

ZMIANY W STRUKTURZE BILANSU CIEPLNEGO I KLIMATYCZNEGO BILANSU WODNEGO DLA LASU IGLASTEGO

Elżbieta MUSIAŁ, Joanna KAMIŃSKA, Edward GAŚIOREK

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Katedra Matematyki

Słowa kluczowe: bilans cieplny, klimatyczny bilans wodny, las iglasty

Streszczenie

W prezentowanej pracy scharakteryzowano zmienność wieloletnią składników bilansu cieplnego dla lasu iglastego na podstawie modelowania wartości strumienia ciepła utajonego, strumienia ciepła odczuwalnego i strumienia ciepła glebowego. Przeprowadzono również analizę zmienności współczynnika Bowena, który jest ilorazem strumienia ciepła odczuwalnego i ciepła utajonego. Stosunki wodne w badanych rejonach scharakteryzowano za pomocą klimatycznego bilansu wodnego. Praca zawiera również badania nad zmianami temperatury w rozpatrywanych wieloleciach we wszystkich rejonach. Badaniami objęto następujące rejony: Wrocław–Swojec (1964–2000), Bydgoszcz (1946–2003) oraz Łódź (1954–1995).

WSTĘP

Ekosystemy leśne mają specyficzny, odmienny od innych ekosystemów rozdział energii w bilansie cieplnym. Lasy wykorzystują na ewapotranspirację od 80 do 90% energii docierającej do powierzchni, podczas gdy inne ekosystemy mniej, np.: ziemniaki od 65 do 70%, pszenica jara od 60 do 70% [BUBNOWSKA i in., 2005]. Lasy wykorzystują na ogrzewanie atmosfery tylko od 10 do 15% dostarczonej energii, podczas gdy ziemniaki od 20 do 30%, natomiast pszenica jara od 25 do 35%. Taki rozdział energii w przypadku lasu iglastego powoduje w rezultacie słabe prądy konwekcyjne nad lasami, prowadzące do powstawania chmur o dużej rozciągłości poziomej i małej rozciągłości pionowej. Konsekwencją

takiej sytuacji są dłużej trwające opady o mniejszym natężeniu. Woda z tych opadów w większości wsiąka w glebę, poprawiając stan retencji glebowej i zapewnia trwałość procesu intensywnej ewapotranspiracji. Taki rozkład energii w bilansie cieplnym lasu sprawia, że ekosystemy te poprawiają bilans wodny terenu, a także klimatyczny bilans wodny.

Celem pracy jest analiza zmian bilansu cieplnego powierzchni lasu iglastego w rejonach: Wrocławia, Bydgoszczy oraz Łodzi na tle warunków wodnych w tych rejonach, scharakteryzowanych za pomocą klimatycznego bilansu wodnego.

METODY I MATERIAŁ BADAŃ

Pojęcie klimatycznego bilansu wodnego *KBW* zostało wprowadzone do literatury polskiej po raz pierwszy przez S. Baca i M. Rojka w 1977 r. [BAC, ROJEK, 1977] i zostało zdefiniowane jako różnica między opadem *P* a parowaniem wskaźnikowym *ET₀*.

$$KBW = P - ET_0 \quad (1)$$

W prezentowanej pracy klimatyczny bilans wodny *KBW* jest zdefiniowany jako różnica między opadem a ewapotranspiracją wskaźnikową *ET₀* [MUSIAŁ, BUBNOWSKA, GĄSIOREK, 2006]. Miesięczne sumy ewapotranspiracji potencjalnej w okresie wegetacji (IV–IX) wyznaczono, korzystając ze wzoru Penmana. PENMANN [1948; 1950; 1956] założył, że *ET₀* można wyznaczyć następująco:

$$ET_0 = \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \left[\frac{\Delta}{\gamma} (R_n + G) + E_a \right] \frac{n}{28,34} = \frac{\frac{\Delta}{\gamma} (R_n + G) + E_a}{\left(1 + \frac{\Delta}{\gamma} \right)} \frac{n}{28,34} \quad (2)$$

gdzie:

- R_n – promieniowanie netto, $W \cdot m^{-2}$;
- G – strumień ciepła odprowadzonego do gleby, $W \cdot m^{-2}$;
- E_a – zdolność ewaporacyjna powietrza, $W \cdot m^{-2}$;
- Δ – nachylenie krzywej opisującej ciśnienie nasyconej pary wodnej jako funkcję temperatury, $hPa \cdot K^{-1}$;
- γ – stała psychrometryczna równa 0,655, $hPa \cdot K^{-1}$;
- $n=10$ – liczba dni w okresie, dla którego wykonywano obliczenia.

