

JANUSZ KAPUŚCIŃSKI

PRÓBA OKREŚLENIA WARUNKÓW TERMICZNYCH GLEBY  
TEMPERATURĄ POWIETRZA

Zakład Agrometeorologii Akademii Rolniczej w Poznaniu

## WSTĘP

Znajomość temperatury gleby jest niezbędna w wielu pracach badawczych dotyczących rejonizacji przyrodniczej, np. rejonizacja bonitacyjna siedlisk rolniczych, klasyfikacja gleboznawcza lub badania mikroklimatyczne. Niestety, w polskich publikacjach mamy niewiele danych dotyczących temperatury gleby, natomiast dane na temat temperatury powietrza na wysokości 2 m są szeroko dostępne.

W pracy niniejszej wykonano próbę określenia związku temperatury gleby z temperaturą powietrza na podstawie średnich dekadowych wartości tych elementów za lata 1961—1970 dla okresu wegetacyjnego, tj. od trzeciej dekady marca do trzeciej dekady października włącznie.

Podobną próbę oszacowania temperatury gleby na podstawie temperatury powietrza dla naszej szerokości geograficznej podjął Volobujew [2].

Związek temperatury gleby z temperaturą powietrza badano na czarnym ugorze, gdyż na obszarach rolniczych gleba w ciągu roku pozostaje dość długo bez roślinności. W przypadku roślin okopowych był to kwiecień i maj, a w przypadku zbóż — część sierpnia oraz wrzesień i październik. Wyniki uzyskane w tych warunkach mogą być reprowe i stanowić punkt odniesienia dla przyszłych prac badawczych prowadzonych w podobnym zakresie. Pozwoli to stwierdzić, w jakim stopniu rośliny modyfikują procesy wymiany ciepła w przypowierzchniowych warstwach powietrza i gleby. Dla zweryfikowania opracowanych związków na podstawie niezależnych danych pomiarowych powstała konieczność wyboru odpowiednich obiektów badawczych, zlokalizowanych na różnych glebach w podobnych warunkach klimatycznych, oraz jednego obiektu o odmiennych warunkach klimatycznych.

Taki tok postępowania może wykazać, czy różne gleby oddziałują w sposób istotny na wymianę ciepła między glebą a przygrunтовую warstwą powietrza.

Analizując warunki klimatyczno-glebowe stacji agrometeorologicznych, zdecydowano się na wybór trzech obiektów, zlokalizowanych na różnych rodzajach gleb, mianowicie stacje agrometeorologiczne Przebędowo, Brwinów i Mikołajki. Charakterystykę gleboznawczą udostępnił Zakład Agrometeorologii IMGW z Warszawy. Wszystkie trzy stacje znajdują się na różnych glebach, mianowicie: Przebędowo — gleby płowe, Brwinów — czarne ziemie, Mikołajki — gleby brunatne. Istotny jest fakt prowadzenia pomiarów meteorologicznych na wszystkich trzech stacjach według jednej wspólnej instrukcji (Instrukcja dla stacji meteorologicznych, Warszawa 1962).

Na początku badań przeanalizowano związki między wartościami temperatury gleby na różnych głębokościach a wartościami temperatury powietrza (2 m) oddzielnie dla stacji w Przebędowie i Brwinowie. W analizie wykorzystano średnie dekadowe wartości temperatury gleby z głębokości 0,1 0,2, 0,5 i 1,0 m oraz odpowiadające im średnie dekadowe wartości temperatury powietrza. Przybliżone wartości temperatury z wierzchniej warstwy gleby (0—0,01 m) odczytano dla poszczególnych dekad z wykonanych uprzednio wykresów pionowego rozkładu temperatury gleby. Związek między temperaturą gleby a temperaturą powietrza określono równaniem prostej, obliczonym metodą najmniejszych kwadratów. W celu usprawnienia istotności poszczególnych związków obliczono współczynnik korelacji prostoliniowej oraz średni błąd oszacowania wartości przeciętnej i pojedynczej. Następnie stosując test Studenta sprawdzono, czy nie ma różnicy między współczynnikami nachylenia prostych regresji opisujących związek temperatury powietrza z temperaturą gleby w Brwinowie i Przebędowie. Jeżeli hipoteza równości dwóch współczynników nachylenia prostych regresji została potwierdzona, sprawdzono czy odległości między prostymi (dla wartości średnich) nie różnią się w sposób istotny. Jeżeli i ta hipoteza została potwierdzona, obliczono wspólne równanie dla obydwu miejscowości.

