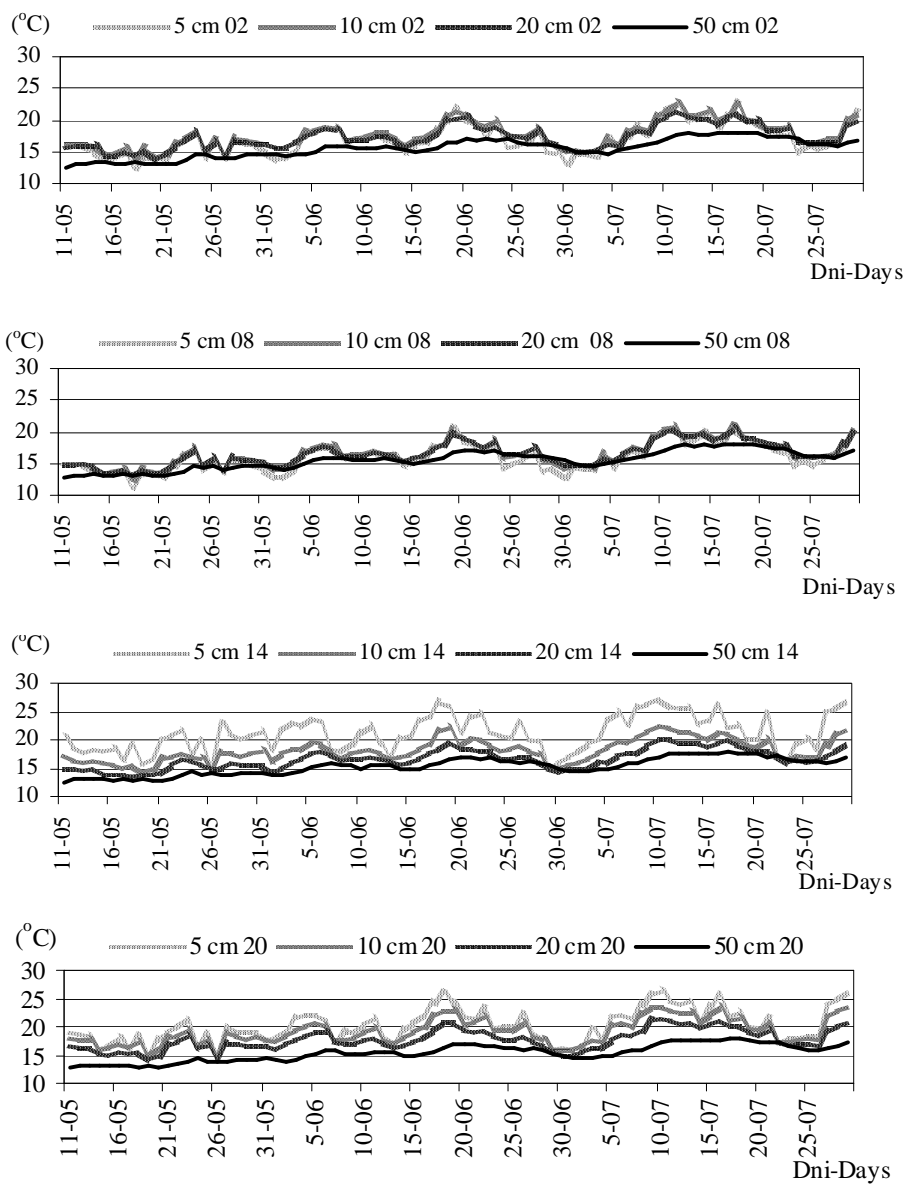


Rys. 3. Godzinny przebieg temperatury w glebie nieporośniętej na głębokościach: 5, 10, 20 i 50 cm
Fig. 3. Hourly soil temperature in the fallow soil at depths of 5, 10, 20 and 50 cm

