

Prądnik. Prace Muz. Szafera	28	91–100	2018
-----------------------------	----	--------	------

ZBIGNIEW CAPUTA

ul. Ks. A. Ficka 4/1, 40–421 Katowice
caputazbigniew@gmail.com

**UWARUNKOWANIA PROMIENIOWANIA KRÓTKOFALOWEGO
NA WYPUKŁEJ I WKŁĘSŁEJ FORMIE
WYŻYNY KRAKOWSKO-CZĘSTOCHOWSKIEJ**

**The conditions of solar radiation on the convex and concave landforms
on Kraków-Częstochowa Upland**

Abstract. The insolation conditions of dominant landforms, i.e. plateau and valley were determined on the basis of actinometrical measurements conducted on the Kraków-Częstochowa Upland. Two weather stations represented these forms: Lepianka Czajowska and Park Zamkowy in Ojców. On the basis of measurements of total (K_{\downarrow}) and reflected (K_{\uparrow}) radiation, the absorbed radiation (K^*) and the ability to reflect radiation through the surface – albedo were calculated. The series of measurements in the years 2008–2014 allowed to determine the relations between the elements of the radiation balance and the strength of these relations. Statistical relationships were found for the analyzed streams between the plateau and valley and the regression equations were determined.

Key words: total radiation, reflected radiation, net radiation, albedo, mesoclimate, Kraków-Częstochowa Upland

WSTĘP

Zróźnicowanie natężenia krótkofalowego promieniowania słonecznego – całkowitego (K_{\downarrow}) ze względu na ukształtowanie terenu ma szczególne znaczenie w obszarach krasowych (Caputa, Wojkowski 2015, 2016). Nierównomierny dopływ promieniowania do urozmaiconych form kształtuje warunki termiczno-wilgotnościowe (Caputa 2009; Caputa, Wojkowski 2013, 2015) oraz bilans energetyczny (Oke 1999). Największe kontrasty tych elementów obserwuje się pomiędzy wierzchowina a dnem głęboko wciętej doliny o charakterze kanionu (Bailey i in. 1999; Caputa, Partyka 2009; Caputa 2015a,b, 2016a,b).

Obszary krasowe charakteryzują się urozmaiconym pokryciem terenu co jest przyczyną zróźnicowanej zdolności odbijania promieniowania słonecznego – albedo (α) (Wojkowski, Caputa 2009a). Przykładem mogą być zdjęcia satelitarne, ukazujące zróźnicowanie przestrzenne i czasowe (pory roku) czy obserwacje pokrywy śnieżnej, jak np. nierównomierne jej zanikanie (Wojkowski, Partyka 2009).

Dopływ strumienia K_{\downarrow} i w różnym stopniu jego odbicie (K_{\uparrow}) od powierzchni stwarza szczególnie kontrastowe warunki mikroklimatyczne na Wyżynie Krakowsko-Częstochowskiej (Klein 1992; Michalik 2003; Bokwa i in. 2006, 2008; Caputa, Partyka 2009; Niedźwiedz 2009; Caputa, Wojkowski 2013). Rozpoznanie związków pomiędzy poszczególnymi składnikami bilansu promieniowania pozwoli odpowiedzieć na pytanie: co jest przyczyną tych kontrastów? Jest to istotne w modelowaniu bilansu energetycznego w krasowych formach terenu (Whiteman i in. 1989, 1996, 2004, 2007; Sun i in. 2003; Clements i in. 2003, Bartuś 2014; Lian i in. 2014). Ponadto zróżnicowanie insolacji znajduje odzwierciedlenie w rozmieszczeniu roślinności i bioróżnorodności w obszarach krasowych (Wołowski i in. 2004; Sołtys-Lelek 2009; Bárányi-Kevei 2011; Caputa, Andreychouk 2015).

Przedmiotem tego opracowania był związek promieniowania krótkofalowego słonecznego z promieniowaniem odbitym od powierzchni: wierzchowiny i dna kanionu w południowej części Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej. Natomiast celem, określenie siły tego związku oraz wykazanie podobieństwa i różnic dla charakterystycznych miejsc: wierzchowiny i dna doliny.