W wyniku pomiarów przeprowadzonych na stacji meteorologicznej w Przebędowie i wykonanych obliczeń dysponowano średnimi dekadowymi wartościami temperatury powietrza (2 m) oraz odpowiednimi wartościami temperatury gleby z poszczególnych głębokości (po 220 par danych). Wstępna analiza zgromadzonego materiału pomiarowego wykazała, że funkcja będzie miała przebieg prostoliniowy o postaci ogólnej:

$$\bar{T}_g = a\bar{t} + b \quad (1)$$

gdzie:

$\bar{t}$  — średnia dekadowa temperatura powietrza na wysokości 2 m,  
 $\bar{T}_z$  — średnia dekadowa temperatura gleby z danej głębokości.

Obliczono więc za pomocą metod statystyki matematycznej (Volk [1]) szeregowe równania regresji dla odpowiednich zbiorów danych  $\bar{T}_z$  i  $\bar{t}$ . Wyznaczono również współczynniki korelacji  $r$  oraz błędy oszacowania wartości przeciętnej  $s_{\bar{y}}$  i oszacowania wartości pojedynczej  $s_{y_1}$ .

Z danych zawartych w tabeli 1 wynika, że wartości liczbowe współczynników równania  $a$  zmniejszają się wraz z głębokością, natomiast

Tabela 1

Charakterystyka statystyczna związków temperatury gleby z różnych głębokości z temperaturą powietrza dla Przebędowa

Statistical characteristics of relationships between the soil temperature at various depths and the air temperature for Przebędowo

Głębokość Depth m	Wartości współczynników równania (1) Values of the equation (1) coefficients							Numer równania Equation No.
	$a$	$b$	$r$	$t$	$T'_z$	$\pm s_{\bar{y}}$	$\pm s_{y_1}$	
0,01	1,16	-0,80	0,984	13,23	14,58	0,068	1,010	2
0,10	1,13	-0,81	0,987	13,23	14,12	0,060	0,880	3
0,20	1,08	-0,45	0,981	13,23	13,76	0,069	1,020	4
0,50	0,97	0,84	0,948	13,23	13,38	0,105	1,560	5
1,00	0,82	2,28	0,842	13,23	13,19	0,172	2,540	6

$N = 220$

Równania 2-6 ważne są w przedziale  $0^\circ\text{C} \leq t \leq 24^\circ\text{C}$ .

Equations 2-6 are valid in the interval  $0^\circ\text{C} \leq t \leq 24^\circ\text{C}$ .

wartości współczynników  $b$  zwiększają się. Potwierdza to coraz mniejsza zmienność temperatury gleby z głębokością poniżej powierzchni gleby. Przeanalizowano to zjawisko nanosząc na wykres wartości liczbowe współczynników równania  $a$  w funkcji głębokości, a zbiór punktów zastąpiono równaniem prostym.

Ekstrapolując ważność równania poza głębokość równą 1,0 m, obliczono, że wartość współczynnika  $a$  równa zeru wystąpiła na głębokości 3,41 m, co oznaczałoby, że do tej głębokości sięgają dekadowe wahania temperatury. Zmniejszenie się wartości współczynnika  $a$  jest równoznaczne z malejącym oddziaływaniem temperatury powietrza na temperaturę gleby i odwrotnie przy wzrastających głębokościach.

Podobnie jak dla Przebędowa obliczono równanie regresji poszczególnych zbiorów dla Brwinowa.

