

**Edward GAŚSIÓREK<sup>1</sup>, Elżbieta MUSIAŁ<sup>1</sup>, Joanna BUBNOWSKA<sup>1</sup>,  
Leszek ŁABĘDZKI<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Katedra Matematyki Akademii Rolniczej we Wrocławiu

<sup>1</sup>Department of Mathematics Agricultural University of Wrocław

<sup>2</sup>IMUZ, Bydgoszcz

## **Zmienność bilansu cieplnego ziemniaka w różnych regionach Polski\***

### **Variation of the heat balance of potatoes in different regions of Poland**

**Słowa kluczowe:** bilans cieplny, ziemniaki, strumień ciepła jawnego, strumień ciepła utajonego, opad, temperatura powietrza

**Key words:** heat balance, potatoes, sensible heat flux, latent heat flux, precipitation, air temperature

### **Wprowadzenie**

Dwie ostatnie dekady XX wieku charakteryzują się dużymi zmianami temperatury powietrza w Polsce (Trepieńska 1997, Lorenc 2000, Kozuchowski i Żmudzka 2001, Musiał i in. 2003, 2004, Kozuchowski 2004). Udowodniono w cytowanych wyżej pracach, rosnąca temperatura powietrza w różnych regionach Polski, szczególnie widoczna w ostatnim dwudziestoleciu, jest konsekwencją rosnących wartości ciepła jawnego przeznaczonego na ogrzanie

atmosfery. Strumień ciepła jawnego jest jedną ze składowych bilansu cieplnego, stąd zainteresowanie tą tematyką.

W pracy zanalizowano bilans cieplny powierzchni czynnej ziemniaka w okresie wegetacji (V–IX) w czterech zróżnicowanych regionach Polski: Bydgoszcz 1945–2004, Wrocław 1964–2000, Łódź 1954–1995 i Gorzów Wielkopolski 1970–1995.

Celem przeprowadzonych badań jest opis zmienności każdej ze składowych bilansu cieplnego powierzchni czynnej ziemniaka.

### **Metody badań**

Składniki bilansu cieplnego zostały wyznaczone za pomocą modelu BMC (Kędziora i in. 1989, Olejnik i Kędziora 1991, Olejnik 1996, Kędziora 1999). Model BMC wymaga znajomości nastę-

\*Praca naukowa finansowana ze środków Komitetu Badań Naukowych w latach 2004–2007 jako projekt badawczy.

pujących czynników meteorologicznych: temperatury powietrza [°C], prędkości wiatru [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ], ciśnienia pary wodnej [hPa] i usłonecznienia rzeczywistego [h].

Strukturę bilansu cieplnego można ująć następującym równaniem (Shuttleworth i Wallace 1985, Kędziora 1999, Kapuściński 2000):

$$R_n + LE + H + G = 0 \quad (1)$$

gdzie:

$R_n$  – saldo promieniowania [ $\text{W}/\text{m}^2$ ],  
 $G$  – strumień ciepła glebowego [ $\text{W}/\text{m}^2$ ],  
 $H$  – strumień ciepła jawnego [ $\text{W}/\text{m}^2$ ],  
 $LE$  – strumień ciepła utajonego [ $\text{W}/\text{m}^2$ ].

Przyjmuje się, że strumienie energii płynące w stronę powierzchni czynnej przyjmują znak dodatni, a płynące od powierzchni znak ujemny (Kędziora 1999).

W meteorologii bardzo ważną rolę pełni współczynnik Bowena (Bowen 1926). Kędziora i Olejnik (Olejnik i Kędziora 1991, Olejnik 1996) określili związek między współczynnikiem Bowena a pewnymi elementami meteorologicznymi i fazą rozwojową roślin:

$$\beta = \frac{12,75}{\frac{100(d\sqrt{v})^{\arctg(\frac{\pi}{2}f)}}{t(u+0,4)} + 3,7} - 0,02 \quad (2)$$

gdzie:

$d$  – niedosyt wilgotności powietrza [hPa],  
 $v$  – prędkość wiatru [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ],  
 $t$  – temperatura powietrza [°C],  
 $u$  – usłonecznienie względne,  
 $f$  – wskaźnik fazy rozwojowej rośliny.

Faza rozwojowa rośliny określona na podstawie kalendarza fenologicznego (Karliński i Kędziora 1968) jest liczbo-

wym opisem aktywności biologicznej rośliny w sezonie wegetacyjnym. Wartość wskaźnika fazy rozwojowej określa stopień rozwoju rośliny w danym momencie okresu wegetacji i waha się od 0 – dla nieporośniętej gleby, do 1 – dla roślin o w pełni wykształconej szacie roślinnej.