OBSZAR BADAŃ, METODA I MATERIAŁ BADAWCZY

Obszar Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej jest silnie urzeźbiony, charakteryzuje się urozmaiceniem form, ekspozycji i spadków, dużymi deniwelacjami i odkrytymi formami skalnymi (Gradziński i in. 2008). Dominują tutaj dwie formy: wierzchowina i dolina, charakteryzujące się najbardziej kontrastowymi warunkami klimatu lokalnego. Pierwszą reprezentuje stacja w Lepiance Czajowskiej (LCz plateau – o współrzędnych geograficznych $50^{\circ}12'23''N$, $19^{\circ}47'04''E$, wysokości 483 m n.p.m.). Stacja ta leży na terenie płaskim, o małym zasłonięciu horyzontu (2% głównie w kierunku zachodnim) i dobrze reprezentuje warunki klimatyczne najwyższej części Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej (Caputa, Leśniok 2009). Natomiast specyfikę głębokich dolin o charakterze kanionów reprezentuje stacja PZ dolina (o współrzędnych geograficznych $50^{\circ}12'35''N$, $19^{\circ}49'44''E$, wysokości 322 m n.p.m.). Stacja ta jest zlokalizowana na dnie wąskiej (50–150m), głębokiej (ponad 100 m) doliny Prądnika o generalnym przebiegu północno-południowym. Zasłonięcie horyzontu jest duże (10–35°) ze względu na strome zbocza o ekspozycji wschodniej i zachodniej oraz drzewa. Taka lokalizacja stacji oddaje dobrze warunki klimatyczne wklęsłych form terenu (Partyka, Caputa 2009).

Obie stacje wykonują pomiary elementów bilansu promieniowania przy pomocy CNR1 (Kipp&Zonen) na wysokości 1,5 m nad gruntem. Pomiary wykonywano z interwałem 10s i zapisywano przy pomocy CR1000 (Campbell) jako średnie 10 min. Strumienie K_{\downarrow} i K_{\uparrow} mierzono za pomocą pyranometru CM3 (305–2800 nm) o błędzie pomiaru do 6% ($-10^{\circ}C \div 40^{\circ}C$) i $\pm 25 W \cdot m^{-2}$ przy $1000 W \cdot m^{-2}$. Czujnik CNR1 (składający się z dwóch CM3 i CG3) był okresowo kalibrowany przez porównanie do CNR1 i CNR4 pracujących na stacji WNoZ w Sosnowcu.

Do analizy wykorzystano serię danych z lat 2008–2014. Uporządkowano i następnie usunięto wartości zerowe K_{\downarrow} i K_{\uparrow} z godzin nocnych. Wartości sum godzinnych promieniowania obliczono w czasie UTC (czas urzędowy letni = UTC+2 godz.). Tak przygotowane sumy promieniowania poddano analizie w programie Statistica. Rozkład zmiennych był różny od rozkładu normalnego. Strumień promieniowania był silnie zróżnicowany w ciągu doby jak i roku ze względu na położenie Słońca.

WYNIKI

Zróznicowanie promieniowania wierzchowina – dolina

Duże zróznicowanie w dopływie strumienia K_{\downarrow} ze względu na formę terenu notowano pomiędzy otwartym terenem wierzchowiny a dnem doliny (Tab. 1). Największe różnice pomierzono latem, nawet $K_{\downarrow_{dolina}} - K_{\downarrow_{plateau}} = -78 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ w czerwcu a najmniejsze w miesiącach zimowych. Udział procentowy tych różnic w sumie rocznej był najwyższy w czerwcu 12% a najniższy w styczniu i grudniu 3% (Tab. 2). Dowodzi to jak duże znaczenie miało ograniczenie dostawy promieniowania przez rzeźbę terenu (skały, stoki) oraz pokrycie terenu (roślinność) do wklęsłych form takich jak doliny, wąwozy, kaniony, itp. Dlatego omawiana różnica przyjmowała ujemną wartość dla całego roku $-643 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$. Odmienne kształtowała się różnica $K_{\uparrow_{dolina}} - K_{\uparrow_{plateau}}$, gdyż dodatnie wartości obliczono dla wiosny i lata, nawet $19 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ dla lipca a ujemne dla miesięcy jesienią i zimą. Udział procentowych tych różnic był silnie zróznicowany ze względu na małe wartości. Jednak wyróżniają się miesiące lipiec i sierpień wysokim udziałem w sumie rocznej, odpowiednio 143% i 95%. Było to związane z występującą roślinnością o dużych liściach na wilgotnym i żyznym dnie doliny. Natomiast murawa na wierzchowinie dominowała gatunkami tra-

Tabela 1. Średnie miesięczne i roczne sumy K_{\downarrow} , K_{\uparrow} i K^* [$\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$] na wierzchowinie (LCz) i dnie doliny (PZ) oraz różnice pomiędzy PZ–LCz w latach 2008–2014

Table 1. Average monthly and annual totals of K_{\downarrow} , K_{\uparrow} and K^* [$\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$] at the plateau (LCz) and the bottom of the canyon (PZ) and the differences between PZ–LCz in 2008–2014