Z danych z tabeli 2 wynika, że wartości liczbowe współczynników równania  $a$  zmniejszają się wraz z głębokością, a wartości  $b$  zwiększają

Tabela 2

Charakterystyka statystyczna związków temperatury gleby z różnych głębokości z temperaturą powietrza dla Brwinowa  
 Statistical characteristics of relationships between the soil temperature at various depths and the air temperature for Brwinów

Głębokość Depth m	Wartości współczynników równania (1) Values of the equation (1) coefficients							Numer równania Equation No.
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r</i>	<i>t</i>	$T'_z$	$\pm s_{\bar{y}}$	$\pm s_{\bar{y}_i}$	
0,01	1,13	-0,79	0,988	13,22	14,15	0,058	0,860	7
0,10	1,10	-0,67	0,986	13,22	13,90	0,061	0,908	8
0,20	1,06	-0,37	0,976	13,22	13,64	0,078	1,160	9
0,50	0,97	0,44	0,933	13,22	13,21	0,122	1,820	10
1,00	0,79	1,81	0,850	13,22	12,25	0,161	2,390	11

N = 220.

Równania 7-9 ważne są w przedziale  $0^{\circ}\text{C} \leq t \leq 24^{\circ}\text{C}$ .

Equations 7-9 are valid in the interval  $0^{\circ}\text{C} \leq t \leq 24^{\circ}\text{C}$ .

się podobnie jak w Przebądowie. Również i w tym przypadku nanie-siono na wykres wartości współczynników *a* w funkcji głębokości, zaś zbiór punktów zastąpiono równaniem prostej. Ekstrapolując ważność równania poza głębokość 100 cm obliczono, że współczynnik *a* osiąga wartość 0 na głębokości 332 cm, co oznaczałoby, że do tej głębokości sięgają dekadowe wahania temperatury. Analogicznie jak w Przebądowie można zaobserwować zmniejszenie się wartości współczynnika korelacji *r* z głębokością.

#### WERYFIKACJA UZYSKANYCH WYNIKÓW BADAŃ

Metoda szacowania temperatury gleby na podstawie zmierzonej temperatury powietrza, zaproponowana dla warunków Przebądowa i Brwinowa, jest metodą empiryczną i jako taka jest w zasadzie ważna tylko dla warunków prowadzonych badań. Gdyby jednak została zweryfikowana w odmiennych warunkach przy wykorzystaniu niezależnych danych pomiarowych, można by dopuścić jej wykorzystanie także poza obszarem tych dwóch stacji, o ile by tylko warunki terenowe (środowiskowe) nie odbiegały w sposób istotny od tych, w których badania zostały przeprowadzone.

Ogólnie biorąc istnieją co najmniej dwie podstawowe metody weryfikacji uzyskanych wyników badań:

1. Weryfikacja uzyskanych wyników na podstawie danych wykorzystanych w procesie identyfikacji współczynników równań (dane zależne).

2. Weryfikacja uzyskanych wyników na podstawie niezależnych danych pomiarowych nie wykorzystanych w procesie identyfikacji współczynników.

W przypadku tej drugiej metody istnieją także co najmniej dwa różniące się między sobą warianty weryfikacji, mianowicie:

*Wariant a.* Ustalone w badaniach równania wykorzystuje się w odmiennych warunkach do oszacowania wartości proponowanej (w danym przypadku do oszacowania temperatury gleby) i na podstawie analizy wielkości błędu wnioskuje się o „trafności” prognozy, a tym samym o możliwości zastosowania równania także poza obszarem, dla którego zostało ustalone.

*Wariant b.* Równania ustalone w wyniku badań dla różnych punktów (stacji agrometeorologicznych) podlegają wzajemnej weryfikacji przy wykorzystaniu hipotezy zerowej  $H_0$  oraz testu  $F$  (lub testu Studenta) dla wyjaśnienia, czy współzależności w badanych grupach są podobne. W przypadku spełnienia hipotezy  $H_0$  istnieje możliwość wyznaczenia jednego generalnego równania, co jest równoznaczne z pewnym uogólnieniem uzyskanych wyników badań.

W niniejszej pracy zastosowano obie metody weryfikacji (1 i 2) oraz wariant b wraz z próbą pewnej generalizacji uzyskanych rezultatów.

Wykorzystując hipotezę  $H_0$  oraz test Studenta  $t_s$ , wykonano niezbędne obliczenia statystyczne (Volk [1]) dla zweryfikowania podobieństwa związków  $T'_z = f(t)$  ustalonych w badanych grupach, to jest w Przebie-dowie i w Brwinowie. Należało przede wszystkim wyjaśnić, czy proste regresji uzyskane dla warunków tych stacji są równoległe i czy nie różnią się istotnie odległościami.

