

Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska nr 63, 2014: 26–42
(Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. 63, 2014)
Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences No 63, 2014: 26–42
(Sci. Rev. Eng. Env. Sci. 63, 2014)

**Marek KEJNA, Joanna USCKA-KOWALKOWSKA,
Andrzej ARAŻNY**

Katedra Meteorologii i Klimatologii, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu
Department of Meteorology and Climatology, Nicolaus Copernicus University in Toruń,
Poland

Bilans promieniowania w Koniczynie koło Torunia w latach 2011–2012*

Radiation balance in Koniczynka near Toruń in the years 2011–2012

Słowa kluczowe: bilans promieniowania, promieniowanie krótkofalowe, promieniowanie długofalowe, albedo, zintegrowany monitoring środowiska, Koniczynka

Key words: radiation balance, short wave radiation, long wave radiation, integrated monitoring of environment, Koniczynka

Wprowadzenie

Na bilans radiacyjny powierzchni ziemi (Q^*) składają się przychody i straty energii w postaci promieniowania krótko- i długofalowego. Q^* jest sumą salda promieniowania krótkofalowego (K^*) i salda promieniowania długofalowego (L^*). W pełnym zakresie widma opisują go równania (Oke, 1996, Paszyński, Miara i Skoczek, 1999):

$$Q^* = K^* + L^*$$

$$K^* = K\downarrow - K\uparrow$$

$$L^* = L\downarrow - L\uparrow$$

$$Q^* = (K\downarrow - K\uparrow) + (L\downarrow - L\uparrow)$$

gdzie:

Q^* – bilans promieniowania,

K^* – saldo promieniowania krótkofalowego,

L^* – saldo promieniowania długofalowego,

$K\downarrow$ – promieniowanie słoneczne całkowite (bezpośrednie i rozproszone),

$K\uparrow$ – promieniowanie słoneczne odbite od podłoża (powierzchni czynnej),

$L\downarrow$ – promieniowanie długofalowe atmosfery skierowane do powierzchni ziemi,

$L\uparrow$ – promieniowanie długofalowe uchodzące od powierzchni czynnej ku górze.

*Praca powstała w ramach programu Zintegrowanego monitoringu środowiska przyrodniczego (ZMŚP) oraz projektu NCN N N306 723040.

Bilans promieniowania zmienia się w cyklu dobowym i rocznym. O wielkości promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni ziemi decyduje kąt padania promieni słonecznych uzależniony od szerokości geograficznej, pory roku i pory doby oraz właściwości optyczne atmosfery. Natomiast składowe długofalowe są uzależnione od temperatury podłoża i atmosfery. Na wszystkie składowe Q^* wpływa zachmurzenie, zawartość pary wodnej i aerozolu w atmosferze. Bardzo istotny jest rodzaj podłoża i jego zmiany w ciągu roku, a zwłaszcza utworzenie się pokrywy śnieżnej (np. Caputa, 2005, Bryś, 2009). Warunki radiacyjne zmieniają się wraz szerokością geograficzną. W Europie istotnym czynnikiem kształtującym stosunki radiacyjne jest także zachmurzenie, na którego wielkość ma wpływ cyrkulacja atmosferyczna (Mlynczak, Smith i Hollmann, 2011).

W Polsce systematyczne pomiary aktywności zostały zapoczątkowane w 1900 roku w Warszawie przez W. Gorczyńskiego. W kolejnych latach podejmowano je w innych miejscowościach. Szczegółowy opis najstarszych pomiarów aktywności znajduje się w artykule Uskiej-Kowalkowskiej z 2010 roku.

Po II wojnie światowej prowadzono badania w różnych miejscowościach i różnym zakresie. Najczęściej mierzono promieniowanie całkowite i albedo, zajmowano się również promieniowaniem bezpośrednim, promieniowaniem rozproszonym, promieniowaniem długofalowym ziemi i atmosfery. Bilans radiacyjny był mierzony za pomocą bilansomierzy lub był wyliczany z poszczególnych strumieni promieniowania. Q^* można

również obliczyć na podstawie formuł uwzględniających różne elementy meteorologiczne oraz właściwości podłoża i atmosfery. W 1966 roku powstał „Atlas bilansu promieniowania w Polsce” (Paszyński, 1966), a następnie obszerny artykuł analizujący zmienność czasową i przestrzenną bilansu radiacyjnego w Polsce (Miara, Paszyński i Grzybowski, 1987). W opracowaniu dla 31 stacji obliczono poszczególne składowe bilansu promieniowania na podstawie usłonecznienia rzeczywistego, liczby dni z pokrywą śnieżną, temperatury powietrza, ciśnienia pary wodnej i stopnia zachmurzenia. Wymiana energii między atmosferą a podłożem stała się podstawą kartowania topoklimatycznego (Paszyński i in., 1999). Badania metodyczne dotyczące obliczania godzinowych wartości Q^* na podstawie pomiarów promieniowania całkowitego i temperatury powietrza prowadzili m.in.: Miara i in., 1987, Tamulewicz, 1988, Paszyński i in., 1999, Chojnicki i Olejnik, 2001.

Wprowadzenie nowoczesnej aparatury rejestrującej umożliwiło ciągłą rejestrację Q^* . Na przykład w Krakowie badania poszczególnych składowych bilansu radiacyjnego prowadzili Olecki (1986), Hess i Olecki (1990). We Wrocławiu szeroko zakrojone pomiary aktywności, wraz z bilansem radiacyjnym, wykonywali K. Bryś i T. Bryś (2001, 2003, 2007), K. Bryś (2010). W Sosnowcu w 2002 roku uruchomiono bilansomierz CNR1 i uzyskano kilkuletnie serie pomiarowe (Caputa, 2005, Budzik, 2006). Prowadzono również badania topoklimatyczne prezentujące zróżnicowanie przestrzenne Q^* , np. w Ojcowskim Parku Narodowym (Caputa, 2005, Caputa i Leśniok, 2009, Caputa

i Wojkowski, 2009, Wojkowski i Skowera, 2011). W badaniach przestrzennego rozkładu Q^* często wykorzystuje się techniki GIS (np. Matuszko i Struś, 2007, Wojkowski, 2007).

W Toruniu badania klimatu solarnego prowadził Wójcik (1996), skupiając się głównie na transmisji promieniowania przez atmosferę.

Badania Q^* są często prowadzone w sposób ekspedycyjny, a wnioski są efektem krótkich serii pomiarowych. Brakuje stałego monitoringu zmian, jakie zachodzą w cyklu rocznym i wieloletnim bilansu radiacyjnego. Zapoczątkowane w 2011 roku w Koniczynie pomiary są częścią programu Zintegrowanego monitoringu środowiska przyrodniczego (ZMŚP) realizowanego w Stacji ZMŚP w Koniczynie. Celem niniejszego artykułu jest analiza zmienności Q^* w cyklu rocznym i dobowym w Koniczynie w dwóch pierwszych latach rejestracji w 2011 i 2012 roku. Badania te są kontynuowane.

Metodyka badań

Pomiary aktynometryczne prowadzono w Koniczynie położonej na Pojezierzu Chełmińskim na północ od Torunia ($\varphi = 53^{\circ}05'N$, $\lambda = 18^{\circ}42'E$, $h = 84$ m n.p.m.). Reprezentuje ona młodoglacjalną, płaską równinę morenową ostatniego zlodowacenia, intensywnie użytkowaną rolniczo (Wójcik i Marciniak, 1996 – red.).

Pomiary meteorologiczne w ramach programu ZMŚP rozpoczęto w 1993 roku, a pomiary bilansu promieniowania w styczniu 2011 roku za pomocą Net Radiometer CNR 4 firmy Kipp & Zonen.