Miesiąc – Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Rok Year	
K_{\downarrow}	LCz –plateau	83	157	305	457	544	560	595	514	340	220	109	71	3955
	PZ – dolina	65	117	238	388	473	482	522	442	280	164	77	52	3312
	PZ – LCz	-18	-40	-67	-68	-72	-78	-74	-71	-60	-56	-32	-19	-643
K_{\uparrow}	LCz –plateau	45	75	87	80	95	94	90	83	55	37	19	25	785
	PZ – dolina	42	66	73	83	101	95	110	95	58	36	18	23	799
	PZ – LCz	-4	-8	-14	3	5	1	19	13	3	-1	-1	-2	14
K^*	LCz –plateau	38	82	218	377	449	466	505	431	285	183	90	46	3170
	PZ – dolina	23	51	165	305	372	387	412	347	222	128	59	30	2500
	PZ – LCz	-15	-31	-53	-71	-77	-79	-93	-84	-63	-55	-31	-17	-670

wiastymi o długich i cienkich liściach, które słabo odbijały promieniowanie. Największe różnice salda $K_{\downarrow_{dolina}}^* - K_{\downarrow_{plateau}}^*$ występowały od marca do października z maksimum $-93 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ w lipcu. Było to związane z dużym stosunkiem promieniowania pochłoniętego (K^*) w wartościach K_{\downarrow} (Tab. 3). Udział ten w skali roku wynosi 80% dla wierzchowiny i o 5% mniej dla doliny.

Zależności pomiędzy składnikami bilansu promieniowania

Duże zależności statystyczne obliczono dla strumieni K_{\downarrow} i K^* pomiędzy wierzchowiną a doliną (Tab. 4). Wykres rozrzutu wartości K_{\downarrow} i K^* pomierzonych na analizowanych stacjach uprawnia do wyznaczenia równania regresji $K_{\downarrow_{dolina}} = -0,47 + 0,88 * K_{\uparrow_{plateau}}$ oraz

$K_{dolina}^* = -0,38 + 0,83 * K_{plateau}^*$ (Ryc. 1). Potwierdza to duży wpływ strumienia K_{\downarrow} w saldzie K^* . Mniejsze zależności stwierdzono dla strumienia K_{\uparrow} oraz albedo ze względu na pokrycie terenu (długość zalegania śniegu oraz różnice w składzie gatunkowym muraw).

Tabela 2. Średni miesięczny udział K_{\downarrow} , K_{\uparrow} i K^* [%] w sumie rocznej na wierzchowinie (LCz) i dnie doliny (PZ) w latach 2008–2014

Table 2. Average monthly percentage of K_{\downarrow} , K_{\uparrow} and K^* [%] in annual totals at the plateau (LCz) and the bottom of the canyon (PZ) in 2008–2014

Miesiąc – Month		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Rok Year
K_{\downarrow}	LCz – plateau	2	4	8	12	14	14	15	13	9	6	3	2	100
	PZ – dolina	2	4	7	12	14	15	16	13	8	5	2	2	100
	PZ – LCz	3	6	10	11	11	12	11	11	9	9	5	3	100
K_{\uparrow}	LCz – plateau	6	10	11	10	12	12	12	11	7	5	2	3	100
	PZ – dolina	5	8	9	10	13	12	14	12	7	5	2	3	100
	PZ – LCz	-26	-63	-102	21	40	4	143	95	20	-10	-7	-16	100
K^*	LCz – plateau	1	3	7	12	14	15	16	14	9	6	3	1	100
	PZ – dolina	1	2	7	12	15	15	16	14	9	5	2	1	100
	PZ – LCz	2	5	8	11	12	12	14	13	9	8	5	3	100

Tabela 3. Procentowy udział miesięcznych i rocznych sum K^* w K_{\downarrow} [%] na wierzchowinie (LCz) i dnie doliny (PZ) oraz różnice pomiędzy PZ–LCz w latach 2008–2014