Prawo zachowania energii umożliwia przedstawienie składników bilansu cieplnego powierzchni czynnej za pomocą następującego równania [KAPUŚCIŃSKI, 2000; KĘDZIORA, 1999; KĘDZIORA, OLEJNIK, KAPUŚCIŃSKI, 1989; OLEJNIK, 1996; OLEJNIK, KĘDZIORA, 1991]:

$$R_n + LE + H + G = 0 \quad (3)$$

Jednym ze sposobów liczbowego ujęcia zależności między strumieniem ciepła jawnego H i utajonego LE jest współczynnik Bowena, który jest ilorazem tych strumieni.

$$\beta = \frac{H}{LE} \quad (6)$$

Wartości współczynnika β wyznaczono na podstawie empirycznej zależności od niektórych elementów meteorologicznych i fazy rozwojowej roślin [KĘDZIORA, 1999; KĘDZIORA, OLEJNIK, KAPUŚCIŃSKI, 1989; OLEJNIK, 1996; OLEJNIK, KĘDZIORA, 1991]:

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

gdzie:

- d – niedosyt wilgotności powietrza, hPa;
- v – prędkość wiatru na wysokości 2 m nad powierzchnią gruntu, $m \cdot s^{-1}$;
- t – temperatura powietrza na wysokości 2 m nad powierzchnią gruntu, $^{\circ}C$.

Znając wartości współczynnika Bowena oraz strumienia ciepła glebowego, obliczono strumień ciepła utajonego LE wg wzoru:

$$LE = -\frac{R_n + G}{(1 + \beta)} \quad (8)$$

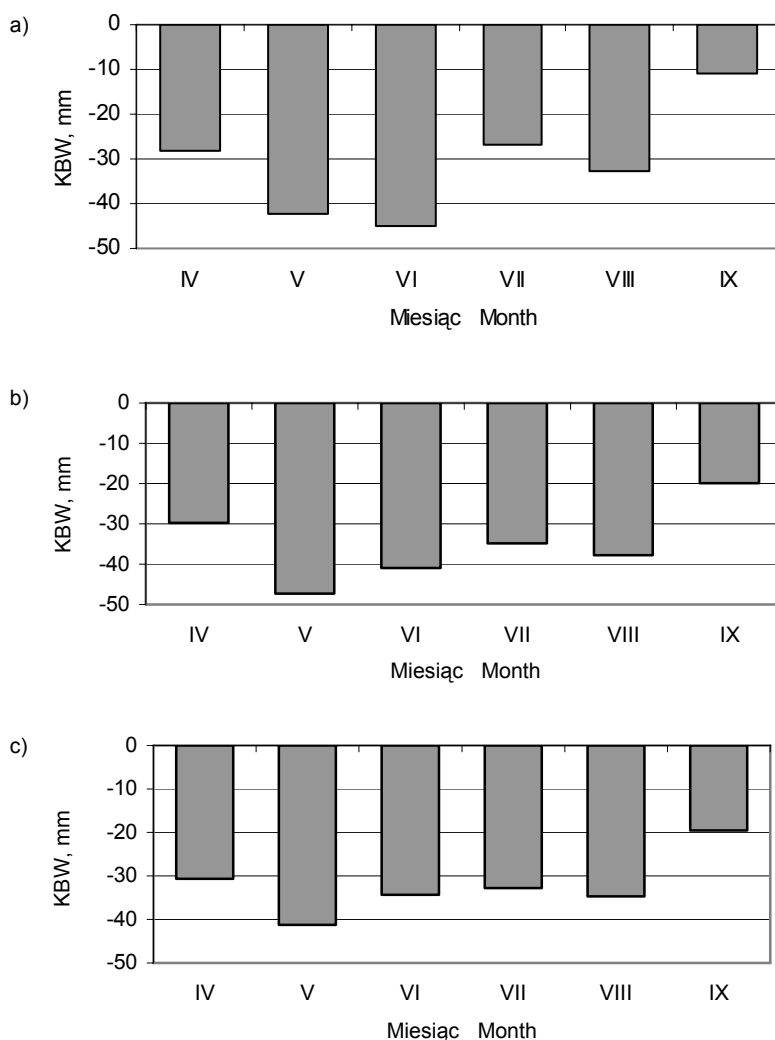
a następnie wyznaczono strumień ciepła odczuwalnego H :