Przyrząd składa się z dwóch pyrano-metrów i dwóch pyrgeometrów skierowanych ku górze i ku dołowi, umieszczonych 2 m nad poziomem gruntu (powierzchnia trawiasta). Zestaw ten mierzy bilans energii pomiędzy dochodzącym promieniowaniem krótkofalowym i długofalowym od atmosfery oraz odbitym promieniowaniem krótkofalowym i uchodzącym promieniowaniem długofalowym powierzchni ziemi. Przyrząd był indywidualnie skalibrowany oraz jest wentylowany, co zapobiega gromadzeniu się na kopułkach pyłów oraz opadów i osadów atmosferycznych.

Składowe bilansu radiacyjnego rejestrowano w okresach 10-minutowych. Analizowana seria pomiarowa obejmuje lata 2011 i 2012, z tym że brak jest danych z okresów 1.01–17.02 i 1.03–4.04 w 2011 roku. Brakujące dane uzupełniono na podstawie analogicznych pomiarów prowadzonych w pobliskim (9 km) Obserwatorium Meteorologicznym UMK w Toruniu, wykorzystując metodę regresji liniowej.

Wyniki

Warunki meteorologiczne w latach 2011–2012

Warunki meteorologiczne w latach 2011 i 2012 w Koniczynie odbiegały od przeciętnych (1994–2012). Zwłaszcza usłonecznienie było większe – suma roczna wyniosła 1875,1 godz. w 2011 roku i 1750,5 godz. w 2012 roku, przy średniej wieloletniej 1609,2 godz. (tab. 1). Największa suma usłonecznienia wystąpiła w maju 2012 roku (295,7 godz.) oraz w maju (285,0 godz.) i czerwcu

(290,9 godz.) 2011 roku, najmniejsza zaś w styczniu 2011 roku (6,0 godz.) oraz listopadzie (22,7 godz.) i grudniu (23,8 godz.) 2012 roku. W przebiegu usłonecznienia zaznaczyły się miesiące o znacznie większych od przeciętnych wartościach, np. w listopadzie 2011 roku zarejestrowano 87,6 godz. ze słońcem, co stanowi aż 230% średniej wieloletniej, również słoneczny był luty 2011 i luty 2012 roku (odpowiednio 89,3 i 84,8 godz., ok. 150%) oraz marzec 2012 roku (196,3 godz., 153%) i czerwiec 2011 roku (290,9 godz., 131%). Mało godzin ze słońcem wystąpiło w styczniu 2011 roku (6,0 godz., co stanowi 19%), w listopadzie 2012 roku (22,7 godz., 60%) oraz lipcu 2011 roku (138,5 godz., 65%) i czerwcu 2012 roku (159,3 godz., 72%).

Średnia roczna temperatura powietrza w latach 2011 i 2012 była wyższa od średniej z wielolecia (8,5°C) i wyniosła odpowiednio 9,0 i 8,6°C. Wilgotność względna powietrza (po 74%) oraz opady atmosferyczne (515,3 mm w 2011 r. i 511,6 mm w 2012 r.) były mniejsze, a prędkość wiatru była zbliżona do średniej wieloletniej (3,5 m·s⁻¹) – tabela 1.

Promieniowanie słoneczne

W Koniczynie w latach 2011 i 2012 rejestrowano całkowite promieniowanie słoneczne, bez podziału na promieniowanie bezpośrednie i rozproszone. Maksymalne chwilowe wartości natężenia promieniowania słonecznego (K_{\downarrow}) wystąpiły w czerwcu, w czasie najwyższego położenia słońca nad horyzontem, i wyniosły 1075 W·m⁻² w 2011 roku i 1139 W·m⁻² w 2012 roku (tab. 2 i 3).

W grudniu, przy niskich wysokościach słońca w południe wartości te nie przekraczały 300 W·m⁻² (np. w 2011 r. maksimum wyniosło 225,2 W·m⁻²).

Roczne sumy promieniowania słonecznego (K_{\downarrow}) wyniosły 3901,1 MJ·m⁻² w 2011 roku i 3840,1 MJ·m⁻² w 2012 roku. Najmniejsze sumy miesięczne K_{\downarrow} wystąpiły w grudniu (39,6 MJ·m⁻² w 2011 r. i 46,5 MJ·m⁻² w 2012 r.), a najwyższe w czerwcu 2011 roku (673,5 MJ·m⁻²) i maju 2012 roku (639,3 MJ·m⁻²). W pochmurnym czerwcu tego roku suma K_{\downarrow} wyniosła zaledwie 502,6 MJ·m⁻². Transmisja promieniowania słonecznego przez atmosferę zależy od zachmurzenia i przezroczystości atmosfery. W pobliżu Torunia do powierzchni ziemi dociera od 29% w grudniu do 50% w maju promieniowania potencjalnego, przy średniej rocznej 44% (za Wójcik 1996 – dane z lat 1983–1991).

W przebiegu rocznym zaznacza się duża zależność K_{\downarrow} od wysokości słońca nad horyzontem (kąt padania promieni słonecznych) oraz stopnia zachmurzenia i zjawisk ograniczających przezroczystość atmosfery, w tym zanieczyszczenia atmosfery (Hess i Olecki, 1990, Kossowski i Łykowski, 2007). Stąd też sumy dzienne K_{\downarrow} w Koniczynie wahały się od 0,19 MJ·m⁻² 24 grudnia 2011 roku do 30,34 MJ·m⁻² 28 czerwca 2011 roku. W 2012 roku odpowiednie wartości wyniosły 0,20 i 28,61 MJ·m⁻² (rys. 1).

Część promieniowania słonecznego ulega odbiciu od powierzchni ziemi (K_{\uparrow}). W sumie w 2011 roku odbiło się 862,1 MJ·m⁻² energii słonecznej, a w 2012 roku 754,5 MJ·m⁻² (tab. 2 i 3). Relacje między promieniowaniem odbitym a całkowitym docierającym do podłoża

TABELA 1. Średnie miesięczne i roczne wartości wybranych elementów meteorologicznych w Koniczynie w latach 2011 i 2012 oraz 1994–2012
 TABLE 1. Mean monthly and yearly values of selected meteorological elements in Koniczynka in the years 2011 and 2012 and 1994–2012

Element	Okres Period	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I–XII
U [h]	2011	6,0	89,3	175,9	242,3	285,0	290,9	138,5	227,7	192,8	114,9	87,6	24,2	1875,1
	2012	45,6	84,8	196,3	194,7	295,7	159,3	240,6	216,5	179,0	91,4	22,7	23,8	1750,5
	1996–2012	30,9	59,1	128,0	189,0	234,1	221,3	213,0	215,3	163,1	95,0	38,0	22,4	1609,2
V [m·s ⁻¹]	2011	3,3	4,6	3,9	4,3	3,1	3,1	2,9	2,9	3,3	3,2	2,7	4,4	3,5
	2012	4,6	4,1	4,8	3,6	3,2	2,9	2,7	2,8	3,0	2,9	3,0	3,1	3,4
T [°C]	1998–2012	4,1	4,3	4,1	3,5	3,2	3,1	3,1	3,0	3,0	3,4	3,5	3,8	3,5
	2011	-0,3	-4,5	2,9	10,8	14,1	18,1	18,0	18,6	15,3	9,3	3,3	2,8	9,0
	2012	-0,5	-5,3	5,2	9,4	15,0	15,7	19,3	18,8	14,4	8,3	5,4	-2,3	8,6
f [%]	1994–2012	-1,6	-0,8	2,7	8,7	13,6	16,6	19,1	18,5	13,8	8,5	3,6	-0,7	8,5
	2011	89	78	69	60	62	65	78	68	69	76	86	84	74
	2012	84	79	72	60	60	72	72	66	71	82	88	86	74
P [mm]	1994–2012	88	85	80	69	68	71	71	70	77	82	88	89	78
	2011	35,7	15,3	11,2	6,5	47,7	87,8	164,2	36,0	64,7	12,7	3,8	29,7	515,3
	2012	65,2	32,2	13,6	22,3	35,3	87,4	87,7	41,1	37,5	28,4	35,8	25,1	511,6
1994–2012	32,2	27,1	30,5	30,3	56,4	51,0	95,4	68,0	49,6	33,7	35,4	36,9	546,6	

Objaśnienia: U – usłonecznienie, V – prędkość wiatru, T – temperatura powietrza, f – wilgotność względna, P – opady atmosferyczne/Explanations:
 U – sunshine duration, V – wind velocity, T – air temperature, f – relative air humidity, P – precipitation.