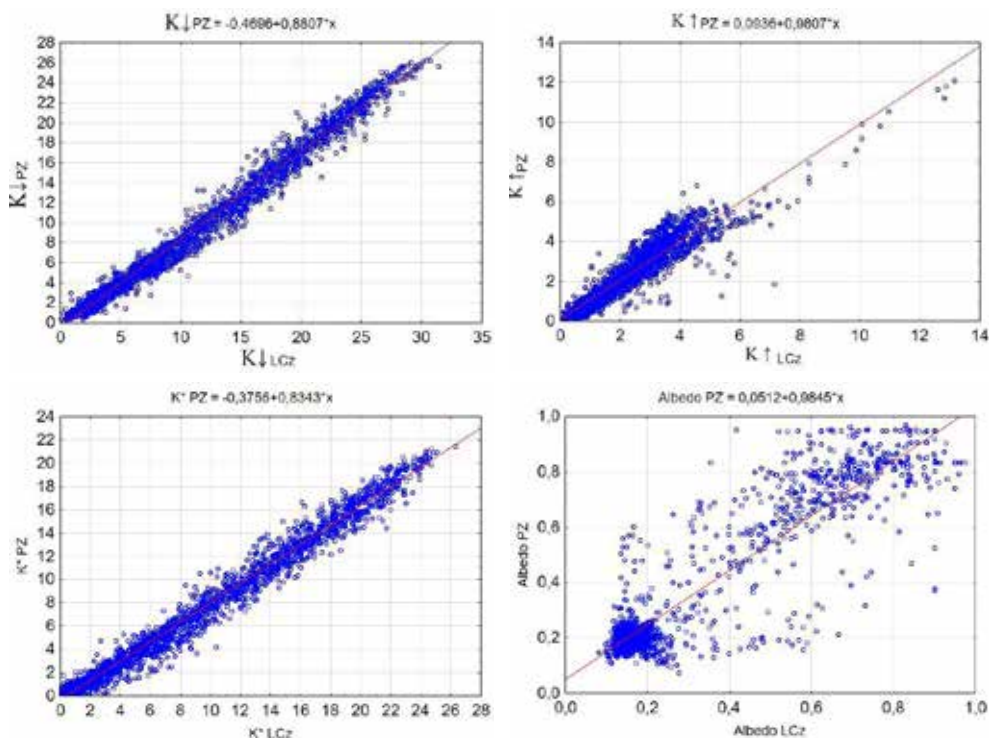
Table 3. Percentage share of monthly and annual totals of K^* in K_{\downarrow} [%] at the plateau (LCz) and the bottom of the canyon (PZ) and the differences between PZ–LCz in 2008–2014

Miesiąc – Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Rok Year
LCz – plateau	46	52	72	82	82	83	85	84	84	83	82	65	80
PZ – dolina	36	43	69	79	79	80	79	78	79	78	76	57	75
PZ–LCz	-10	-9	-2	-4	-4	-3	-6	-5	-4	-5	-6	-9	-5

Tabela 4. Współczynnik korelacji Pearsona dla sum dobowych K_{\downarrow} , K_{\uparrow} , K^* i albedo (jako $K_{\uparrow}/K_{\downarrow}$) w latach 2008–2014

Table 4. Pearson correlation coefficient for daily totals K_{\downarrow} , K_{\uparrow} , K^* and albedo (as $K_{\uparrow}/K_{\downarrow}$) in 2008–2014

	K_{\downarrow} plateau	K_{\uparrow} plateau	Albedo plateau	K^* plateau
K_{\downarrow} dolina	0,99	0,72	-0,38	0,98
K_{\uparrow} dolina	0,82	0,94	0,04	0,74
Albedo dolina	-0,36	0,17	0,92	-0,45
K^* dolina	0,98	0,61	-0,47	0,99



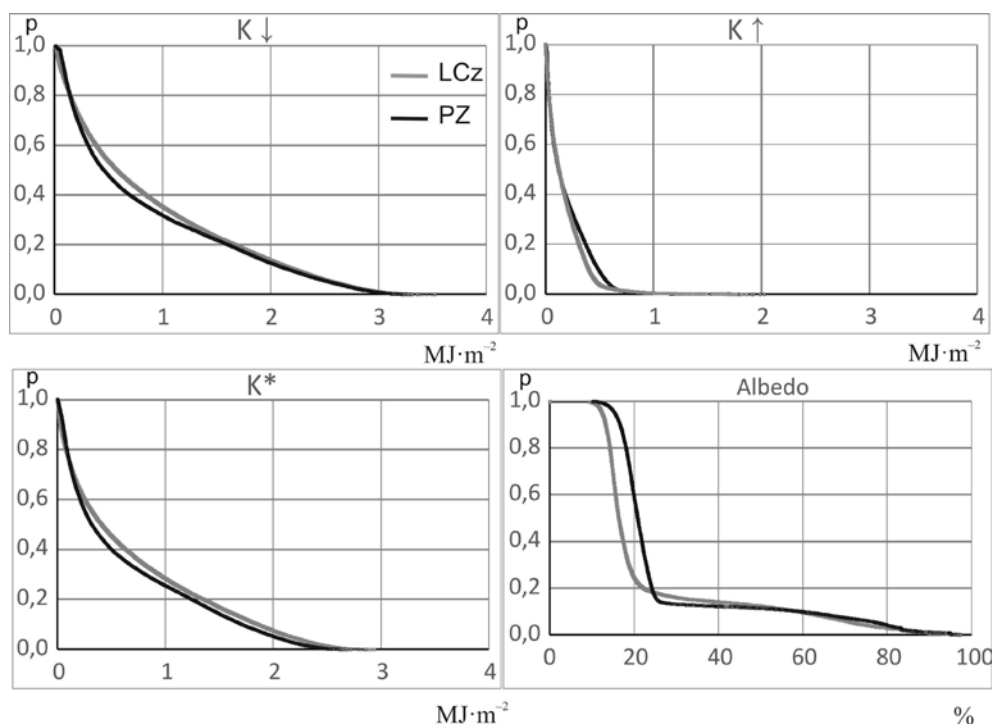
Ryc. 1. Relacje wartości sum dobowych K_{\downarrow} , K_{\uparrow} , K^* [$\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$] i albedo pomiędzy wierzchołną (LCz) a dnem doliny (PZ) w latach 2008–2014