Z przebiegu terminowych wartości temperatury w glebie bez roślin i pod żytem wynikało, że o godzinie 8 temperatura do głębokości 20 cm była prawie jednakowa, największe różnice pomiędzy 4 głębokościami występowały o godzinie 14 (rys. 4). Największe dobowe różnice w temperaturze zaznaczyły się w glebie nieporośniętej między głębokościami 5 i 50 cm. Wyniosły one, średnio w sezonie wegetacyjnym, 3,2°C w roku 2002 i 3,7°C w roku 2003. W tych samych okresach średnie różnice temperatury gleby pod żytem były mniejsze i wyniosły odpowiednio: 2,2 i 2,4°C. Natomiast najmniejsze różnice, zarówno w glebie nieporośniętej i pod żytem notowano między głębokościami 5 i 10 cm. Średnio z dwóch lat wyniosły one 0,9 i 0,3°C. Wielkość przeciętnych różnic między głębokościami 5 i 10 cm oraz 10 i 20 cm jest zbliżona, zwiększa się znacznie dopiero między głębokościami 20 i 50 cm. Roślina modyfikuje przebieg temperatury gleby wpływając na zmniejszenie dobowej amplitudy [1,2,4,8,14]. Pod żytem temperatura gleby była, w stosunku do gleby bez roślin, przeciętnie niższa o 1,2°C na głębokości 5 cm i 0,5°C na głębokości 10 cm. Na większych głębokościach (20 i 50 cm) różnice średniej temperatury (obliczonej z dwóch lat badań) zatarły się.

Na wielkość różnic temperatury gleby pomiędzy poszczególnymi głębokościami ma wpływ przebieg pogody, co można zaobserwować w dobowym przebiegu temperatury. Wyraźne zmniejszanie się różnic temperatury gleby na 4 głębokościach miało miejsce w dniach 28 czerwca i 22 lipca 2002 roku oraz 21 czerwca 2003 roku (rys. 5). Spowodowane to było niską temperaturą powietrza i małym parowaniem oraz wysokim (w roku 2003) opadem. Natomiast w dniach z wysoką temperaturą, dużym parowaniem i prędkością wiatru oraz brakiem opadów (np. od 25 maja do 18 czerwca 2003 r.), średnie dobowe różnice temperatury gleby pomiędzy głębokościami 5 i 50 cm, zarówno pod żytem, jak i w glebie nieporośniętej, były bardzo duże, w skrajnych przypadkach osiągnęły wartości 6,8 i 7°C (5 czerwiec).

W tabeli 3 zamieszczono równania regresji do określania temperatury gleby na różnych głębokościach na podstawie elementów meteorologicznych. Otrzymano wysokie wartości współczynników determinacji, zwłaszcza dla gleby pod żytem, od 92,6 na głębokości 20 cm do 93,2% na głębokości 10 cm, co wskazuje na buforującą rolę czynnika biologicznego [1]. Największą rolę w kształtowaniu temperatury gleby nieporośniętej i pod żytem odgrywa temperatura powietrza mierzona na standardowej wysokości 200 cm n.p.g., co podkreślają również inni autorzy [4,5,9,13]. Czynniki energetyczne (promieniowanie i wiatr) najbardziej oddziałują na termikę ugoru w najpłytszej warstwie – 5 i 10 cm, natomiast opad atmosferyczny, obok temperatury powietrza, wpływa na termikę gleby porośniętej żytem, ale jego wpływ w sumarycznym oddziaływaniu czynników atmosferycznych w głębszych warstwach (od głębokości 20 cm) jest nieistotny statystycznie. Temperatura gleby pod ugiem i pod żytem na głębokości 50 cm zależy przede wszystkim od temperatury powietrza z 200 cm n.p.g., ale wartość predykcyjna równań regresji jest mniejsza, gdyż współczynniki determinacji R^2 wyniosły odpowiednio 76,1 i 80,4%.