Strumień ciepła glebowego wyznacza się z równania (Olejnik i Kędziora 1991, Olejnik 1996, Kapuściński 2000):

$$G = -0,2R_n(1 - 0,75f) \sin\left[\frac{\pi}{6}(j - 2)\right]$$

gdzie  $j$  – numer miesiąca w roku.

Znając wartość współczynnika Bowena oraz strumień ciepła glebowego, oblicza się wartość strumienia ciepła utajonego ( $LE$ ) ze wzoru:

$$LE = -\frac{R_n + G}{(1 + \beta)} \quad (3)$$

Znając  $R_n$ ,  $LE$  oraz  $G$ , można wyznaczyć strumień ciepła jawnego ( $H$ ) z poniższej zależności:

$$H = -(R_n + LE + G) \quad (4)$$

## Wyniki badań

Pierwszym etapem badań była charakterystyka składowych bilansu cieplnego w okresie wegetacji ziemniaka (V–IX) w całym wieloleciu (tab. 1, 2).

Zmiany sezonowe salda promieniowania w wieloleciu w okresie wegetacji ziemniaka można scharakteryzować następująco: największe wartości  $R_n$  występują w czerwcu i lipcu, a najmniejsze

TABELA 1. Średnie dekadowe wartości składowych bilansu cieplnego w okresie wegetacji ziemniaka – Gorzów 1970–1995

TABLE 1. Components of heat balance for potatoes of vegetation period, Gorzów 1970–1995

| Dekada<br>Decade | $R_n$ | $-LE$ | $-G$ | $-H$ | $-LE/RN$ | $-H/RN$ | $-G/RN$ | $H/LE$ | $P_o$ |      |
|------------------|-------|-------|------|------|----------|---------|---------|--------|-------|------|
| V                | 1     | 98    | 42   | 19   | 37       | 0,44    | 0,37    | 0,20   | 0,87  | 11,7 |
|                  | 2     | 111   | 45   | 22   | 44       | 0,41    | 0,39    | 0,20   | 0,99  | 16,1 |
|                  | 3     | 120   | 49   | 23   | 48       | 0,41    | 0,39    | 0,19   | 0,97  | 19,3 |
| VI               | 1     | 121   | 54   | 19   | 48       | 0,45    | 0,39    | 0,16   | 0,88  | 24,8 |
|                  | 2     | 121   | 63   | 17   | 41       | 0,53    | 0,33    | 0,14   | 0,64  | 24,4 |
|                  | 3     | 125   | 79   | 14   | 32       | 0,63    | 0,26    | 0,11   | 0,41  | 19,8 |
| VII              | 1     | 130   | 99   | 6    | 25       | 0,77    | 0,19    | 0,04   | 0,25  | 16,2 |
|                  | 2     | 117   | 95   | 3    | 19       | 0,81    | 0,16    | 0,03   | 0,20  | 26,2 |
|                  | 3     | 115   | 94   | 3    | 18       | 0,82    | 0,16    | 0,03   | 0,20  | 18,3 |
| VIII             | 1     | 109   | 91   | 0    | 18       | 0,83    | 0,17    | 0,00   | 0,20  | 20,7 |
|                  | 2     | 95    | 79   | 0    | 16       | 0,83    | 0,17    | 0,00   | 0,22  | 15,0 |
|                  | 3     | 82    | 68   | 0    | 14       | 0,82    | 0,18    | 0,00   | 0,22  | 14,5 |
| IX               | 1     | 63    | 50   | -3   | 16       | 0,80    | 0,24    | -0,04  | 0,32  | 18,3 |
|                  | 2     | 50    | 35   | -4   | 19       | 0,70    | 0,38    | -0,08  | 0,55  | 13,1 |
|                  | 3     | 38    | 23   | -4   | 19       | 0,62    | 0,48    | -0,10  | 0,80  | 11,8 |

Oznaczenia:  $R_n$  – saldo promieniowania [ $W/m^2$ ],  $LE$  – gęstość strumienia ciepła utajonego [ $W/m^2$ ],  $G$  – gęstość strumienia ciepła glebowego [ $W/m^2$ ],  $H$  – gęstość strumienia ciepła odczuwalnego [ $W/m^2$ ],  $P_o$  – wieloletni opad średni [mm].

Explanations:  $R_n$  – net radiation [ $W/m^2$ ],  $LE$  – latent heat flux [ $W/m^2$ ],  $G$  – soil heat flux [ $W/m^2$ ],  $H$  – sensible heat flux [ $W/m^2$ ],  $P_o$  – mean long-term precipitation [mm].