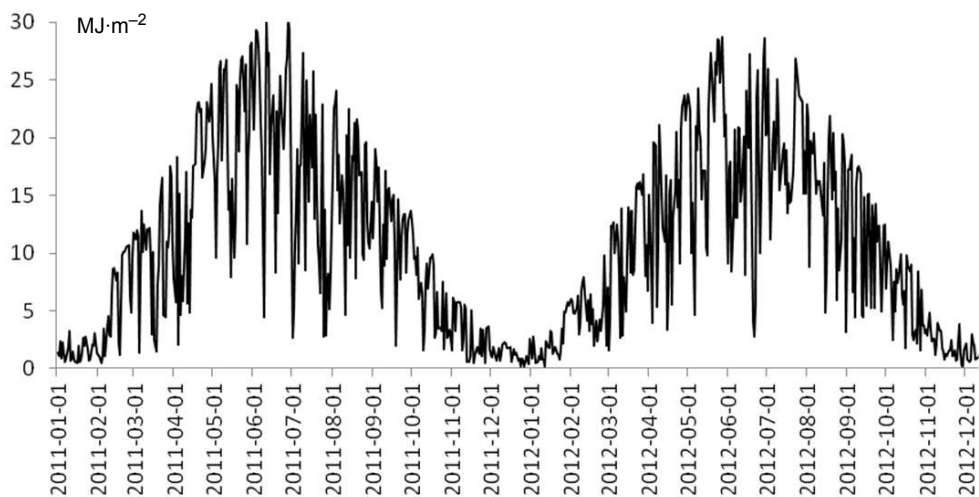
TABELA 2. Miesięczne i roczne wartości składowych bilansu promieniowania w Koniczynie w 2011 r.
TABLE 2. Monthly and yearly values of radiation balance fluxes in Koniczynka in 2011

Mie- siąc Month	$K_{\downarrow \max}$ [W·m ⁻²]	K_{\downarrow} [MJ·m ⁻²]	K_{\uparrow} [MJ·m ⁻²]	Albedo [%]	L_{\uparrow} [MJ·m ⁻²]	L_{\downarrow} [MJ·m ⁻²]	K^* [MJ·m ⁻²]	L^* [MJ·m ⁻²]	Q^* [MJ·m ⁻²]
I*	410,4	46,2	26,7	56,4	844,2	787,0	19,5	-57,2	-37,8
II*	546,1	166,1	89,0	44,8	738,0	640,5	77,1	-97,5	-20,4
III*	823,2	315,3	81,8	24,2	882,3	743,6	233,6	-138,7	94,9
IV*	913,4	461,8	97,2	20,3	950,6	812,2	364,6	-138,4	226,2
V	1 042,2	627,4	131,8	21,4	1 048,0	882,0	495,6	-166,0	329,6
VI	1 075,2	673,5	127,2	19,6	1 071,2	911,3	546,3	-159,9	386,4
VII	972,0	421,4	75,0	17,8	1 098,0	1 004,2	346,4	-93,8	252,6
VIII	916,5	493,0	93,5	18,8	1 100,0	964,3	399,4	-135,7	263,7
IX	862,4	368,5	76,4	20,4	1 013,8	879,0	292,1	-134,8	157,3
X	590,2	199,4	38,9	19,3	961,1	844,0	160,5	-117,0	43,5
XI	329,9	88,9	18,2	22,5	852,6	767,0	70,7	-85,5	-14,8
XII	225,2	39,6	6,4	18,7	871,8	797,7	33,2	-74,1	-40,9
I–XII	1 075,2	3 901,1	862,1	25,3	11 431,5	10 032,8	3 039,1	-1 398,7	1 640,4

*Wartości częściowo uzupełnione na podstawie danych z Obserwatorium Meteorologicznego UMK w Toruniu/Values were partially filled in based on data from Meteorologic Observatory of NCU in Toruń.

TABELA 3. Miesięczne i roczne wartości składowych bilansu promieniowania w Koniczynie w 2012 r.
TABLE 3. Monthly and yearly values of radiation balance fluxes in Koniczynka in 2012

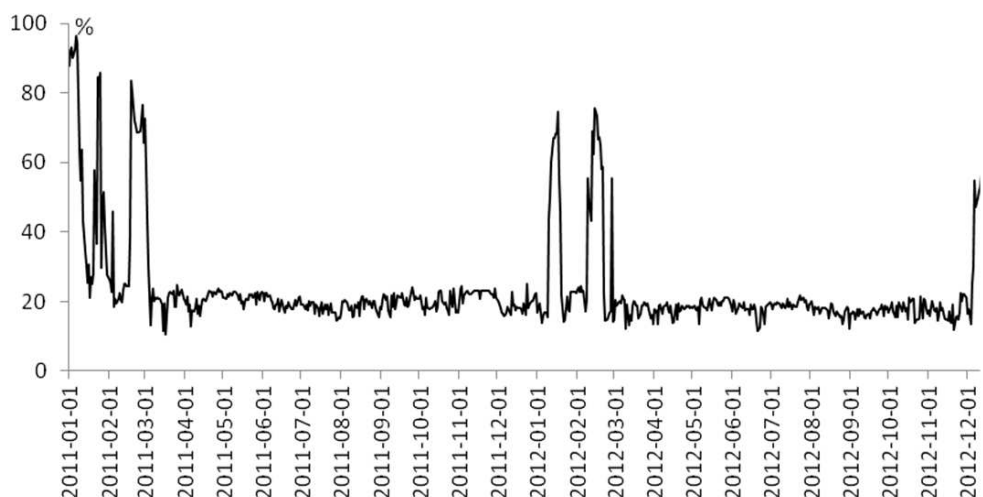
Mie- siąc Month	$K_{\downarrow \max}$ [W·m ⁻²]	K_{\downarrow} [MJ·m ⁻²]	K_{\uparrow} [MJ·m ⁻²]	Albedo [%]	L_{\uparrow} [MJ·m ⁻²]	L_{\downarrow} [MJ·m ⁻²]	K^* [MJ·m ⁻²]	L^* [MJ·m ⁻²]	Q^* [MJ·m ⁻²]
I	330,5	68,0	21,3	32,0	837,8	754,5	46,7	-83,3	-36,6
II	547,9	145,2	55,6	39,3	732,3	642,8	89,6	-89,5	0,1
III	694,7	329,4	62,5	18,0	911,4	768,0	267,0	-143,4	123,6
IV	985,9	436,6	80,7	17,7	943,9	805,7	356,0	-138,2	217,8
V	1 102,2	639,3	121,9	19,2	1 071,4	888,6	517,3	-182,9	334,5
VI	1 139,2	502,6	89,6	17,6	1 040,9	913,5	413,0	-127,3	285,7
VII	1 010,5	599,1	113,8	19,3	1 124,9	980,7	485,2	-144,1	341,1
VIII	946,8	476,3	84,1	17,2	1 112,6	974,2	392,2	-138,4	253,8
IX	810,7	347,3	60,4	17,0	999,9	874,1	286,9	-125,9	161,0
X	596,9	189,3	35,4	17,8	945,5	855,3	153,9	-90,1	63,8
XI	400,4	60,5	10,2	17,2	876,2	831,3	50,3	-44,9	5,5
XII	296,9	46,5	19,0	35,4	809,0	761,6	27,4	-47,4	-20,0
I–XII	1 139,2	3 840,1	754,5	22,3	11 405,8	10 050,4	3 085,6	-1 355,4	1 730,2



RYSUNEK 1. Przebieg sum dobowych promieniowania słonecznego w Koniczynce w latach 2011–2012
 FIGURE 1. Course of daily sums of solar radiation in Koniczynka in the years 2011–2012

określa albedo. Jest ono uzależnione od właściwości podłoża oraz wysokości słońca nad horyzontem. W Koniczynce wykonywano pomiary nad powierzchnią trawiastą, zmieniała się jednak wysokość trawy, jej gęstość i barwa, a w chłodnej połowie roku na powierzchni zalegała

pokrywa śnieżna. W miesiącach bez pokrywy śnieżnej albedo sięgało 16–22%. Po opadach śniegu albedo wzrastało do ponad 70–80%. W przebiegu albedo wyraźnie zaznaczają się okresy z pokrywą śnieżną oraz okres bezśnieżny z niewielkimi zmianami tego parametru (rys. 2).