Rys. 4. Przebieg temperatury gleby nieporośniętej na 4 głębokościach: 5, 10, 20 i 50 cm w godzinach 02⁰⁰, 08⁰⁰, 14⁰⁰, 20⁰⁰, w okresie 11.05-29.07.2002

Fig. 4. The course of fallow soil temperature at four depths of 5, 10, 20 and 50 cm at 02⁰⁰, 08⁰⁰, 14⁰⁰, 20⁰⁰, in the period from 11th May to 29th July 2002

Tabela 3. Równania regresji dla zależności dobowej temperatury gleby nieporośniętej i pod żytem, na głębokościach 5, 10, 20, 50 cm od elementów meteorologicznych, w okresie 11.05-29.07.2002 oraz 04.05-30.07. 2003

Table 3. Equations of regression for the 24 hour relationship of temperature in the fallow soil and in the soil with rye at the depths of 5, 10, 20 and 50 cm and meteorological elements in the period from 11th May to 29th July 2002 and from 4th May to 30 July, 2003

Równania regresji – Equations of regression	R ²
Gleba nieporośnięta – Fallow soil	
5 cm	
$y = 3,601 + 0,105x_3^{**} + 0,097x_5^{**} + 0,0002x_6^{**} + 0,327x_7^{**} + 0,294x_8^{**} - 0,358x_{11}^{**}$	92,9
$y = 4,382 + 0,462x_0^{**} + 0,319x_1^{**}$	84,1
10 cm	
$y = 4,596 + 0,135x_3^{**} + 0,106x_5^{**} + 0,259x_7^{**} + 0,277x_8^{**} - 0,289x_{11}^{**}$	90,8
$y = 4,347 + 0,485x_1^{**} + 0,141x_3^{**} + 0,141x_5^{**}$	83,5
20 cm	
$y = 4,070 + 0,154x_3^{**} + 0,119x_5^{**} + 0,278x_7^{**} + 0,165x_8^{**}$	89,5
$y = 3,485 + 0,187x_0^{**} + 0,242x_1^{**} + 0,076x_2^{**} + 0,114x_3^{**} + 0,117x_5^{**}$	89,8
50 cm	
$y = 4,630 + 0,072x_0^{*} + 0,112x_1^{*} + 0,102x_2^{*} + 0,134x_3^{**} + 0,167x_5^{**}$	76,1
Żyto – Rye	
5 cm	
$y = 0,505 + 0,397x_0^{**} + 0,306x_1^{**} + 0,137x_3^{**} + 0,109x_5^{**} - 0,056x_9^{**} - 0,043x_{10}^{*}$	92,8
$y = 0,839 + 0,386x_0^{**} + 0,383x_1^{**} + 0,154x_5^{**}$	90,6
10 cm	
$y = 0,709 + 0,306x_0^{**} + 0,338x_1^{**} + 0,151x_3^{**} + 0,125x_5^{**} - 0,045x_9^{**} - 0,033x_{10}^{*}$	93,2
$y = 0,576 + 0,297x_0^{**} + 0,358x_1^{**} + 0,148x_3^{**} + 0,119x_5^{**}$	92,7
20 cm	
$y = 0,984 + 0,206x_0^{**} + 0,324x_1^{**} + 0,073x_2^{*} + 0,130x_3^{**} + 0,139x_5^{**}$	92,6
50 cm	
$y = 3,334 + 0,279x_1^{**} + 0,196x_3^{**} + 0,189x_5^{**}$	80,4

x_0 – temperatura powietrza (200 cm n.p.g.) w dniu pomiaru – air temperature (200 cm above the ground) on the day of measurement,

x_1 – temperatura powietrza (200 cm n.p.g.) 1 dzień przed pomiarem – air temperature (200 cm above the ground) one day before the measurement,

x_2 – temperatura powietrza (200 cm n.p.g.) 2 dni przed pomiarem – air temperature (200 cm above the ground) two days before the measurement,

x_3 – temperatura powietrza (200 cm n.p.g.) 3 dni przed pomiarem – air temperature (200 cm above the ground) three days before the measurement,

x_4 – temperatura powietrza (200 cm n.p.g.) 4 dni przed pomiarem – air temperature (200 cm above the ground) four days before the measurement,