TABELA 2. Średnie dekadowe wartości składowych bilansu cieplnego w okresie wegetacji ziemniaka, Łódź 1954–1995

TABLE 2. Components of heat balance for potatoes during the growing season (mean of ten-days), Łódź 1954–1995

| Dekada<br>Decade | $R_n$ | $-LE$ | $-G$ | $-H$ | $-LE/RN$ | $-H/RN$ | $-G/RN$ | $H/LE$ | $P_o$ |      |
|------------------|-------|-------|------|------|----------|---------|---------|--------|-------|------|
| V                | 1     | 98    | 43   | 19   | 36       | 0,44    | 0,36    | 0,20   | 0,84  | 13,9 |
|                  | 2     | 110   | 45   | 22   | 43       | 0,41    | 0,39    | 0,20   | 0,98  | 20,6 |
|                  | 3     | 116   | 49   | 23   | 44       | 0,42    | 0,38    | 0,19   | 0,93  | 19,9 |
| VI               | 1     | 125   | 55   | 20   | 50       | 0,44    | 0,40    | 0,16   | 0,91  | 20,7 |
|                  | 2     | 124   | 65   | 18   | 41       | 0,53    | 0,32    | 0,14   | 0,62  | 23,8 |
|                  | 3     | 124   | 81   | 14   | 29       | 0,66    | 0,23    | 0,11   | 0,36  | 25,6 |
| VII              | 1     | 128   | 100  | 5    | 23       | 0,78    | 0,17    | 0,04   | 0,23  | 25,1 |
|                  | 2     | 120   | 100  | 4    | 16       | 0,83    | 0,14    | 0,03   | 0,17  | 28,9 |
|                  | 3     | 114   | 94   | 3    | 17       | 0,83    | 0,14    | 0,03   | 0,17  | 30,2 |
| VIII             | 1     | 114   | 97   | 0    | 17       | 0,85    | 0,15    | 0,00   | 0,17  | 21,6 |
|                  | 2     | 96    | 82   | 0    | 14       | 0,85    | 0,15    | 0,00   | 0,18  | 23,0 |
|                  | 3     | 83    | 70   | 0    | 13       | 0,85    | 0,15    | 0,00   | 0,18  | 23,0 |
| IX               | 1     | 68    | 57   | -3   | 14       | 0,84    | 0,20    | -0,04  | 0,24  | 17,5 |
|                  | 2     | 54    | 39   | -4   | 19       | 0,72    | 0,36    | -0,08  | 0,51  | 15,4 |
|                  | 3     | 40    | 24   | -4   | 20       | 0,61    | 0,49    | -0,10  | 0,82  | 14,6 |

Oznaczenia jak w tabeli 1.

Explanations as in Table 1.

we wrześniu. Strumień ciepła utajonego (przeznaczonego na parowanie) przyjmuje największe wartości w czerwcu i lipcu, kiedy aparat transpiracyjny jest w pełni wykształcony, natomiast znacznie mniejsze na początku i końcu sezonu wegetacyjnego. Strumień ciepła jawnego (przeznaczonego na ogrzanie atmosfery) przyjmuje największe wartości na początku sezonu wegetacji ziemniaka. Spowodowane jest to tym, że na początku sezonu wegetacji szaty roślinnej ziemniak jeszcze nie ma, a po wschodach jest słabo wykształcona. Stąd duża część salda promieniowania przeznaczona jest na ogrzewanie atmosfery. Największe wartości strumienia ciepła glebowego obserwuje się na początku sezonu wegetacyjnego, kiedy gleba nie jest pokryta szatą roślinną. Wraz ze wzrostem szaty roślinnej wartości tego strumienia maleją, osiągając wartość 0 w sierpniu. Od września gleba oddaje ciepło atmosferze, stąd wartości strumienia ciepła glebowego są ujemne. Relacje między dwiema głównymi składowymi bilansu cieplnego  $LE$  i  $H$  charakteryzuje współczynnik Bowena ( $H/LE$ ). Początkowe i końcowe dekady okresu wegetacji ziemniaka charakteryzują się dużymi wartościami tego współczynnika. Rosnącym wartościom współczynnika Bowena odpowiadają rosnące wartości ciepła jawnego przeznaczonego na ogrzanie atmosfery. Interpretacja tego faktu jest następująca: początek okresu wegetacji charakteryzuje się słabo wykształconym aparatem transpiracyjnym, a koniec sezonu – zasychającą szatą roślinną, o zanikającym aparacie transpiracyjnym.

Analizując udziały poszczególnych strumieni w saldzie promieniowania, można wyciągnąć następujące wnioski:

największy udział w saldzie promieniowania ma strumień ciepła utajonego do 83%  $R_n$ , strumień ciepła jawnego do 48% i strumień ciepła glebowego do 20% (tab. 3).