RYSUNEK 2. Przebieg albedo w Koniczynce w latach 2011–2012
 FIGURE 2. Course of albedo in Koniczynka in the years 2011–2012

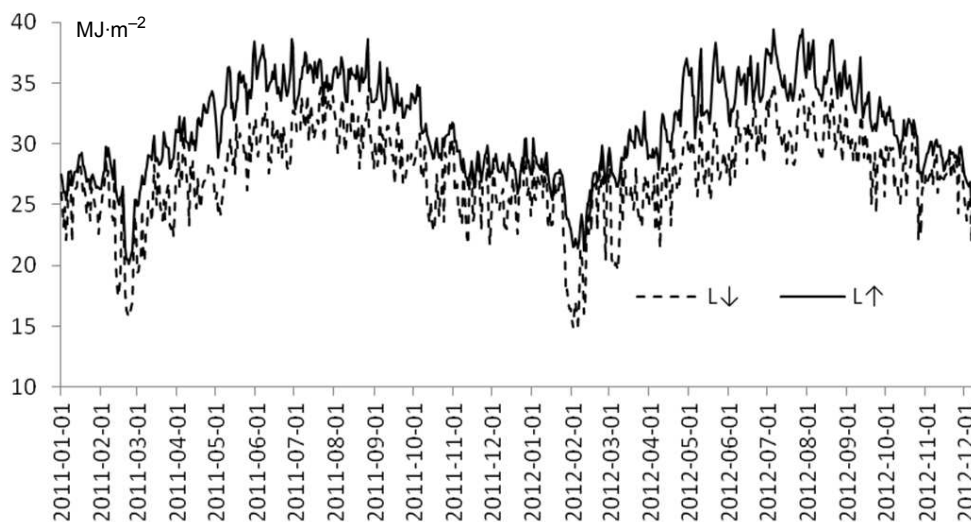
Bilans promieniowania krótkofalowego (K^*), stanowiący różnicę pomiędzy $K\downarrow$ i $K\uparrow$, osiągnął w Koniczynie w 2011 roku $3039,1 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ i $3085,6 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ w 2012 roku, przyjmując największe wartości w czerwcu 2011 roku ($546,3 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$) i maju 2012 roku ($517,3 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$), a najmniejsze w styczniu 2011 roku ($19,5 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$) i grudniu 2012 roku ($27,4 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$) – tabele 2 i 3. Wartości dobowe K^* osiągnęły największą wartość 28 czerwca 2011 roku ($24,79 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$).

Promieniowanie powierzchni gruntu i atmosfery

Promieniowanie ziemskie ($L\uparrow$) zaliczamy do długofalowego. Jest ono uzależnione od temperatury powierzchni gruntu. Zaznacza się wyraźny przebieg roczny $L\uparrow$, jego największe sumy mie-

sięczne wystąpiły w 2011 roku w sierpniu ($1100,0 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$), a w 2012 roku w lipcu ($1124,9 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$), a najmniejsze w lutym (odpowiednio $738,0$ i $732,3 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$) – tabele 1 i 2, rysunek 3. W miesiącach tych temperatura gruntu w Koniczynie osiąga najwyższe (lipiec) i najniższe (styczeń–luty) wartości (Uścika i Kejna, 2003). W sumie powierzchnia ziemi w Koniczynie straciła w 2011 roku $11\,431,5 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ i w 2012 roku $11\,405,8 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ energii. Znaczna część tej energii została pochłonięta przez atmosferę, a następnie zwrócona ku powierzchni ziemi. Pozostała energia w postaci wypromieniowania efektywnego opuściła układ ziemia – atmosfera.

Atmosfera ziemska jest również źródłem promieniowania. Zwrotne promieniowanie długofalowe atmosfery ($L\downarrow$) jest mniejsze ze względu na stratę części promieniowania emitowanej



RYSUNEK 3. Przebieg średnich dobowych wartości promieniowania długofalowego ziemi ($L\uparrow$) i atmosfery ($L\downarrow$) w Koniczynie w latach 2011–2012

FIGURE 3. Course of daily sums of long wave surface ($L\uparrow$) and atmosphere radiation ($L\downarrow$) in Koniczyna in the years 2011–2012

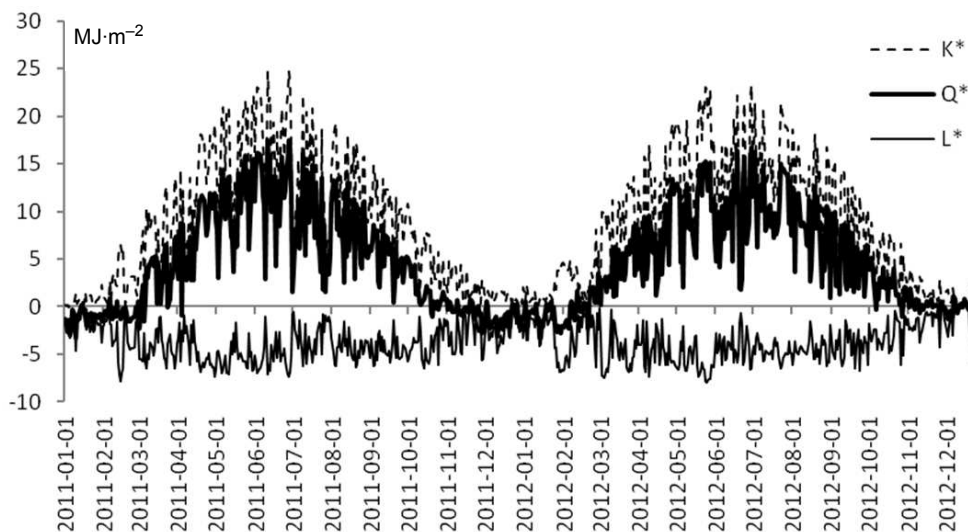
w kierunku przestrzeni kosmicznej. W analizowanych latach wyniosło odpowiednio 10 032,8 i 10 050,4 MJ·m⁻² (tab. 1 i 2). Również w przypadku tego strumienia zaznacza się przebieg roczny związany z nagrzewaniem i wychładzaniem atmosfery (rys. 3).

Bilans promieniowania długofalowego (L^*), uwzględniający różnicę między $L\uparrow$ i $L\downarrow$, jest ujemny we wszystkich miesiącach roku, osiągając największe wartości w ciepłej połowie roku, kiedy ogrzana powierzchnia ziemi emituje największe ilości $L\uparrow$ (rys. 3). Największe straty ciepła na drodze długofalowej wystąpiły w maju 2012 roku (-182,9 MJ·m⁻²) i maju 2011 roku (-166,0 MJ·m⁻²). W chłodnej połowie roku L^* zmniejsza się do -44,9 MJ·m⁻² (listopad 2012 r.). W miesiącu tym nad Polską zalegał wyż baryczny, a pogoda charakteryzowała się dużym wypromienianiem ciepła, zwłaszcza w czasie

bezczmurnych nocy. W sumie w 2011 roku powierzchnia ziemi straciła -1398,7 MJ·m⁻², a w 2012 roku -1355,4 MJ·m⁻² (tab. 2 i 3).