x_5 – temperatura powietrza (200 cm n.p.g.) 5 dni przed pomiarem – air temperature (200 cm above the ground) five days before the measurement,

x_6 – promieniowanie w dniu pomiaru – radiation on the day of measurement,

x_7 – temperatura powietrza 5 cm nad powierzchnią nieporośniętą w dniu pomiaru – air temperature 5 cm above the fallow soil on the day of measurement,

x_8 – temperatura powietrza 5 cm nad powierzchnią nieporośniętą 1 dzień przed pomiarem – air temperature 5 cm above the fallow soil one day before the measurement,

x_9 – opad atmosferyczny 2 dni przed pomiarem – atmospheric precipitation two days before the measurement,

x_{10} – opad atmosferyczny 3 dni przed pomiarem – atmospheric precipitation three days before the measurement,

x_{11} – prędkość wiatru w dniu pomiaru – speed of wind on the day of measurement.

Istnieje również ścisły związek między temperaturą gleby pod ugorem i pod żytem. Najwyższa zależność ($R^2 = 97$) zachodziła na głębokości 50 cm, a najniższa – ($R^2 = 92,7$) na głębokości 20 cm. Stąd mając wyniki pomiarów temperatury z gleby nieporośniętej można określać temperaturę gleby pod żytem, przy błędzie estymacji nieprzekraczającym $0,7^\circ\text{C}$.

WNIOSKI

1. Najściślejsze związki temperatury gleby na głębokości 5 cm (bez roślin i pod żytem) zachodziły z temperaturą powietrza mierzoną w dniu pomiaru. Na głębokościach 10 i 20 cm najlepiej te związki opisywała temperatura powietrza z dnia poprzedzającego pomiar, a na głębokości 50 cm – temperatura powietrza zmierzona 2 dni przed pomiarem temperatury gleby.

2. Z elementów wilgotnościowych najsilniejszy, dodatni związek z temperaturą gleby wykazywały, niedosyt wilgotności powietrza oraz parowanie wskaźnikowe.

3. Wpływ elementów meteorologicznych na temperaturę gleby pod żytem okazał się największy w fazie pełnia kłoszenia – koniec kwitnienia.

4. W dobowym przebiegu temperatury w glebie nieporośniętej, największą średnią amplitudę obserwowano na głębokości 5 cm, z maksimum o godzinie 16. i minimum o godzinie 5. Na głębokości 50 cm dobowa amplituda zanikła niemal zupełnie.

5. Z przebiegu terminowych wartości temperatury w glebie bez roślin i pod żytem wynikało, że o godzinie 8⁰⁰ temperatura do głębokości 20 cm była prawie jednakowa, największe różnice pomiędzy 4 głębokościami występowały o godzinie 14⁰⁰.

6. Roślina modyfikuje przebieg temperatury gleby wpływając na zmniejszenie dobowej amplitudy. Pod żytem temperatura gleby na głębokości 5 cm była, w stosunku do gleby bez roślin, niższa przeciętnie o $1,2^\circ\text{C}$, a na głębokości 10 cm – o $0,5^\circ\text{C}$. Na większych głębokościach (20 i 50 cm) różnice średniej temperatury były niewielkie.

7. Zachodzące związki statystyczne między temperaturą gleby nieporośniętej i pod żytem (R^2 od 92,7 do 97 w zależności od głębokości) dają podstawę do pośredniego określania temperatury gleby pod żytem uprawianego na glebie lekkiej, w kompleksie żytnim dobrym i bardzo dobrym, na podstawie standardowych pomiarów temperatury gleby nieporośniętej.