Wielolecie 1970–1995 w Gorzowie Wielkopolskim można scharakteryzować następująco: największy udział w saldzie promieniowania ma strumień ciepła utajonego przeznaczony na parowanie (do 69%), następnie strumień ciepła jawnego przeznaczony na ogrzanie atmosfery (do 33%). Najmniejszy udział w saldzie promieniowania ma strumień ciepła glebowego (około 6%). Wielolecie to charakteryzuje się dużą zmiennością opadów w sezonie wegetacji ziemniaka (od 164,7 mm w 1982 roku do 398,4 mm w 1977 roku).

Wszystkie badane regiony różnią się średnią temperaturą w okresie wegetacji ziemniaka (V–IX). Najcieplej w badanym wieloleciu było w Bydgoszczy (16,31°C), natomiast w Łodzi średnia temperatura była najniższa (15,49°C). Z równań regresji wynika, że najszybszy wzrost temperatury był we Wrocławiu i Gorzowie, a najwolniejszy w Łodzi. Najlepsze warunki wodne w rozparowanych wieloleciach w okresie wegetacji ziemniaka panowały na Swojcu, a najmniej deszczu w okresie wegetacji ziemniaka spadło w Gorzowie. Największe wartości salda promieniowania w ostatnich dekadach zaobserwowano w Łodzi, a najmniejsze w Bydgoszczy (rys. 1).

Wzrost strumienia ciepła jawnego i spadek wartości strumienia ciepła utajonego w ostatnich dekadach XX wieku jest zgodny z zasadą priorytetu parowania (rys. 2, 3).

TABELA 3. Średnie wartości składowych bilansu cieplnego (V–IX) w kolejnych latach wielolecia 1970–1995 dla ziemniaka w Gorzowie

TABLE 3. Variation in mean ten-day values of the heat balance components during the growing season of potatoes (V–IX), Gorzów 1970–1995

| Rok<br>Year | $R_n$ | $-LE$ | $-G$ | $-H$ | $-LE/RN$ | $-H/RN$ | $-G/RN$ | $H/LE$ | $P_o$ |
|-------------|-------|-------|------|------|----------|---------|---------|--------|-------|
| 1970        | 100   | 65    | 8    | 27   | 0,66     | 0,28    | 0,06    | 0,49   | 206,2 |
| 1971        | 101   | 65    | 8    | 28   | 0,65     | 0,29    | 0,06    | 0,54   | 265,0 |
| 1972        | 96    | 60    | 7    | 29   | 0,64     | 0,31    | 0,06    | 0,53   | 310,2 |
| 1973        | 103   | 65    | 8    | 30   | 0,64     | 0,30    | 0,06    | 0,52   | 251,4 |
| 1974        | 91    | 59    | 7    | 25   | 0,66     | 0,29    | 0,06    | 0,49   | 349,6 |
| 1975        | 108   | 71    | 8    | 29   | 0,65     | 0,29    | 0,06    | 0,52   | 228,5 |
| 1976        | 107   | 69    | 8    | 30   | 0,66     | 0,28    | 0,06    | 0,52   | 208,5 |
| 1977        | 95    | 60    | 8    | 27   | 0,65     | 0,29    | 0,06    | 0,51   | 398,4 |
| 1978        | 97    | 60    | 8    | 29   | 0,64     | 0,30    | 0,06    | 0,52   | 378,8 |
| 1979        | 100   | 62    | 8    | 30   | 0,64     | 0,30    | 0,06    | 0,55   | 202,0 |
| 1980        | 94    | 57    | 7    | 30   | 0,62     | 0,32    | 0,06    | 0,56   | 291,0 |
| 1981        | 99    | 59    | 8    | 32   | 0,61     | 0,33    | 0,06    | 0,62   | 310,8 |
| 1982        | 109   | 70    | 8    | 31   | 0,65     | 0,29    | 0,06    | 0,56   | 164,7 |
| 1983        | 104   | 71    | 8    | 25   | 0,68     | 0,26    | 0,06    | 0,48   | 215,2 |
| 1984        | 92    | 60    | 7    | 25   | 0,66     | 0,28    | 0,06    | 0,47   | 303,3 |
| 1985        | 99    | 63    | 8    | 28   | 0,65     | 0,29    | 0,06    | 0,54   | 217,2 |
| 1986        | 103   | 66    | 9    | 28   | 0,67     | 0,27    | 0,06    | 0,51   | 275,5 |
| 1987        | 90    | 59    | 7    | 24   | 0,66     | 0,28    | 0,06    | 0,47   | 378,1 |
| 1988        | 91    | 58    | 7    | 26   | 0,66     | 0,28    | 0,06    | 0,52   | 269,4 |
| 1989        | 107   | 69    | 9    | 29   | 0,66     | 0,28    | 0,06    | 0,53   | 181,2 |
| 1990        | 103   | 66    | 8    | 29   | 0,65     | 0,29    | 0,06    | 0,54   | 326,7 |
| 1991        | 98    | 68    | 7    | 23   | 0,70     | 0,25    | 0,06    | 0,41   | 184,0 |
| 1992        | 106   | 69    | 9    | 28   | 0,67     | 0,27    | 0,06    | 0,53   | 156,4 |
| 1993        | 94    | 61    | 8    | 25   | 0,67     | 0,27    | 0,06    | 0,52   | 330,0 |
| 1994        | 102   | 70    | 8    | 24   | 0,69     | 0,26    | 0,06    | 0,45   | 270,6 |
| 1995        | 104   | 71    | 8    | 25   | 0,68     | 0,26    | 0,06    | 0,46   | 350,0 |