Bilans radiacyjny

Bilans radiacyjny (Q^*) obejmujący bilans krótkofalowy (K^*) i długofalowy (L^*) wykazuje wyraźny przebieg roczny. Najmniejsze średnie miesięczne wartości Q^* wystąpiły w styczniu (-37,8 MJ·m⁻²), lutym (-20,4 MJ·m⁻²) oraz w grudniu 2011 roku (-40,9 MJ·m⁻²). Wartości ujemne Q^* były charakterystyczne dla stycznia i lutego 2011 roku, w okresie od 19 października 2011 roku do 21 lutego 2012 roku oraz od 6 października do końca 2012 roku (rys. 4). Wartości dobowe przekraczały nawet -3 MJ·m⁻², np. 10.12.2011 -3,13 MJ·m⁻² i 28.12.2012 -3,92 MJ·m⁻². Największe



RYSUNEK 4. Przebieg bilansu krótkofalowego (K^*), długofalowego (L^*) i radiacyjnego (Q^*) w Koniczynie w latach 2011–2012

FIGURE 4. Course of the radiation balance short wave (K^*), long wave (L^*) and total (Q^*) in Koniczynka in the years 2011–2012

średnie miesięczne wartości Q^* osiągnął w czerwcu 2011 roku ($386,4 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$) i lipcu 2012 roku ($341,1 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$) – tabele 2 i 3. Największe sumy dobowe sięgały w 2011 roku $17,46 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ (28 czerwca), a w 2012 roku $16,90 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ (29 czerwca). W sumie powierzchni ziemi w Koniczynie otrzymała $1641,9 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ energii w 2011 roku i $1730,2 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ w 2012 roku.

Przebieg dobowy składowych bilansu promieniowania

W przebiegu dobowym składowych bilansu promieniowania, a zwłaszcza $K\downarrow$, zaznacza się wyraźna rytmiczność związana z ruchem obrotowym kuli ziemskiej i zmieniającą się wraz z nim wysokością słońca nad horyzontem. Wysokość ta zmienia się również w ciągu roku wraz z deklinacją słoneczną. Jednocześnie zmienia się moment wschodu i zachodu słońca oraz długość dnia i nocy. Natomiast składowe długofalowe bilansu promieniowania ($L\uparrow$, $L\downarrow$) zależą od temperatury ciała emitującego to promieniowanie, czyli od temperatury podłoża i atmosfery, które również wykazują cykliczność dobową i roczną. Regularny, uwarunkowany czynnikami astronomicznymi, przebieg dobowy składowych promieniowania jest zaburzany przez czynniki atmosferyczne, a zwłaszcza obecność chmur i innych zjawisk oraz ilość pary wodnej i powodujących zwiększone rozpraszanie i absorbcję promieniowania.

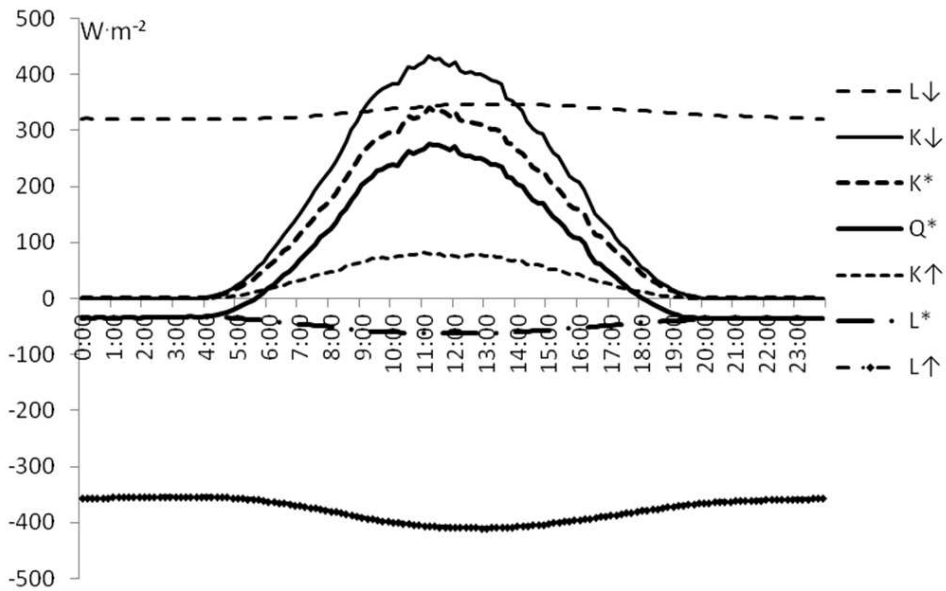
W Koniczynie w analizowanych latach wystąpiły bardzo zróżnicowane przebiegi dobowe składowych bilansu promieniowania w zależności od pory

roku i stanu atmosfery. Uśredniony przebieg dobowy dla roku jest regularny i symetryczny względem południa słonecznego (rys. 5 i 6). Przeciętny dopływ $K\downarrow$ przekracza w południe $400 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, w godzinach dopołudniowych charakteryzuje się on szybkim wzrostem, w godzinach około- i popołudniowych zaznaczają się zaburzenia związane z rozwojem chmur konwekcyjnych. Przebieg $K\uparrow$ również wykazuje maksimum w godzinach popołudniowych, kiedy to przy wzmożonym dopływie $K\downarrow$ odbija się większa ilość $K\uparrow$ przy zbliżonych wartościach albedo.

Przeciętne natężenie strumieni promieniowania długofalowego sięga $300\text{--}400 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, z tym że więcej promieniowania traci powierzchnia ziemi ($L\downarrow$). Obydwa strumienie $L\uparrow$ i $L\downarrow$ osiągają największe wartości w godzinach okołopołudniowych, kiedy powierzchnia ziemi osiąga najwyższą temperaturę, a atmosfera w ciągu dnia też się nagrzewa.

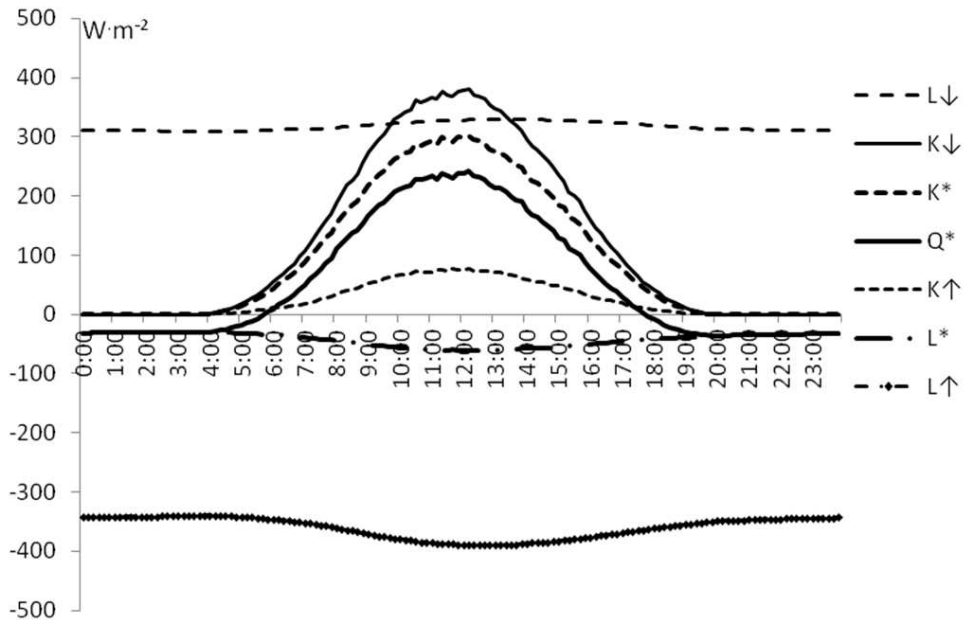
Bilans promieniowania krótkofalowego (K^*) sięga w godzinach południowych $300 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ i jest symetryczny względem południa zgodnie z wysokością słońca nad horyzontem. Bilans promieniowania długofalowego (L^*) jest przez całą dobę ujemny, a największe straty występują w południe, przy najwyższej temperaturze podłoża i największej emisji $L\uparrow$. Bilans radiacyjny podłoża (Q^*) uśredniony dla roku jest dodatni w godz. od 6 do 18, osiągając maksimum w południe (ok. $250 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$), natomiast w pozostałej części doby jest ujemny, utrzymując się na stałym poziomie ok. $-40 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