Analiza statystyczna dotyczyła więc istotności różnic między równaniami określającymi temperaturę gleby na różnych głębokościach na podstawie temperatury powietrza w warunkach wymienionych stacji.

Przeprowadzone obliczenia pozwoliły na stwierdzenie, że proste regresji, umożliwiające obliczenie temperatury gleby na głębokościach 0,01, 0,1, 0,2 i 0,5 m, są w przypadku obu grup (stacji) równoległe i nie różnią się w sposób istotny odległościami. Stwierdzono to przy 436 stopniach swobody na poziomie istotności  $P = 0,05$ . Pozwala to na wyznaczenie 4 generalnych równań regresji, które można będzie wykorzystać na obu stacjach do oszacowania temperatury gleby na podstawie znanej (zmierzonej) temperatury powietrza.

Jedyna istotna różnica wystąpiła między równaniami ustalonymi do oszacowania na obu stacjach temperatury gleby na głębokości 1,0 m. Wyniki obliczeń testowych przedstawiono w tabeli 3, natomiast wartości liczbowe współczynników  $a, b$  równań zgeneralizowanych, wraz z niektórymi statystykami zamieszczono w tabeli 4. W tabeli tej  $\pm t_{s, \bar{u}}$

Tabela 3

Tablica statystyczna dla testu Studenta  
Statistical table for the Student's test

Głębokość Depth m	Wartość obliczona $t_{obit}$ . — Calculated value $t_{obit}$	
	dla współczynnika regresji for regression coefficient	dla średnich for means
0,01	1,61	0,80
0,10	1,69	0,43
0,20	1,23	0,28
0,50	1,12	0,34
1,00	0,61	2,14

Wartość tab. testu Studenta ( $t_0$ ) — value of Student's test tab. ( $t_0$ ) = 1,97.

Tabela 4

Charakterystyka statystyczna związków temperatury gleby z różnych głębokości z temperaturą powietrza (równania zgeneralizowane)

Statistical characteristics of relationships between the soil temperature at different depths and the air temperature (generalized equations)

Głębokość Depth m	Wartości współczynników równania						Numer równania Equation No.	
	Values of the equations coefficients							
	$a$	$b$	$r$	$t$	$T'_z$	$\pm s_{\bar{y}}$		$\pm t_{s_{\bar{y}}}$
0,01	1,14	-0,72	0,970	13,23	14,36	0,045	0,089	12
0,10	1,11	-0,67	0,971	13,23	14,01	0,043	0,085	13
0,20	1,07	-0,44	0,975	13,23	13,71	0,039	0,077	14
0,50	1,03	-0,33	0,884	13,23	13,30	0,081	0,169	15

N = 440.

to szerokość przedziału ufności oszacowania wartości średniej. Pozostałe oznaczenia jak w tabeli 2. Jest rzeczą oczywistą, że wariant b weryfikacji można wykorzystać również do wyjaśnienia podobieństwa związków występujących w trzech grupach lub w większej liczbie grup. W związku z powyższym zastosowano tę metodę do sprawdzenia, czy istnieje możliwość wyznaczenia — dla poszczególnych głębokości — jednego generalnego równania, które charakteryzowałoby ogólny przebieg zjawiska na trzech badanych stacjach (Brwinów, Przebędowo, Mikołajki).

W celu sprawdzenia czy dla głębokości 0,1, 0,2 i 0,5 m można przeprowadzić jedną wspólną prostą regresji dla trzech analizowanych stacji wykonano analizę wariancji, w której postawiono dwie hipotezy:

1)  $H_0$ : nie ma różnicy pomiędzy nachyleniami prostych przechodzących przez poszczególne zbiory;

2)  $H_0$ : odległości między prostymi regresji nie różnią się między sobą w sposób istotny (nie ma różnicy pomiędzy wyrazami wolnymi w równaniach regresji).