Oznaczenia / Explanations:

P – suma opadów w sezonie wegetacji ziemniaka w danym roku / sum of precipitation in vegetation season of potatoes in a year.

Pozostałe oznaczenia jak w tabeli 1. / Explanations as in Table 1.

Rosnące udziały strumienia ciepła jawnego w saldzie promieniowania są szczególnie widoczne we Wrocławiu-Swojcu i Bydgoszczy (rys. 4).

Rosnące wartości współczynnika Bowena, szczególnie widoczne w Łodzi i Wrocławiu, są potwierdzeniem rosnących wartości strumienia ciepła jawnego przeznaczonego na ogrzewanie atmosfery (rys. 5).

## Podsumowanie

W czterech badanych regionach: Bydgoszcz (1945–2004), Wrocław (1964–2000), Łódź (1954–1995), Gorzów Wielkopolski 1970–1995 obserwuje się wyraźny wzrost temperatury. Ten szybki wzrost temperatury jest konsekwencją wzrostu ciepła jawnego przeznaczonego na ogrzewanie atmosfery

TABELA 4. Podstawowe charakterystyki statystyczne temperatury powietrza i opadu we Wrocławiu, Bydgoszczy, Gorzowie i Łodzi  
 TABLE 4. Basic statistical characteristics of air temperature and precipitation at Wrocław, Bydgoszcz, Gorzów and Łódź

| Stacja<br>Obserwatory            | Okres<br>Period   | $P$<br>[mm]      | $T_{\bar{s}r}$<br>[°C] | $[S_T]$      | Równania prostych<br>regresji<br>Linear regression<br>equation | Tendencja<br>Tendency<br>[°C/10 lat] |
|----------------------------------|---|------------------|------------------------|--------------|--|--------------------------------------|
| Wrocław<br>Swojec<br>(1964–2000) | rok/year (I–XII)<br>sezon wegetacji<br>ziemniaka<br>growing season<br>of potatoes<br>(V–IX) | 570,61<br>333,07 | 8,69<br>15,99          | 0,79<br>0,79 | $y = 0,030x + 8,12$<br>$y = 0,027x + 15,49$                    | 0,30*<br>0,27*                       |
| Bydgoszcz<br>(1945–2004)         | rok/year (I–XII)<br>sezon wegetacji<br>ziemniaka<br>growing season<br>of potatoes<br>(V–IX) | 518,37<br>294,26 | 8,60<br>16,31          | 0,95<br>0,90 | $y = 0,025x + 7,85$<br>$y = 0,016x + 15,84$                    | 0,25*<br>0,16*                       |
| Gorzów<br>(1970–1995)            | rok/year (I–XII)<br>sezon wegetacji<br>ziemniaka<br>growing season<br>of potatoes<br>(V–IX) | 270,10           | 15,75                  | 0,87         | $y = 0,032x + 15,31$   | 0,32                                 |
| Łódź<br>(1954–1995)              | rok/year (I–XII)<br>sezon wegetacji<br>ziemniaka<br>growing season<br>of potatoes<br>(V–IX) | 323,79           | 15,49                  | 0,89         | $y = 0,012x + 15,24$   | 0,12                                 |

Oznaczenia / Explanations:

$P$  – suma opadów / precipitation,

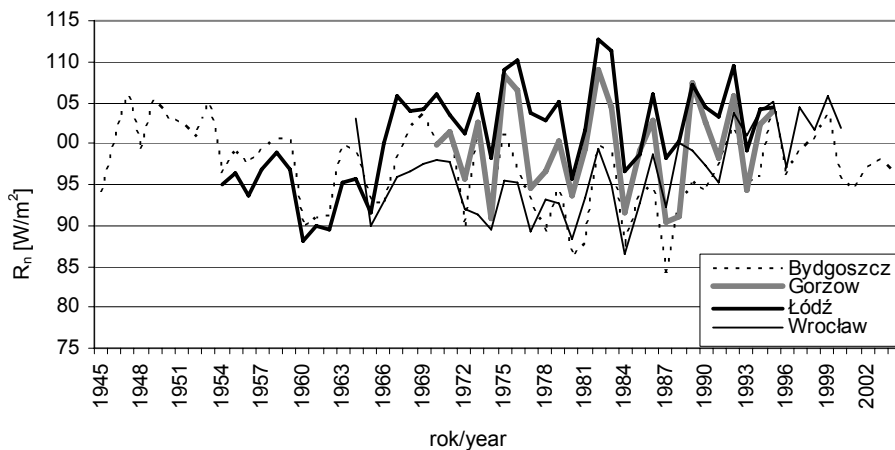
$T_{\bar{s}r}$  – średnia temperatura powietrza / mean air temperature,

$S_T$  – odchylenie standardowe temperatury / standard deviation of temperature.

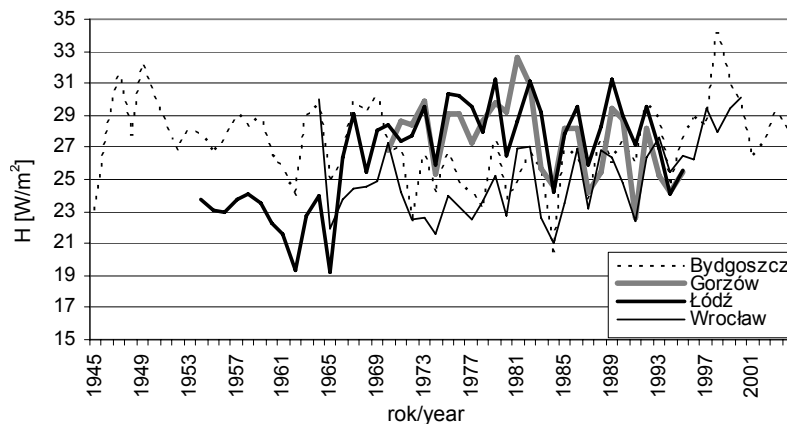
\*Statystycznie istotne dla  $\alpha = 0,05$  / statistically significant for  $\alpha = 0,05$ .

Uwaga. Równania prostych regresji wyznaczono dla temperatury powietrza średniej rocznej i średniej z sezonu wegetacji, gdzie  $x$  – lata,  $y$  – średnia temperatura powietrza.

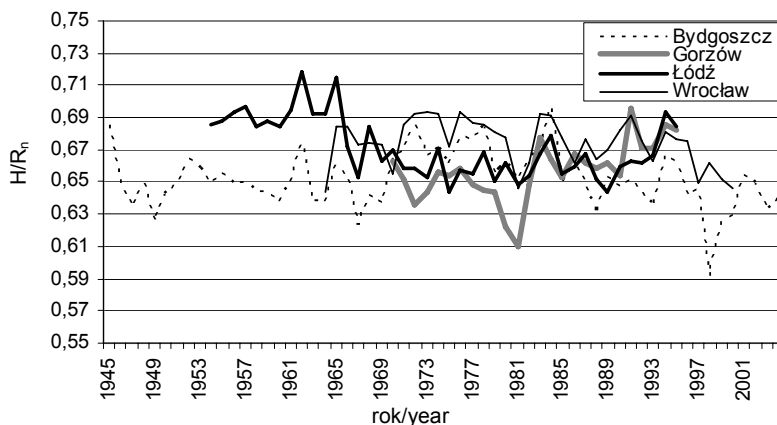
Note. Linear regressions were estimated for annual mean and seasonal mean air temperatures, where:  $x$  – years,  $y$  – mean air temperature.



RYSUNEK 1. Zmiany średnich wartości salda promieniowania ( $R_n$ ) w sezonie wegetacji ziemniaka w Bydgoszczy (1945–2004), Gorzowie (1970–1995), Łodzi (1954–1995) i Wrocławiu (1964–2000)  
 FIGURE 1. Variation in mean ten-day values of the net radiation during the growing season of potatoes in Bydgoszcz (1945–2004), Gorzów (1970–1995), Łódź (1954–1995) and Wrocław (1964–2000)