Fig. 1. The relationship between daily total of K_{\downarrow} , K_{\uparrow} , K^* [$\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$] and albedo at plateau (LCz) and the bottom of canyon (PZ) in 2008–2014

DYSKUSJA WYNIKÓW

Największe ograniczenie dopływu strumienia K_{\downarrow} pomierzono w miesiącach jesiennych i zimowych gdy Słońce przemieszczało się nisko nad punktami pomiarowymi. Zbliżony udział procentowy analizowanych sum promieniowania w sumie rocznej w poszczególnych miesiącach świadczy o dominującym wpływie rzeźby terenu (Tab. 2). Wpływ pokrycia terenu zaznacza się tylko w przypadku strumienia K_{\uparrow} latem ze względu na zróżnicowanie gatunkowe murawy w punktach pomiarowych. Albedo powierzchni jest silnie powiązane z ekologią występujących gatunków (Caputa 2016d). Dodatkowo mniejsze odbicie promieniowania na wierzchołnie było spowodowane suchą murawą w okresie lata co potwierdzają obserwacje koszonej murawy na stacji WNoZ w Sosnowcu (Caputa 2002).

Wysoki współczynnik korelacji pomiędzy sumami promieniowania dla wierzchołny i dna doliny pozwolił na wyznaczenie równań regresji. Upoważnia to do rekonstrukcji brakujących danych lub modelowania strumieni promieniowania. Największe zróżnicowanie stwierdzono dla wartości albedo w okresie wiosennym ze względu na zmienną i nie ciągłą pokrywą śnieżną (Wojkowski, Partyka 2009).



Ryc. 2. Skumulowane krzywe prawdopodobieństwa (p) sum dobowych K_{\downarrow} , K_{\uparrow} , K^* [$\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$] i albedo na wierzchownie (LCz) i dnie doliny (PZ) w latach 2008–2014

Fig. 2. Cumulative probability (p) curves of daily totals of K_{\downarrow} , K_{\uparrow} , K^* [$\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$] and albedo at plateau (LCz) and the bottom of canyon (PZ) in 2008–2014

Aby odpowiedzieć na pytanie dla jakich wartości strumieni promieniowania występowało największe zróżnicowanie pomiędzy wierzchowną a doliną wykreślono krzywe prawdopodobieństwa (Ryc. 2). Dla promieniowania K_{\downarrow} ta różnica, kilku punktów procentowych występuje w środkowym zakresie $0,4\text{--}1,5 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$. W tym zakresie z większym prawdopodobieństwem występowały sumy K_{\downarrow} na wierzchownie niż w dnie doliny. Odwrotną zależność obliczono dla strumienia K_{\uparrow} , gdy dla przedziału $0,3\text{--}0,6 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ o kilka punktów procentowych większym prawdopodobieństwem występowały sumy tego strumienia na dnie doliny. Były to jednak małe wartości i w wąskim przedziale. Dlatego prawdopodobieństwo sum K^* było wyższe dla wierzchowny niż dla analogicznych sum pomierzonych w dolinie.

Interesująco kształtowało się prawdopodobieństwo wartości albedo dla murawy na wierzchownie i na dnie doliny. Dla małych wartości albedo $17\text{--}24\%$ obliczono większe prawdopodobieństwo dla dna doliny (nawet $p=0,4$). Potwierdza to silne odbijanie promieniowania przez dominujące liście bujnej roślinności łąki świeżej w dolinie. Podobnie, ale mniejsze prawdopodobieństwo stwierdzono dla wysokich wartości albedo powyżej 60% . Było to związane z dłuższym zaleganiem śniegu w głębokich i ocienionych dolinach (Wojkowski 2009).