Pomiędzy analizowanymi latami występują niewielkie różnice w przebiegach dobowych składowych Q^* , wynikające z ilości promieniowania słonecznego



RYSUNEK 5. Uśredniony przebieg dobowy składowych bilansu promieniowania w Koniczyńce w 2011 r.

FIGURE 5. Mean daily course of radiation balance fluxes in Koniczynka in 2011



RYSUNEK 6. Uśredniony przebieg dobowy składowych bilansu promieniowania w Koniczyńce w 2012 r.

FIGURE 6. Mean daily course of radiation balance fluxes in Koniczynka in 2012

które dotarło do powierzchni ziemi w danym roku (większe w 2011 r.). Jednak korzystniejszy bilans promieniowania wystąpił w 2012 roku.

W poszczególnych dniach przebiegi dobowe składowych bilansu promieniowania są zróżnicowane w zależności od rozwoju zachmurzenia oraz innych zjawisk wpływających na ekstynkcję promieniowania słonecznego i promieniowania ziemskiego oraz atmosferycznego.

Dyskusja wyników

Uzyskane w Koniczynie wyniki są zbliżone do średnich wartości z pobliskich stacji w Toruniu i Bydgoszczy w latach 1956–1975 (tab. 4). Wartości z wielolecia nie zostały jednak bezpośrednio pomierzone, tylko wyliczone na podstawie innych parametrów meteorologicznych (Miara i in., 1987).

Promieniowanie słoneczne całkowite ($K\downarrow$) w Koniczynie w analizowanych latach (3901,1 MJ·m⁻² w 2011 r. i 3840,1 MJ·m⁻² w 2012 r.) było większe niż średnie z lat 1956–1975 w Toruniu (3689,3 MJ·m⁻²) i Bydgoszczy (3649,2 MJ·m⁻²), ale porównywalne do wyników z lat 1983–1991, kiedy to średnio wyniosło 3823,6 MJ·m⁻² (Wójcik, 1996). Natomiast promieniowanie odbite w 2011 roku było większe (862,1 MJ·m⁻²), a w 2012 roku mniejsze (754,5 MJ·m⁻²) od średniego z Torunia i Bydgoszczy. Albedo było zbliżone, a większe różnice w chłodnej połowie roku wynikały z obecności lub braku pokrywy śnieżnej. Bilans promieniowania krótkofalowego (K^*) był w analizowanych latach korzystniejszy w Koniczynie, jego wartości były o 180–200 MJ·m⁻²

większe od średnich z lat 1956–1975 w pobliskich miastach.

Wartości bilansu długofalowego (L^*) w Koniczynie okazały się mniejsze niż Bydgoszczy (1529,3 MJ·m⁻²). Różnice te zaznaczyły się zwłaszcza w chłodnej połowie roku. Bilans promieniowania powierzchni ziemi w analizowanych latach okazał się znacznie korzystniejszy w Koniczynie (w 2011 r. 1640,4 MJ·m⁻² i 1730,2 MJ·m⁻² w 2012 r.) w porównaniu do bilansu promieniowania w Bydgoszczy (1356,2 MJ·m⁻²).

Rozkład sum rocznych $K\downarrow$ w Polsce z lat 1961–1995 znajduje się w opracowaniu Bogdańskiej i Podogrodzkiego (2000). W Polsce nizinnej sumy te wahały się od 3528 MJ·m⁻² w Suwałkach do 3829 MJ·m⁻² w Kołobrzegu. Uzyskane wartości dla Koniczyny (3901,1 i 3840,1 MJ·m⁻²) są większe, co wynika ze znacznego usłonecznienia w latach 2011 i 2012. Mniejsze wartości $K\downarrow$ wystąpiły w Łodzi w latach 1997–2001 (3710,8 MJ·m⁻²), ale w 1999 roku zarejestrowano tam 3832,9 MJ·m⁻² (Podstawczyńska, 2007). Zbliżone do tych w Koniczynie wartości $K\downarrow$ wystąpiły we Wrocławiu-Swojcu (3919 MJ·m⁻²) w latach 1875–2004, przy istotnie statystycznej tendencji do zmniejszania $K\downarrow$ sięgającej –0,195 MJ·m⁻² na rok (Bryś i Bryś, 2007, Bryś, 2009). W Ojcowskim Parku Narodowym w 2008 roku zmierzono 3805 MJ·m⁻² na otwartej przestrzeni, a w 2009 roku 4068 MJ·m⁻², podczas gdy z zacienionym wąwozem w Dolinie Prądnika odpowiednio 3198 i 3369 MJ·m⁻² (Caputa i Wojkowski, 2009).

Sumy roczne Q^* w Koniczynie – 1640,4 MJ·m⁻² w 2011 roku i w 2012 roku 1730,2 MJ·m⁻² – są mniejsze w porównaniu Q^* w Ojcowskim Parku

TABELA 4. Porównanie składowych bilansu promieniowania w Koniczynie w latach 2011 (K2011) i 2012 (K2012) oraz w Toruniu (TOR) w latach 1956–1975* i 1983–1991** oraz Bydgoszczy (BYD) w latach 1956–1975*

TABLE 4. Comparison of balance radiation fluxes in Koniczynka in the years 2011 (K2011) and 2012 (K2012) and in Toruń (TOR) in the years 1956–1975* and 1983–1991** and Bydgoszcz (BYD) in the years 1956–1975*

Stacja Station	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I–XII
K_{\downarrow} [MJ·m ⁻²]													
K2011	46,2	166,1	315,3	461,8	627,4	673,5	421,4	493,0	368,5	199,4	88,9	39,6	3901,1
K2012	68,0	145,2	329,4	436,6	639,3	502,6	599,1	476,3	347,3	189,3	60,5	46,5	3840,1
TOR*	71,0	120,6	268,5	379,2	535,1	591,6	566,7	494,5	345,9	183,8	79,8	52,7	3689,3
TOR**	70,7	143,6	275,6	418,5	595,2	548,7	607,3	499,7	314,4	209,6	86,4	53,9	3823,6
BYD	67,9	117,5	261,3	372,3	532,0	593,1	569,2	491,7	336,6	178,3	78,3	51,2	3649,2
K_{\uparrow} [MJ·m ⁻²]													
K2011	26,7	89,0	81,8	97,2	131,8	127,2	75,0	93,5	76,4	38,9	18,2	6,4	862,1
K2012	21,3	55,6	62,5	80,7	121,9	89,6	113,8	84,1	60,4	35,4	10,2	19,0	754,5
TOR	36,0	55,4	72,9	61,2	99,5	109,2	107,9	97,0	68,4	37,8	18,0	21,4	784,6
BYD	32,9	51,1	67,3	59,7	98,9	109,8	108,2	94,9	66,6	36,9	17,7	19,5	763,4
A [%]													
K2011	56,4	44,8	24,2	20,3	21,4	19,6	17,8	18,8	20,4	19,3	22,5	18,7	–
K2012	32,0	39,3	18,0	17,7	19,2	17,6	19,3	17,2	17,0	17,8	17,2	35,4	–
TOR	50,7	45,9	27,1	16,1	18,6	18,5	19,0	19,6	19,8	20,6	22,6	40,6	–
BYD	48,4	43,5	25,7	16,0	18,6	18,5	19,0	19,3	19,8	20,7	22,6	38,2	–
K^* [MJ·m ⁻²]													
K2011	19,5	77,1	233,6	364,6	495,6	546,3	346,4	399,4	292,1	160,5	70,7	33,2	3039,1
K2012	46,7	89,6	267,0	356,0	517,3	413,0	485,2	392,2	286,9	153,9	50,3	27,4	3085,6
TOR	35,0	65,3	195,6	318,0	435,6	482,4	458,8	397,4	277,5	146,0	61,8	31,3	2904,7
BYD	35,0	66,4	194,1	312,6	433,1	483,3	461,0	396,8	270,0	141,4	60,6	31,6	2885,8