$$H = -(R_n + LE + G) \quad (9)$$

WYNIKI I DYSKUSJA

Pierwszym etapem badań była analiza warunków wodnych na podstawie klimatycznego bilansu wodnego *KBW*. Badane wielolecie we wszystkich poddanych analizie regionach cechowała przewaga ewapotranspiracji potencjalnej nad opadami, czego konsekwencją były ujemne wartości klimatycznego bilansu wodnego w miesiącach od kwietnia do września. Ujemne średnie miesięczne sumy klimatycznego bilansu wodnego w Bydgoszczy, Łodzi i we Wrocławiu–Swojcu (rys. 1) świadczą o tym, że okresy wegetacji w badanych wieloleciach charakteryzowały się ciągłymi niedoborami wody.

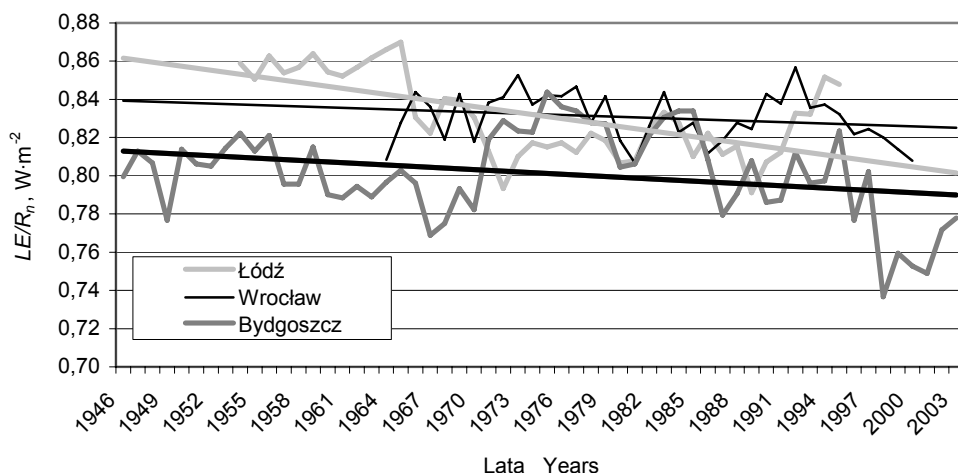
Klimatyczny bilans wodny – poprzez strumień pary wodnej, który transportuje do atmosfery duże ilości energii – wiąże się z bilansem cieplnym powierzchni czynnej. W myśl obowiązującej zasady priorytetu parowania z energii dostępnej dla lasu iglastego w pierwszej kolejności pokrywane są potrzeby procesu parowania, a następnie ogrzewania atmosfery.



Rys. 1. Średnie miesięczne sumy klimatycznego bilansu wodnego KBW w wieloleciu: a) Bydgoszcz (1946–2003), b) Łódź (1954–1995), c) Wrocław-Swojec (1964–2000)