Dla głębokości 0,2 m stosunek średniego kwadratu odchyień między nachyleniami do średniego kwadratu błędu obliczony w analizie wynosi  $0,945/1,219 = 0,775$  i jest mniejszy od tabelarycznej wartości  $F_{3,522} = 3,01$ ; świadczy to o tym, że nie ma istotnej różnicy między nachyleniami prostych przechodzących przez trzy zbiory. Stosunek średniego kwadratu błędu różnicy między nachyleniami średnich a nachyleniem łącznym wynosi 0,091 i jest mniejszy od tabelarycznej wartości  $F$  przy 1 i 522 stopni swobody równym 3,86. Świadczy to o tym, że nie ma istotnej różnicy w odległościach między średnimi poszczególnych zbiorów. Te dwa fakty upoważniają nas do przeprowadzenia jednej prostej regresji przez wszystkie trzy zbiory. Prosta ta ma postać:

$$T'_{20} = 1,06 t - 0,30 \quad (2)$$

gdzie:

$\bar{T}'_{20}$  — średnia dekadowa temperatura gleby na głębokości 0,2 m ( $^{\circ}\text{C}$ ),

$\bar{t}$  — średnia dekadowa temperatura powietrza na wysokości 2,0 m ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Współczynnik korelacji  $r$  dla powyższego równania wynosi 0,978, a błąd oszacowania wartości średniej  $\pm s_{\bar{T}'_{20}} = 0,048^{\circ}\text{C}$ . Stosując powyższe równanie, można oszacować temperaturę gleby na głębokości 0,2 m w przedziale od 0,5 do  $23^{\circ}\text{C}$  na podstawie temperatury powietrza z 2 m w warunkach wszystkich trzech stacji i dla innych miejsc o podobnych warunkach klimatyczno-glebowych.

Dla głębokości 0,5 m stosunek średniego kwadratu odchyień między nachyleniami do średniego kwadratu błędu wynosi 0,518 i jest mniejszy od tabelarycznej wartości  $F_{2,522} = 3,01$ ; świadczy to o tym, że nie ma różnicy między nachyleniami prostych. Stosunek średniego kwadratu błędu różnicy między nachyleniami średnich a nachyleniem łącznym wynosi 0,223 i jest mniejszy od tabelarycznej wartości  $F_{1,522} = 3,86$ . Nie ma więc różnicy między średnimi poszczególnych zbiorów. To upoważnia nas do przeprowadzenia jednej wspólnej prostej przez trzy zbiory. Równanie to ma postać:

$$\bar{T}'_{50} = 0,98 \bar{t} + 0,319 \quad (3)$$

gdzie:

$\bar{T}'_{50}$  — średnia dekadowa temperatura gleby na głębokości 0,5 m ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Współczynnik korelacji  $r = 0,941$ , natomiast błąd oszacowania wartości przeciętnej  $\pm s_{\bar{T}'_{50}} = 0,075^{\circ}\text{C}$ . Powyższe równanie pozwala nam oszacować temperaturę gleby na głębokości 0,5 m na podstawie znajomości średniej dekadowej temperatury powietrza mierzonej na standardowej sieci stacji IMGW (przedział ważności od 0,3 do  $23,7^{\circ}\text{C}$ ).

Negatywny wynik uzyskano w przypadku analizy wariancji dotyczącej związku temperatury gleby z 0,1 m głębokości i temperatury powietrza łącznie dla trzech stacji. Można natomiast dla głębokości 0,1 m napisać równanie dla dwu stacji, mianowicie dla Brwinowa i Przebędowa (tab. 4) oraz dla Brwinowa i Mikołajek. W przypadku związku ustalonego dla Brwinowa i Mikołajek uzyskano poniższe charakterystyki statystyczne: wartość tabelaryczna  $t_s$  wynosi 1,97, natomiast wartości obliczone  $t_0$  dla współczynnika regresji równają się 1,74, a dla średnich 1,11. Upoważnia to nas do przeprowadzenia jednej wspólnej prostej regresji przez dwa zbiory. Równanie to ma postać:

$$\bar{T}'_{10} = 1,11 \bar{t} - 0,69 \quad (4)$$

gdzie:

$\bar{T}'_{10}$  — średnia dekadowa temperatura gleby na głębokości 0,1 m.