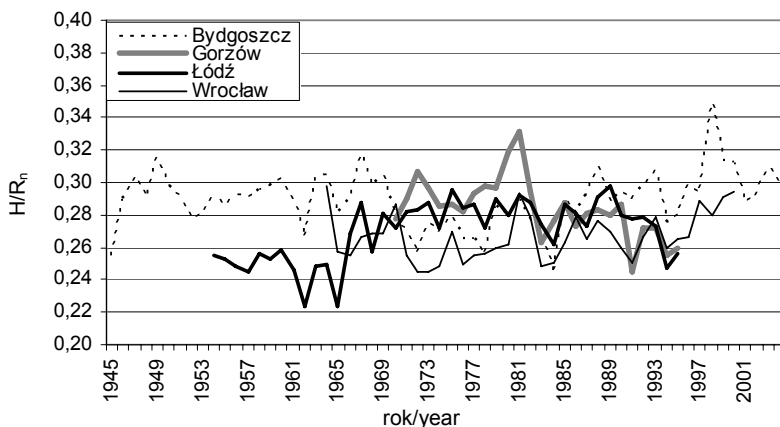


RYSUNEK 2. Zmiany średnich wartości strumienia ciepła jawnego ( $H$ ) w sezonie wegetacji ziemniaka w Bydgoszczy (1945–2004), Gorzowie (1970–1995), Łodzi (1954–1995) i Wrocławiu (1964–2000)  
 FIGURE 2. Variation in mean ten-day values of sensible heat flux ( $H$ ) during the growing season of potatoes in Bydgoszcz (1945–2004), Gorzów (1970–1995), Łódź (1954–1995) and Wrocław (1964–2000)



RYSUNEK 3. Zmiany średnich wartości ilorazów gęstości strumienia ciepła utajonego ( $LE$ ) i salda promieniowania ( $R_n$ ) w sezonie wegetacji ziemniaka w Bydgoszczy (1945–2004), Gorzowie (1970–1995), Łodzi (1954–1995) i Wrocławiu (1964–2000)

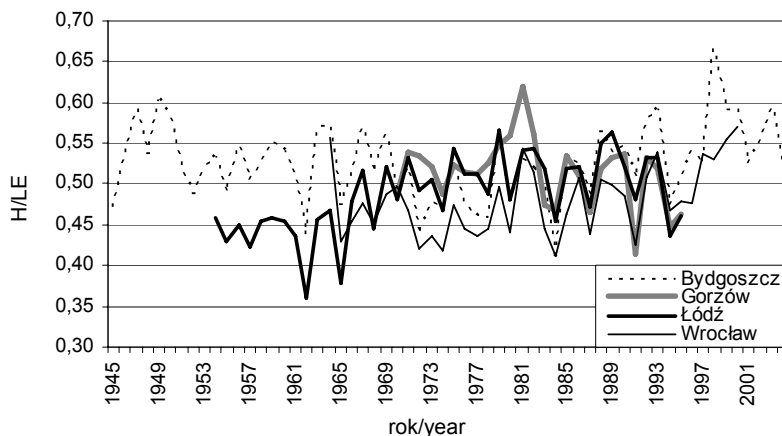
FIGURE 3. Changes of mean quotients of latent heat flux ( $H$ ) and net radiation during the growing season of potatoes in Bydgoszcz (1945–2004), Gorzów (1970–1995), Łódź (1954–1995) and Wrocław (1964–2000)



RYSUNEK 4. Zmiany średnich wartości ilorazów gęstości strumienia ciepła jawnego ( $H$ ) i salda promieniowania ( $R_n$ ) w sezonie wegetacji ziemniaka w Bydgoszczy (1945–2004), Gorzowie (1970–1995), Łodzi (1954–1995) i Wrocławiu (1964–2000)

FIGURE 4. Changes of mean quotients of sensible heat flux ( $H$ ) and net radiation during the growing season of potatoes in Bydgoszcz (1945–2004), Gorzów (1970–1995), Łódź (1954–1995) and Wrocław (1964–2000)





RYSUNEK 5. Zmiany średnich wartości współczynnika Bowena ( $H/LE$ ) w okresie wegetacji ziemniaka w Bydgoszczy (1945–2004), Gorzowie (1970–1995), Łodzi (1954–1995) i Wrocławiu (1964–2000)  
 FIGURE 5. Variation in mean ten-day values of the Bowen's ration ( $H/LE$ ) during the growing season of potatoes in Bydgoszcz (1945–2004), Gorzów (1970–1995), Łódź (1954–1995) and Wrocław (1964–2000)

przy jednocześnie malejących tendencjach strumienia ciepła utajonego przeznaczanego na parowanie. Rosnące wartości współczynnika Bowena w ostatnich dekadach XX wieku są potwierdzeniem tendencji wzrostowej dla strumienia ciepła jawnego i tendencji malejącej dla strumienia ciepła utajonego.