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Na podstawie pomiarów promieniowania słonecznego na stacji Lepianka Czajowska oraz Park Zamkowy w Ojcowie dla wielolecia 2008–2014 stwierdzono:

Ograniczenie dopływu strumienia K_{\downarrow} do dna głęboko wciętego kanionu przez rzeźbę terenu (szczyty, zbocza) o 16% w stosunku do otwartego terenu wierzchołki.

Silne odbijanie promieniowania K_{\uparrow} przez murawę w dnie doliny latem było efektem wyższego albedo tej powierzchni niż murawy na wierzchołku, co potwierdziły krzywe skumulowane prawdopodobieństwa.

Największe różnice pomierzono latem, nawet $K_{\downarrow \text{dolina}} - K_{\downarrow \text{plateau}} = -78 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ w czerwcu a najmniejsze w miesiącach zimowych. Udział procentowy tych różnic w sumie rocznej był najwyższy w czerwcu 12% a najniższy w styczniu i grudniu 3%.

Wysoki współczynnik korelacji Pearsona obliczono dla strumieni promieniowania K_{\downarrow} i salda K^* odpowiednio 0,99 i 0,98. Dlatego wyznaczono równania regresji $K_{\downarrow \text{dolina}} = -0,47 + 0,88 * K_{\uparrow \text{plateau}}$ oraz $K_{\downarrow \text{dolina}}^* = -0,38 + 0,83 * K_{\uparrow \text{plateau}}^*$.

LITERATURA

Bailey W.G., Oke T.R., Rouse W.R. (red.) 1999. *The Surface Climates of Canada* McGill-Queen University Press. Montreal-Kingston: 396 ss.

Bárány-Kevei, I. 2011. *Changes in the vegetation of doline in Aggtelek and Bükk mountains*. „Acta Climatologica et Chorologica”, **44/45**: 25–30.

Bartuś T. 2014. *Model zmienności topoklimatycznej rejonu Ojcowskiego Parku Narodowego*. „Prądnik. Prace Muz. Szafera”, **24**: 25–46.

Bokwa A., Caputa Z., Durło G., Maciejowski W., Wojkowski J. 2006. *Zróznicowanie warunków aktywności promieniowania słonecznego i termicznych w południowej części Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej*. „Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska”, Sectio B. Geographia, Geologia, Mineralogia et Petrographia, **41**: 92–99.

Bokwa A., Caputa Z., Durło G., Maciejowski W., Wojkowski J. 2008. *Meso- and microclimatic conditions in the southern part of the Cracow-Częstochowa Upland*, EJPAU, **11**(3), #03.

Caputa Z. 2002. *Struktura bilansu promieniowania na wybranych powierzchniach czynnych Wyżyny Śląsko-Krakowskiej*. Maszynopis, Katedra Klimatologii, Uniwersytet Śląski. Sosnowiec, s. 190.

Caputa Z. 2009. *Kontrasty mezo- i mikroklimatyczne w Ojcowskim Parku Narodowym*. „Prądnik. Prace Muzeum Szafera”, **19**: 195–218.

Caputa Z. 2015a. *Dopływ promieniowania słonecznego do południowej części Wyżyny Krakowskiej w latach 2008–2014*. „Prądnik. Prace Muzeum Szafera”, **25**, 129–138.

Caputa Z. 2015b. *Dopływ promieniowania słonecznego do wklęsłych form terenu południowej części Wyżyny Krakowskiej w latach 2008–2014*. „Prądnik. Prace Muzeum Szafera”, **25**, 139–148.

Caputa Z. 2016a. *Net solar radiation in the southern part of the Kraków-Częstochowa Upland in the period of 2008–2014*. „Acta Agrophysica”, **23**, 2: 129–141.

Caputa Z. 2016b. *The impact of solar radiation on the temperature of the exposed rocks of the karst canyon (Kraków-Częstochowa Upland, Poland)*. „Bull. Geogr. Phys. Geogr.” Ser., **10**: 19–30.

Caputa Z. 2016c. *Zróźnicowanie dopływu promieniowania słonecznego do południowej części Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej w latach 2008–2014*. „Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne”, **147**: 81–97.

Caputa Z. 2016d. *The structure of the radiation balance on a sandy surface: case the Błęków desert, Silesian Upland*. “Ekologia” (Bratislava), **35**, 2: 114–125. DOI:10.1515/eko-2016-0009

Caputa Z., Andreychouk V. 2015. *The ecological diversity within the karst canyon as a result of solar radiation – the educational aspect (case study of the Ojców National Park, Poland)*. International Scientific and Practical Conference International Scientific and Practical Conference Protected Karst Territories – Education and Training. Sofia, Bulgaria, s. 22–31.