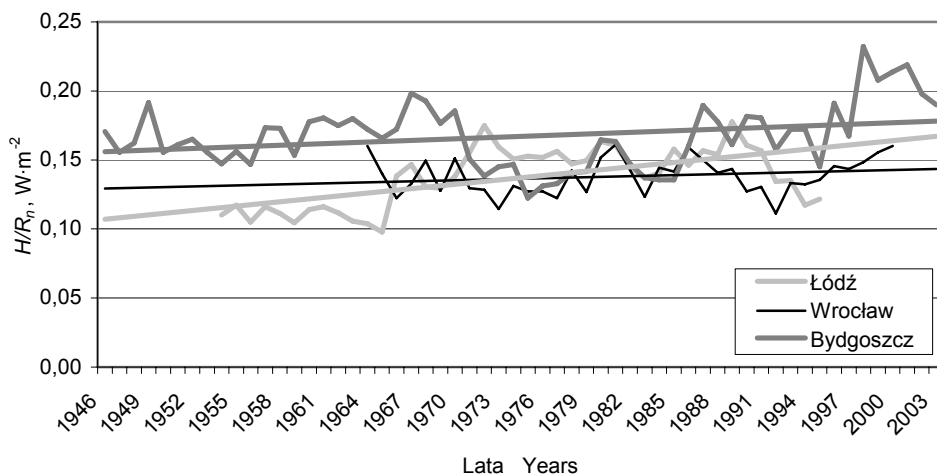
Fig. 1. Mean monthly sums of climatic water balance KBW in time periods: a) Bydgoszcz (1946–2003), b) Łódź (1954–1995), c) Wrocław-Swojec (1964–2000)

ry i gleby. Dlatego też wartości klimatycznego bilansu wodnego w okresie wegetacji mają wpływ na wartości składowych bilansu cieplnego. W pracy poddano analizie zmienność udziałów głównych strumieni bilansu cieplnego w saldzie promieniowania, tj. strumienia ciepła utajonego LE/R_n (rys. 2) i strumienia ciepła odczuwalnego H/R_n (rys. 3). Trend w badanych wieloleciach średnich rocznych udziałów obu strumieni w promieniowaniu netto R_n w poszczególnych rejonach został opisany równaniami regresji (tab. 1).



Rys. 2. Średnie roczne udziały strumienia ciepła utajonego LE w promieniowaniu netto R_n dla lasu iglastego w okresie IV–IX (lata badań, jak na rys. 1)

Fig. 2. Annual mean ratios of latent heat flux and net radiation LE/R_n for coniferous forest in the period IV–IX (years as in Fig. 1)



Rys. 3. Średnie roczne udziały strumienia ciepła jawnego H w promieniowaniu netto R_n dla lasu iglastego w okresie IV–IX (lata badań, jak na rys. 1)

Fig. 3. Annual mean ratios of sensible heat flux to net radiation H/R_n for coniferous forest in the period IV–IX (years as in Fig. 1)

Udział strumienia LE w promieniowaniu netto, wyrażony równaniem regresji, miał tendencję malejącą, natomiast udział H w R_n – rosnącą (tab. 1, rys. 2, 3). Zmiany współczynnika Bowena β w latach zostały opisane za pomocą trendu liniowego (tab. 2, rys. 3).

Tabela 1. Równania regresji liniowej udziałów strumienia ciepła utajonego LE i strumienia ciepła jawnego H w promieniowaniu netto R_n

Table 1. Linear regression equations for the ratio of latent heat flux and net radiation (LE/R_n) and the ratio of sensible heat flux and the net radiation (H/R_n)

Observatorium Observatory	Wielolecie Years	Równanie regresji LE/R_n Regression equation LE/R_n	Równanie regresji H/R_n Regression equation H/R_n
Bydgoszcz	1946–1995	$y = -0,0004x + 0,81$	$y = 0,0004x + 0,156$
Łódź	1954–1995	$y = -0,0011x + 0,86$	$y = 0,0011x + 0,106$
Wrocław–Swojec	1964–2000	$y = -0,0002x + 0,84$	$y = 0,0002x + 0,129$

Uwaga: równania prostych regresji wyznaczono dla średnich rocznych wartości LE/R_n i H/R_n , gdzie: x – numer roku, y – średnia roczna wartość LE/R_n i H/R_n .

Note: linear regressions were estimated for annual mean LE/R_n and H/R_n , where: x – year number, y – annual mean LE/R_n and H/R_n .