L^* [MJ·m ⁻²]													
K2011	-57,2	-97,5	-138,7	-138,4	-166,0	-159,9	-93,8	-135,7	-134,8	-117,0	-85,5	-74,1	-1398,7
K2012	-83,3	-89,5	-143,4	-138,2	-182,9	-127,3	-144,1	-138,4	-125,9	-90,1	-44,9	-47,4	-1355,4
TOR	-	-	-	-131,7	-141,1	-139,8	-134,2	-145,1	-145,2	-126,8	-	-	-
BYD	-107,0	-100,3	-138,3	-132,0	-145,4	-143,4	-139,2	-146,0	-150,0	-126,2	-96,9	-104,8	-1529,3
Q^* [MJ·m ⁻²]													
K2011	-37,8	-20,4	94,9	226,2	329,6	386,4	252,6	263,7	157,3	43,5	-14,8	-40,9	1640,4
K2012	-36,6	0,1	123,6	217,8	334,5	285,7	341,1	253,8	161,0	63,8	5,5	-20,0	1730,2
TOR	-	-	-	186,3	294,5	342,6	324,6	253,9	132,3	19,2	-	-	-
BYD	-71,9	-34,2	55,8	180,6	287,7	339,9	321,8	250,8	120,0	15,2	-36,3	-73,2	1356,2

*Dane z Torunia i Bydgoszczy w latach 1956–1975 za Miara i in., 1987/Data from Toruń and Bydgoszcz in the years 1956–1975 according to Miara et al., 1987

**Dane z Torunia w latach 1983–1991 za Wójcik 1996/Data from Toruń in the years 1983–1991 according to Wójcik, 1996

Narodowym, gdzie w 2008 roku zmierzono 2102 MJ·m⁻², a 2231 MJ·m⁻² w 2009 roku. W Dolinie Prądnika wartości te wyniosły zaledwie 1698 i 1775 MJ·m⁻² ze względu na znaczne zacinienie stanowiska pomiarowego (Caputa i Wojkowski, 2009). We Wrocławiu-Swojcu w 2009 roku Q^* sięgał średnio 61,2 W·m⁻² na miesiąc (w sumie 1930 MJ·m⁻²), osiągając największe wartości w lipcu – ok. 140 W·m⁻² (375 MJ·m⁻²) – Bryś (2010). Natomiast w Koniczynie najkorzystniejszy Q^* wystąpił w czerwcu 2011 roku (386,4 MJ·m⁻²) i w lipcu 2012 roku (341,1 MJ·m⁻²).

Uzyskane w Koniczynie uśrednione przebiegi dobowe potwierdzają wcześniej opisane prawidłowości z Krakowa, Gaik-Brzezowej (Bokwa i Matuszyk, 2007), Wrocławia-Swojca (Bryś, 2009), Felina k. Lublina (Kossowski i Łykowski, 2007) czy też terenów zurbanizowanych Górnego Śląska oraz Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej (Caputa i Leśniok, 2009, Caputa i Wojkowski, 2009, Wojkowski i Skowyrza, 2011). Potwierdzono znaczny wpływ zachmurzenia oraz sytuacji synoptycznej na przebieg składowych bilansu promieniowania (Wojkowski, 2007).

Przychody i straty energii opisane bilansem radiacyjnym są podstawą procesów abiotycznych i biotycznych zachodzących w środowisku. Wykazują przy tym zmienność w przestrzeni geograficznej względem szerokości geograficznej, czynników atmosferycznych, zależnych od cyrkulacji atmosferycznej oraz czynników lokalnych, z których najistotniejsze są właściwości podłoża.

Literatura

- Bogdańska, B. i Podogrocki, J. (2000). Zmienność całkowitego promieniowania słonecznego na obszarze Polski w okresie 1961-1995. *Mat. Badawcze IMGW, Seria Meteorologia* 30. Warszawa: IMGW.
- Bokwa, A. i Matuszyk, K. (2007). Zmiany promieniowania całkowitego w Krakowie i Gaiku-Brzezowej. *Pamiętnik Puławski*, 144, 5-12.
- Bryś, K. (2009). Zmiany bilansu promieniowania powierzchni bez roślin i porośniętej trawą we Wrocławiu-Swojcu. *Acta Agrophysica*, 14(2), 287-302.
- Bryś, K. (2010). Pochłanianie i wypromieniowanie energii słonecznej przez wybrane powierzchnie rolnicze. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 8(1), 213-224.
- Bryś, K. i Bryś, T. (2001). Wahania natężenia promieniowania słonecznego całkowitego w 55-letniej serii wrocławskiej (1946-2000). *Prace i Studia Geograficzne*, 29, 161-171.
- Bryś, K. i Bryś, T. (2003). Fluctuations of global solar radiation in 20th century at Wrocław and their relations to Wolf's number and circulation changes. *Acta Univ. Wratisl. St. Geogr.* 2542(75), 189-202.
- Bryś, K. i Bryś, T. (2007). Zmienność klimatu solarnego Wrocławia w latach 1875-2004. *Pamiętnik Puławski*, 144, 13-33.
- Budzik, T. (2006). Pomiary promieniowania krótkofalowego i długofalowego w Sosnowcu w latach 2002-2005 z wykorzystaniem bilansomierza CNR-1 (Net Radiometr Kipp & Zonen). *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, Geographia, Sectio B, LXI*, 100-106.
- Caputa, Z. (2005). Pomiary mikroklimatyczne, gradientowe i bilansu promieniowania za pomocą automatycznych stacji pomiarowych. W K. Krzemień, J. Trepińska i A. Bokwa (red.). *Rola stacji terenowych w badaniach geograficznych*. (strony 155-170). Kraków: Wyd. Inst. Geografii i Gosp. Przestrzennej UJ.
- Caputa, Z. i Leśniok, M. (2009). Struktura bilansu promieniowania na obszarach miejskich i wiejskich – system pomiarowy i wybrane wyniki pomiarów na Wyżynie Śląsko-Kra-kowskiej. *Prace Geograficzne UJ.*, 122, 23-38.
- Caputa, Z. i Wojkowski, J. (2009). Struktura promieniowania w pełnym zakresie widma na obszarze Ojcowskiego Parku Narodowego, Prądnik. *Prace i Materiały Muzeum im. prof. Władysława Szafera*, 19, 119-140.
- Chojnicki, B.H. i Olejnik, J. (2001). Formuła na obliczanie godzinowych wartości salda promieniowania na podstawie pomiarów promieniowania całkowitego i temperatury powietrza. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu, CCCXXIX*, 47-59.
- Hess, M. i Olecki, Z. (1990). Wpływ zanieczyszczenia powietrza na stosunki radiacyjne w Krakowie. *Zesz. Nauk. UJ, Pr. Geogr.*, 77, 29-43.
- Kossowski, J. i Łykowski, B. (2007). Sumy dzienne promieniowania słonecznego w okresie letnim w Felinie koło Lublina i ich związek z usłonecznieniem i zachmurzeniem. *Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 35, 74-84.
- Matuszko, D. i Struś, P. (2007). Przestrzenne zróżnicowanie warunków solarnych Pogórza Zachodniobeskidzkiego (próba metodyczna). *Pamiętnik Puławski*, 144, 105-113.
- Miara, K., Paszyński, J. i Grzybowski, J. (1987). Zróżnicowanie przestrzenne bilansu promieniowania na obszarze Polski. *Przegl. Geogr.*, 4, 487-509.
- Mlynczak, P.E., Smith, G.L., Hollmann, R. (2011) Annual Cycle of Surface Longwave Radiation. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 50, 1212-1224.
- Oke, T.R. (1996). *Boundary layer climates*. Wielka Brytania: Routledge.
- Olecki, Z. (1986). On the components of the radiation balance in Cracow. *Zesz. Nauk. UJ, Pr. Geogr.*, 69, 27-38.
- Paszyński, J. (1966). Atlas bilansu promieniowania w Polsce. *Dok. Geogr. IG PAN, Warszawa*, 4, 18-.
- Paszyński, J., Miara, K., Skoczek, J. (1999). Wymiana energii między atmosferą a podłożem jako podstawa kartowania topoklimatycznego. *Dok. Geogr., IG PAN, Warszawa*, 14, 127-.
- Podstawczyńska, A. (2007). Cechy solarne klimatu Łodzi. *Acta Geogr. Lodziensia, Folia Geogr. Phys.*, 7, 294-.