Współczynnik korelacji  $r = 0,971$ , natomiast błąd oszacowania wartości przeciętnej  $\pm s_{T'_{10}} = 0,054^\circ\text{C}$ .

Wyniki przeprowadzonej analizy świadczą o tym, że związek między temperaturą powietrza i gleby zależy w większej mierze od warunków klimatycznych przygruntowej warstwy powietrza niż od warunków glebowych badanego obszaru. Właściwości fizyczne gleb Mikołajek i Przebędowa są bowiem bardzo podobne, natomiast warunki klimatyczne występujące na tych stacjach są różne. Dla tych miejscowości nie można ustalić jednego równania regresji dla głębokości 0,1 m. Natomiast warunki glebowe Przebędowa i Brwinowa są różne, lecz klimatycznie podobne. W tych warunkach zaistniała możliwość przyjęcia jednego wspólnego równania regresji dla głębokości 0,1 m ważnego dla obu stacji. Dla głębszych warstw gleby (0,2 i 0,5 m) można ustalić generalne równanie regresji umożliwiające oszacowanie temperatury gleby na tych głębokościach na podstawie znanej temperatury powietrza. Należy więc sądzić, że oddziaływanie warunków klimatycznych i glebowych jest nieistotne w przypadku związków ustalonych dla głębokości 0,2 i 0,5 m.

#### WNIOSKI

1. Można oszacować wartość temperatury gleby na głębokości 0,2 i 0,5 m na podstawie temperatury powietrza mierzonej w klatce meteorologicznej na wysokości 2 m według jednego równania w warunkach czarnego ugoru (poza terenem górskim).

2. Negatywny wynik uzyskano w przypadku analizy wariancji dotyczącej związku temperatury z głębokości 0,1 i 1 m z temperaturą powietrza (2 m) łącznie dla trzech stacji.

3. Warunki meteorologiczne przygruntowej warstwy powietrza mają większy wpływ na związek pomiędzy temperaturą powietrza i gleby niż czynnik glebowy.

#### LITERATURA

- [1] Volk W. Statystyka stosowana dla inżynierów. Wyd. Nauk. Tech. Warszawa 1973.
- [2] Volobujew W. R. Correlation between soil head regime and the land — adjacent air layer climate. Academy of Science of the USSR. Poczwo-wiedzenie 983, nr 2.

Я. Капусциński

#### ПОПЫТКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПОЧВЫ ТЕМПЕРАТУРОЙ ВОЗДУХА

Кафедра агрометеорологии, Сельскохозяйственная академия в Познани

#### Резюме

В работе предпринимается попытка определения связи между температурой воздуха и почвой. В анализе использованы средние декадные значения этих показателей для 1961—1970 гг. в вегетационный период, т.е. от третьей декады марта до третьей декады октября включительно. Работа основывалась на результатах измерений температуры проведенных в станциях Пшебендово, Брвинув, Миколайки. В районе этих станций выступают три разного вида почвы, соответственно палевые почвы, черные почвы и буроземы.

Успешно было проведено определение условий термичности почвы: температуру воздуха на глубине 0.2 м и 0.5 м совместно для трех станций в условиях черного пара.

J. KAPUŚCIŃSKI

#### AN ATTEMPT TO EVALUATE THERMAL SOIL CONDITIONS BY HELP OF AIR TEMPERATURE

Department of Agrometeorology, Poznań Academy of Agriculture

#### Summary

In the paper an attempt to evaluate relation between air and soil temperature has been made. Mean ten-day values of the elements from the period of 1961—1970 from the vegetation period i. e. since the third ten days of October included, have been used for the purpose of the analysis. The research has been

based upon the outputs of temperature measurements of three research points (Przebędowo, Brwinów, Mikołajki). In the neighbourhood of the stations there are three various types of soils (respectively soils lessive, black soils, brown soils).

An attempt to evaluate thermal soil conditions by help of air temperature has been respectively for the depths of 0.2 m and 0.5 m for the three points under the bare soil conditions.

*Prof. dr J. Kapuściński*  
*Katedra Agrometeorologii*  
*Akademia Rolnicza w Poznaniu*  
*61-740 Poznań, W. Witosa 45*

*Praca wpłynęła do redakcji we wrześniu 1990 r.*