Caputa Z., Leśniok M. 2009. *Struktura bilansu promieniowania na obszarach miejskich i wiejskich – system pomiarowy i wybrane wyniki pomiarów na wyżynie śląsko-krakowskiej*. „Prace Geograficzne”, **122**: 23–38.

Caputa Z., Partyka J. (red.). 2009. *Współczesne zmiany środowiska przyrodniczego w różnych warunkach topoklimatycznych Wyżyny Krakowskiej na przykładzie Ojcowskiego Parku Narodowego*. „Prądnik. Prace Muz. Szafera”, **19**: 332 ss.

Caputa Z., Wojkowski J. 2013. *Wpływ promieniowania słonecznego na temperaturę powietrza i gleby na Wyżynie Krakowskiej*. „Prądnik. Prace Muz. Szafera”, **23**: 65–74.

Caputa Z., Wojkowski J. 2015. *Structure of radiation balance in diverse types of relief*. „Ann. Warsaw Univ. of Life Sci.” – SGGW, Land Reclam., **47**, 4: 343–354.

Clements G., Whiteman C., Horel J. 2003. *Cold-air-pool structure and evolution in a mountain basin: Peter Sinks, Utah*. „J. Appl. Meteorol.”, **42**: 752–768.

Falarz M. 2007. *Snow cover variability in Poland in relation to the macro- and mesoscale atmospheric circulation in the twentieth century*. “International Journal of Climatology”, **27**: 2069–2081.

Gradziński M., Gradziński R., Jach R. 2008. *Geologia, rzeźba i zjawiska krasowe okolic Ojcowa*, [w:] *Monografia Ojcowskiego Parku Narodowego. Przyroda*, red. A. Klasa, J. Partyka. Ojców, s. 31–95.

Klein J. 1992. *Radiacyjne czynniki klimatu i parowanie w Ojcowskim Parku Narodowym (na przykładzie Doliny Sąpsowskiej)*. „Prądnik. Prace Muz. Szafera”, **5**: 29–34.

Kozłowska-Szczęśna T., Podogrocki J. 1995. *Antropogeniczne zmiany warunków radiacyjnych w Warszawie*, [w:] *Klimat i Bioklimat Miast*, red. K. Kłysik, Wydawnictwo UŁ. Łódź, s. 87–97.

Lian Y., You G. J.-Y., Lin K., Jiang Z., Zhang Ch., Qin X. 2014. *Characteristics of climate change in southwest China karst region and their potential environmental impacts*. „Environ. Earth Sciences”: 1–8.

Litschmann T., Rožnovský J., Středa T., Středová H., Hebelka J. 2012. *Temperature and humidity conditions of Macocha Abyss*. „Contribution to Geophysics and Geodesy”, **42**, 3: 227–242.

Michalik S. 2003. *Charakterystyka fitosocjologiczna stałych powierzchni badawczych „Chełmowa Góra”, „Czyżówki”, „Grodzisko” w Ojcowskim Parku Narodowym*. „Prądnik. Prace Muz. Szafera”, **14**: 7–64.

Niedźwiedź T. 2009. *Wpływ cyrkulacji atmosfery na klimat lokalny Ojcowskiego Parku Narodowego*. „Prądnik. Prace Muzeum Szafera”, **19**: 181–194.

Oke T. R. 1999. *Surface climate processes*, [w:] *The surface climates of Canada*, red. W. G. Bailey, T. R. Oke, W. R. Rouse. McGill-Queen University Press, s. 21–43.

Paszyński J., Miara K. (red.). 1994. *Atlas Rzeczypospolitej Polskiej*. Główny Geodeta Kraju, Warszawa, 31.2 map.

Paszyński J., Niedźwiedz T. 1991. *Klimat*, [w:] *Geografia Polski, Środowisko przyrodnicze*, red. L. Starkel, Wyd. Naukowe PWN. Warszawa, s. 296–355.

Paszyński J. 2004. *Wymiana energii na powierzchni czynnej jako podstawa klasyfikacji topoklimatyczne*. „Acta Agrophysica”, **3**, 2: 351–358.

Sołtys-Lelek A. 2009. *Struktura i zmiany zbiorowisk roślinnych na powierzchniach badawczych „Grodzisko” i w dolinie Sąspowskiej (Ojcowski Park Narodowy)*. „Prądnik. Prace Muzeum Szafera”, **19**: 265–320.

Steinacker R., Whiteman C. D., Dorninger M., Pospichal B., Eisenbach S., Holzer A. M., Weiss P., Mursch-Radlgruber E., Baumann K. 2007. *A sinkhole field experiment in the Eastern Alps*. „Bull. Amer. Meteor. Soc.”, **88**: 701–716.