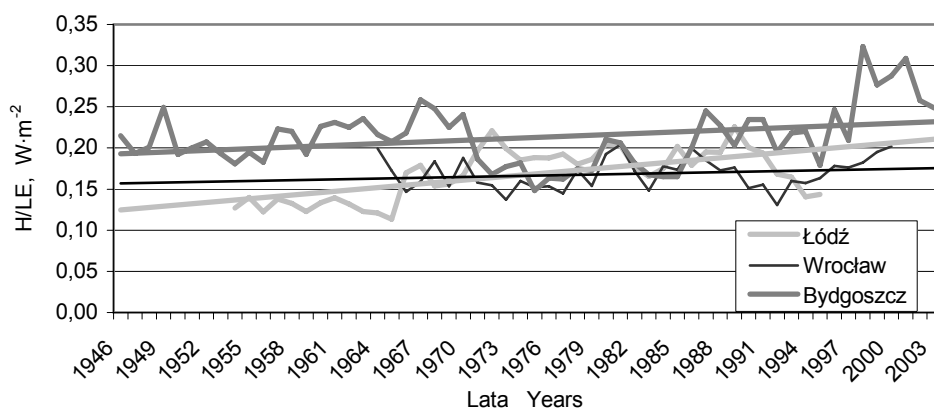
Tabela 2. Równania regresji liniowej dla współczynnika Bowena β dla lasu iglastego w okresie IV–IX

Table 2. Linear regression equation for Bowen's coefficient β for coniferous forest in the period IV–IX

Observatorium Observatory	Wielolecie Years	Równanie regresji $\beta = H/LE$ Regression equation $\beta = H/LE$
Bydgoszcz	1946–1995	$y = 0,0003x + 0,157$
Łódź	1954–1995	$y = 0,0015x + 0,123$
Wrocław–Swojec	1964–2000	$y = 0,0007x + 0,192$

Uwaga: równania prostych regresji wyznaczono dla średnich rocznych wartości H/LE , gdzie: x – numer roku, y – średnia roczna wartość H/LE .

Note: linear regressions were estimated for annual mean H/LE , where: x – year number, y – annual mean H/LE .



Rys. 4. Średnie roczne wartości współczynnika Bowena ($\beta=H/LE$) dla lasu iglastego w okresie IV–IX (lata badań, jak na rys. 1)

Fig. 4. Annual mean values of the Bowen's coefficient ($\beta=H/LE$) for coniferous forest in the period IV–IX (years as in Fig. 1)

We wszystkich badanych rejonach wartości współczynnika Bowena dla lasu iglastego wykazały tendencje rosnące, co wskazuje na zwiększenie ilości ciepła odprowadzonego do atmosfery.

Dodatkowo poddano analizie zmienność temperatury powietrza (tab. 3). Najszybszy wzrost wartości tego elementu meteorologicznego zaobserwowano w wieloleciu 1964–2000 we Wrocławiu–Swojcu i to zarówno w całym roku, jak i w okresie wegetacji. W Bydgoszczy w wieloleciu 1946–1995 wzrost ten był większy w całym roku niż w okresie wegetacji. W Łodzi przyrost temperatury w okresie wegetacji wyniósł 0,16°C na 10 lat.

Tabela 3. Podstawowe charakterystyki statystyczne temperatury powietrza

Table 3. Basic statistical characteristics of air temperature

Obserwatorium Observatory	Wielolecie Years	Okres Period	T_{sr} °C	S_T °C	Równanie regresji Regression equation	Tendencja °C/10 lat Tendency °C/10 years
Bydgoszcz	1946–1995	IV–IX	14,8	0,81	$y = 0,011x + 14,56$	0,11
		I–XII	8,5	0,91	$y = 0,023x + 7,90$	0,23*
Łódź	1954–1995	IV–IX	14,1	0,81	$y = 0,016x + 13,78$	0,16
Wrocław– –Swojec	1964–2000	IV–IX	14,70	0,78	$y = 0,03x + 14,12$	0,3*
		I–XII	8,69	0,84	$y = 0,03x + 8,12$	0,3*

Objaśnienia: T_{sr} – średnia temperatura powietrza w wieloleciu, S_T – odchylenie standardowe temperatury, * – statystycznie istotne, gdy $\alpha = 0,05$.

Uwaga: równania prostych regresji wyznaczono dla średnich rocznych wartości temperatury powietrza, gdzie: x – numer roku, y – średnia roczna wartość temperatury.

Explanations: T_{sr} – mean long term air temperature, S_T – standard deviation of temperature, * – statistically significant at $\alpha = 0.05$.