- Tamulewicz, J. (1988). Bilans radiacyjny w świetle formuł empirycznych na przykładzie powierzchni łąkowej w rejonie Turwi. *Badania Fizjograficzne nad Polską Zachodnią, A, Geogr. Fiz.*, 39, 131-150.
- Uscka, J. i Kejna, M. (2003). Temperatura gruntu w Koniczynie w latach 1994-2001. W W. Bochenek i E. Gil (red.) *Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Funkcjonowanie i monitoring geoekosystemów Polski ze szczególnym uwzględnieniem zjawisk ekstremalnych.* (strony 88-95). Warszawa: Biblioteka Monitoringu Środowiska.
- Uscka-Kowalkowska, J. (2010). The oldest heliographic and actinometric measurements in Poland. *Acta Agrophysica, Rozprawy i Monografie*, 5(184), 24-34.
- Wojkowski, J. (2007). Modelowanie dopływu promieniowania słonecznego przy użyciu GIS na przykładzie obszaru Ojcowskiego Parku Narodowego. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, B, LXI, Geographia*, 468-478.
- Wojkowski, J. i Skowera, B. (2011). Spatial differentiation in absorbed solar radiation in the Ojców National Park. W H. Štředová, J. Rožnovský i T. Litschmann (red.), *Mikroklima a mezoklima krajinných struktur a antropogenních prostředí. Skalní mlýn*, 2-4.2.2011. (strony 3-11). Czechy: CbKS.
- Wójcik, G. (1996) Globalne promieniowanie słoneczne i jego transmisja przez atmosferę w Toruniu. *Acta Universitatis Nicolai Copernici, Geografia XXVII*, 97, 65-73.
- Wójcik, G. i Marciniak, K. (red.) (1996). *Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego – Stacja Bazowa Koniczynka*, Warszawa – Toruń: Biblioteka Monitoringu Środowiska.

Kipp & Zonen nad powierzchnią trawiastą. W Koniczynie roczne sumy $K\downarrow$ wyniosły 3901,1 MJ·m⁻² w 2011 roku i 3840,1 MJ·m⁻² w 2012 roku. Średnie miesięczne wartości albedo wahały się od 16 do 57%, przekraczając 80% w dniach z pokrywą śnieżną. Bilans promieniowania krótkofalowego (K^*) sięgnął 3039,1 MJ·m⁻² w 2011 roku i 3085,6 MJ·m⁻² w 2012 roku. Wypromieniowanie długofalowe ($L\uparrow$) z cieplejszej powierzchni ziemi było większe (11 431,5 MJ·m⁻² w 2011 r. i 11 405,8 MJ·m⁻² w 2012 r.) niż zwrotne promieniowanie długofalowe atmosfery (odpowiednio 10 032,8 i 10 050,4 MJ·m⁻²), stąd też bilans promieniowania długofalowego (L^*) przyjął wartości ujemne (odpowiednio -1398,7 i -1355,4 MJ·m⁻²). Bilans radiacyjny (Q^*) był ujemny w styczniu i lutym 2011 roku oraz w okresie od listopada 2011 do stycznia 2012 roku i w grudniu 2012 roku, przyjmując najmniejsze wartości w grudniu 2011 roku (-40,9 MJ·m⁻²). Największe wartości Q^* osiągnął w czerwcu 2011 roku (386,4 MJ·m⁻²) i lipcu 2012 roku (341,1 MJ·m⁻²). W sumie w ciągu roku powierzchnia ziemi w Koniczynie otrzymała 1640,4 MJ·m⁻² w 2011 roku i 1730,2 MJ·m⁻² w 2012 roku. Bilans promieniowania w Koniczynie wykazuje cykliczność dobową i roczną zaburzaną przez zachmurzenie oraz parę wodną i aerozole.

Summary

Radiation balance in Koniczynka near Toruń in the years 2011–2012. This article describes changes in individual components of the solar radiation balance in an annual and diurnal course at Koniczynka near Toruń in the years 2011–2012. Observations were conducted on grass-covered surfaces, using a Kipp & Zonen CNR 4 net radiometer. At Koniczynka, the annual total incoming solar radiation ($K\downarrow$) amounted to 3901.1 MJ·m⁻² in 2011 and 3840.1 MJ·m⁻² in 2012. Mean monthly values of the albedo ranged from 16 to 57% and exceeded 80% when the ground

Streszczenie

Bilans promieniowania w Koniczynie koło Torunia w latach 2011–2012. W artykule przedstawiono zmiany poszczególnych składowych bilansu radiacyjnego w cyklu rocznym i dobowym w Koniczynie k. Torunia w latach 2011–2012. Badania prowadzono za pomocą Net Radiometer CNR 4 firmy

was covered by snow. The short wave radiation balance (K^*) reached $3039.1 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ in 2011 and $3085.6 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ in 2012. The upward long wave terrestrial radiation ($L\uparrow$) emitted from warmer surfaces was greater ($11,431.5 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ in 2011 and $11,405.8 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ in 2012) than the downward long wave atmospheric radiation ($10,032.8 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ and $10,050.4 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$, respectively), therefore the long wave radiation balance (L^*) was negative ($-1398.7 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ and $-1355.4 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$, respectively). The net radiation balance (Q^*) was negative in January and February 2011, and from November 2011 until January 2012, as well as in December 2012, with the lowest values in December 2011 ($-40.9 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$). The highest values of Q^* were observed in June 2011 ($386.4 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$)

and July 2012 ($341.1 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$). All in all, the ground surface at Koniczynka received $1640.4 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ in 2011 and $1730.2 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ in 2012. The net radiation balance at Koniczynka follows a diurnal and an annual cycle, disturbed by cloudiness, water vapour and aerosols.

Authors' address:

Marek Kejna, Joanna Uscka-Kowalkowska,
Andrzej Araźny
Katedra Meteorologii i Klimatologii
Uniwersytet Mikołaja Kopernika
ul. Lwowska 1, 87-100 Toruń
e-mail: marek.kejna@umk.pl,
joannauk@umk.pl,
andy@umk.pl
Poland