PIŚMIENNICTWO

1. **Bryś K.:** Wieloletnia zmienność termiki gleby we Wrocławiu-Swojcu i jej radiacyjne i cyrkulacyjne uwarunkowania. *Acta Agrophysica*, 3 (2), 209-219, 2004.
2. **Czarnecka M.:** Przebieg temperatury gleby pod ziemniakami średniowczesnymi oraz jęczmieniem jarym na stacji agrometeorologicznej w RZD Lipki k. Stargardu Szczecińskiego Szczecińskiego latach 1963-1974. *Zesz. Nauk. AR*, 61, Szczecin, 1977.
3. **Kaczorowska Z.:** Opady w Polsce w przekroju wieloletnim. *Prace Inst. Geogr.*, Warszawa, 1962.
4. **Kang S., Kim S.Oh., Lee D.:** Predicting spatial and temporal patterns of soil temperature based on topography, surface cover and air temperature. *Forest Ecol. and Manag.*, 136, 173-184, 2000.
5. **Kapuściński J.:** Próba określenia warunków termicznych gleby temperaturą powietrza. *Roczn. Glebozn.*, 42, 1/2, 17-26, 1991.
6. **Koźmiński C., Michalska B., Nidzgorzka-Lencewicz J.:** Warunki meteorologiczne kształtujące uwilgotnienie gleby pod ziemniakiem w stacji agrometeorologicznej w Lipkach w latach 1998 i 1999. *Acta Agrophysica*, 84, 75-93, 2003.
7. **Koźmiński C., Michalska B.:** Klimatyczna charakterystyka rejonu stacji agrometeorologicznej w Lipkach k. Stargardu szczecińskiego. *AR Szczecin*, s. 84, 2000.
8. **Koźmiński C., Michalska B.:** Określanie temperatury gleby pod jęczmieniem jarym na podstawie standardowych danych meteorologicznych. *Roczn. Gleb.*, T.XLII, 1/2, s. 5-16, Warszawa, 1991.
9. **Koźmiński C.:** Kształtowanie się temperatury gleby na głębokości 5 cm na stacji agrometeorologicznej w Lipkach k/Stargardu Szczecińskiego Szczecińskiego zależności od czynników meteorologicznych. *Zesz. Nauk. AR, Roln. XXX – Ser. Przyr.*, 81-92, Szczecin, 1983.
10. **Licznar P., Rojek M.:** Ocena warunków termicznych profilu glebowego przy wykorzystaniu sztucznych sieci neuronowych. *Acta Agrophysica*, 3(2), 317-323, 2004
11. **Matthias A.D., Warrick A.W.:** Simulation of soil temperature with sparse data. *Soil Science*, 144(6), 1987.
12. **Mihalakakou G.:** On estimating soil surface temperature profiles. *Energy & Buildings*, 34, 251-259, 2001.
13. **Plauborg F.:** Simple model for 10 cm soil temperature in different soils with short grass. *European Journal of Agronomy*, 17, 173-179, 2001.
14. **Yihua Wu, Perry K.B., Ristaino J.B.:** Estimating temperature of mulched and bare soil from meteorological data. *Agric. And Forest Meteor.*, 81, 299-323, 1996.

METEOROLOGICAL ELEMENTS RESPONSIBLE
FOR THE TEMPERATURE OF FALLOW SOIL AND SOIL WITH RYE
AT THE AGROMETEOROLOGICAL STATION LIPKI

Bożena Michalska, Jadwiga Nidzgorska-Lencewicz

Department of Meteorology and Climatology, University of Agriculture
ul. Pawła VI 3, 71-434 Szczecin,
e-mail: bmichalska@agro.ar.szczecin.pl

Abstract. The study presents the results of automatic hourly measurements of the temperature of fallow taken at 02⁰⁰, 08⁰⁰, 14⁰⁰, 20⁰⁰ and soil with rye at four depths of 5, 10, 20 and 50 cm in two vegetation seasons: 2002 and 2003, and 24-hour results of measurements of meteorological elements. The relation between the temperature of soil and meteorological elements was determined by means of linear regression. The temperature of soil showed the closest relation to the temperature of air at 200 cm above the ground, then there was insufficiency of humidity and then indicative evaporation from the Wild evapometer. The close relationship between the fallow soil and the soil with rye makes it possible to determine the temperature with rye at various depths on the basis of standard measurements of fallow soil.

Key words: soil temperature, fallow, rye, meteorological elements, forecasts