Note: linear regressions were estimated for annual mean air temperatures where: x – year number, y – annual mean air temperature.

WNIOSKI

1. Ujemne średnie miesięczne sumy klimatycznego bilansu wodnego w okresie wegetacji (IV–IX) we Wrocławiu-Swojcu (1964–2000), Bydgoszczy (1946–2003) oraz Łodzi (1954–1995) wskazują na deficyty opadów w tych rejonach.

2. Konsekwencją deficytu opadów w wymienionych rejonach są malejące wartości udziałów strumienia ciepła utajonego przeznaczanego na parowanie i zwiększanie się udziałów strumienia ciepła odczuwalnego przeznaczanego na ogrzewanie atmosfery w promieniowaniu netto dla powierzchni czynnej lasu iglastego.

3. Rosnące tendencje wartości współczynnika Bowena można wiązać ze wzrostem temperatury powietrza.

Praca wykonana w ramach grantu KBN 2 P06S 022 27.

LITERATURA

- BAC S., ROJEK M., 1977. Metodyka oceny stosunków wodnych obszarów rolniczych na podstawie danych klimatycznych. Zesz. Nauk ART Olszt. nr 21 s. 13–24.
- BUBNOWSKA J., GAŚIOREK E., ŁABĘDZKI L., MUSIAŁ E., ROJEK M. S., 2005. Bilans cieplny lasu iglastego w latach o ekstremalnych opadach i jego wieloletnie zmiany w rejonie Wrocławia. Woda Środ. Obsz. Wiej. t. 5 z. specj. (14) s. 69–82.
- KAPUŚCIŃSKI J., 2000. Struktura bilansu cieplnego powierzchni czynnej na tle warunków klimatycznych środkowozachodniej Polski. Poznań: AR. Rozpr. Nauk. 303 ss. 250.
- KĘDZIORA A., 1999. Podstawy agrometeorologii. Poznań: PWRiL ss. 364.
- KĘDZIORA A., OLEJNIK J., KAPUŚCIŃSKI J., 1989. Impact of landscape structure on heat and water balance. Ecol. Intern. Bull. 17 s. 1–17.
- MUSIAŁ E., BUBNOWSKA J., GAŚIOREK E., 2006. Variation of climatic water balance and heat balance for various ecosystems in Wrocław in the years 1964–2000. Ann. Agricult. Univ. SGGW Land Recl. no 37 s. 101–110.
- OLEJNIK J., 1996. Modelowe badania struktury bilansu cieplnego i wodnego zlewni w obecnych i przyszłych warunkach klimatycznych. Poznań: AR Rozpr. Nauk. z. 268 ss. 125.
- OLEJNIK J., KĘDZIORA A., 1991. A model for heat and water balance estimation and its application to land use end climate variation. Earth Surf. Processes Landforms vol. 16 s. 601–617.
- PENMANN H.L., 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. Royal Soc. 193 s. 120–146.
- PENMANN H.L., 1950. Evaporation over the British Isles. Q. J. Roy. Met. Soc. 76 s. 372–383.
- PENMANN H.L., 1956. Evaporation: an introductory survey. Netherlands J. Agricult. Sci. s. 4–29.

Elżbieta MUSIAŁ, Joanna KAMIŃSKA, Edward GAŚIOREK

CHANGES IN THE STRUCTURE OF HEAT BALANCE AND CLIMATIC WATER BALANCE OF THE CONIFEROUS FOREST

Słowa kluczowe: climatic water balance, coniferous forest, heat balance

S u m m a r y

In this study the long term variability of heat balance components for coniferous forest was characterized by modelling the value of latent heat flux, sensible heat flux and soil heat flux. The variability of Bowen's coefficient, which is the ratio of sensible to latent heat flux, was also analysed. Water relations in the studied regions were characterized by climatic water balance. The work contains also the investigation of temperature changes in all regions. The following regions were included in the study: Wrocław–Swojec (1964–2000), Bydgoszcz (1946–2003) and Łódź (1954–1995).

Recenzenci:

prof. dr hab. Andrzej Kędziora

prof. dr hab. Leszek Łabędzki

Praca wpłynęła do Redakcji 02.11.2007 r.