## Literatura

- BOWEN I.S. 1926: The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. *Phys. Rev.* 27: 779–787.
- KAPUŚCIŃSKI J. 2000: Struktura bilansu cieplnego powierzchni czynnej na tle warunków klimatycznych środkowozachodniej Polski. *Rocz. Nauk. AR Pozn. Rozpr. Nauk. AR Pozn.* 303.
- KARLIŃSKI M., KĘDZIORA A. 1968: Rozważania metodyczne przy układaniu kalendarza przyrody dla województwa szczecińskiego. *Pr. Kom. Nauk Roln. Kom. Nauk Leśn. PTPN* 24: 159–175.
- KĘDZIORA A. 1999: Podstawy agrometeorologii. PWRiL, Poznań.
- KĘDZIORA A., OLEJNIK J., KAPUŚCIŃSKI J. 1989: Impact of landscape structure on heat and water balance. *Ecol. Intern. Bull.* 17 1–17.
- KOŻUCHOWSKI K. 2004: Skala, uwarunkowania i perspektywy współczesnych zmian klimatycznych w Polsce. Biblioteka, Łódź.
- KOŻUCHOWSKI K., ŻMUDZKA E. 2001: Ocieplenie w Polsce: skala i rozkład sezonowy zmian temperatury powietrza w drugiej połowie XX wieku. *Przegląd Geofiz.* XLVI: 1–2, 81–90.
- LORENC H. 2000: Studia nad 220-letnią (1779–1998) serią temperatury powietrza w Warszawie oraz ocena jej wieloletnich tendencji. IMGW, Materiały badawcze, Seria Meteorologia: 31, 104.
- MUSIAŁ E. 2001: Modelowanie procesu ewapotranspiracji rzeczywistej i prognozowanie jego tendencji. *Zesz. Nauk. AR Wroc.*, 412, Rozpr. 182.
- MUSIAŁ E., SZCZEPANKIEWICZ-SZMYRKA A. 2003: Variation in air temperature on Szrenica in the years 1961–2000. *Acta Universitatis Wratislaviensis* 2542, *Studia geograficzne* 75: 444–455.
- MUSIAŁ E., GAŚIOREK E., ROJEK M.S. 2004: Zmienność temperatury powietrza w obserwatorium Wrocław-Swojec w la-

- tach 1964–2001. *Acta Agroph.* 105, 3(2): 333–342.
- OLEJNIK J. 1996: Modelowe badania struktury bilansu cieplnego i wodnego zlewni w obecnych i przyszłych warunkach klimatycznych. *Rocz. Nauk. AR Pozn.* 268.
- OLEJNIK J., KĘDZIORA A. 1991: A model for heat and water balance estimation and its application to land use and climate variation. *Earth Surface Processes Landforms* 16: 601–617.
- RYSZKOWSKI L., KĘDZIORA A. 1993: Rolnictwo a efekt szklarniowy. *Kosmos* 42: 123–149.
- RYSZKOWSKI L., KĘDZIORA A. 1995: Modification of the effects of global climate change by plant cover structure in an agricultural landscape. *Geogr. Pol.* 65: 5–34.
- SHUTTLEWORTH W.J., WALLACE J.S. 1985: Evaporation from sparse crops—an energy combination theory. *Quart. J. R. Met. Soc.* 111: 839–895.
- TREPIŃSKA J. 1997: Wahania klimatu w Krakowie (1792–1995). Inst. Geogr. UJ, Kraków.

last twenty years, result from the increasing values of sensible heat flux used for heating the atmosphere. Sensible heat flux is one of the components of heat balance, therefore this subject has attracted our attention.

Heat balance of the active surface, which is each surface where the conversion of mass and energy is proceeded, can be treated as an indicator of warming up. In this paper the following components of heat balance for potatoes during vegetation period (V–IX) were considered: net radiation [ $\text{W/m}^2$ ], soil heat flux [ $\text{W/m}^2$ ], sensible heat flux [ $\text{W/m}^2$ ] and latent heat flux [ $\text{W/m}^2$ ].

The investigations were performed in the following regions of Poland: Bydgoszcz (1945–2004), Wrocław (1964–2000), Łódź (1954–1995) and Gorzów Wielkopolski (1970–1995).

The main purpose of this study is to define the space distribution of all components of heat balance, their variation and tendencies during the potatoes vegetation period (V–IX) in considered regions.

## Summary

**Variation of the heat balance of potatoes in different regions of Poland.** Two last decades of the XX-th century are characterized by significant changes in the air temperature in Poland. Growing air temperatures in different regions of Poland, especially in the

### Author's address:

Edward Gąsiorek  
Akademia Rolnicza we Wrocławiu  
Katedra Matematyki  
ul. Grunwaldzka 53, 50-357 Wrocław  
Poland