Sun J., Burns S. P., Delany A. C., Oncley S. P., Horst T. W., Lenschow D. H. 2003. *Heat balance in the nocturnal boundary layer during CASES-99*. „J. Appl. Meteor.”, **42**: 1649–1666.

Whiteman C. D., Allwine K. J., Orgill M. M., Fritschen L. J., Simpson J. 1989. *Deep valley radiation and surface energy budget microclimates. Part II: Energy budget*. „J. Appl. Meteor.”, **28**: 427–437.

Whiteman C. D., McKee T. B., Doran J. C. 1996. *Boundary layer evolution within a canyonland basin. Part I: Mass, heat, and moisture budgets from observations*. „J. Appl. Meteor.”, **35**: 2145–2161.

Whiteman C. D., Haiden T., Pospichal B., Eisenbach S., Steinacker R. 2004. *Minimum temperatures, diurnal temperature ranges and temperature inversions in limestone sinkholes of different size and shape*. „J. Appl. Meteor.”, **43**: 1224–1236.

Whiteman, C. D., Wekker S. F. J., Haiden B. 2007. *Effect of Dewfall and Frostfall on Nighttime Cooling in a Small, Closed Basin*. „American Meteorological Society”, **46**: 3–13.

Wojkowski J. 2009. *Zróżnicowanie przestrzenne pokrywy śnieżnej na obszarze Ojcowskiego Parku Narodowego*. „Prądnik. Prace Muz. Szafera”, **19**, 89–108.

Wojkowski J., Caputa Z. 2009a. *Przestrzenne i czasowe zróżnicowanie albedo na obszarze Ojcowskiego Parku Narodowego*. „Prądnik. Prace Muz. Szafera”, **19**: 153–168.

Wojkowski J., Partyka J. 2009b. *Warunki śnieżne w Ojcowie*. „Prądnik. Prace Muz. Szafera”, **19**: 75–88.

Wojkowski J., Caputa Z. 2009. *Modelowanie dopływu promieniowania słonecznego na obszarze Ojcowskiego Parku Narodowego*. „Prądnik. Prace Muz. Szafera”, **19**: 141–152.

Wojkowski J., Caputa Z. 2015. *The impact of karst relief on the diversity of insolation conditions and mesoclimate variation (case study of the Cracow-Czestochowa Upland, Poland)*. International Scientific and Practical Conference Protected Karst Territories – Education and Training. Sofia, Bulgaria, s. 12–21.

Wojkowski J., Caputa Z. 2016. *The impact of karst relief on the diversity of insolation conditions and mesoclimate variation, Case study of the Ojców National Park, Poland*. „International Journal of Geoheritage”, **4**, 1: 1–11.

Wojkowski J., Caputa Z. 2016. *Modelling and validation of the incoming solar radiation for diverse relief. Application of the ARC GIS solar radiation model. Proceedings GIS Odyssey 2016*. Croatian Information Technology Society GIS Forum. Zagreb.

Wojkowski J., Partyka J. 2009. *Warunki śnieżne w Ojcowie*. „Prądnik. Prace Muz. Szafera”, **19**: 75–88.

Wołowski K., Cabała J., Zeeb B.A. 2004. *Chrysophycean stomatocysts from a karstic sink-hole in the vicinity of Staszów on the Matopolska Upland, Poland*. „Canadian Journal of Botany”, **9**: 1330–1337.

SUMMARY

Two landforms dominate in the Krakow-Częstochowa Upland, i.e. a plateau and a valley. They are characterized by the most contrastive insolation conditions. Two weather stations represented these forms: Lepianka Czajowska and Park Zamkowy in Ojców. On the basis of measurements of total (K_{\downarrow}) and reflected (K_{\uparrow}) radiation, the absorbed radiation (K^*) and the ability to reflect radiation through the surface – albedo were calculated. The series of measurements in the years 2008–2014 allowed to determine the relations between the elements of the radiation balance and the strength of these relations. Statistical relationships were found for K_{\downarrow} and K^* streams between the plateau and valley. High Pearson correlation coefficient was calculated for K_{\downarrow} radiation streams and K^* balance 0.99 and 0.98 respectively. Therefore the regression equations were determined $K_{\downarrow \text{valley}} = -0,47 + 0,88 * K_{\uparrow \text{plateau}}$ oraz $K^*_{\text{valley}} = -0,38 + 0,83 * K^*_{\text{plateau}}$. Large variation in the inflow of the K_{\downarrow} stream due to the landform was recorded between the open area of the plateau and the bottom of the valley. The biggest differences were measured in the summer, even $K_{\downarrow \text{valley}} - K_{\downarrow \text{plateau}} = -78 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ in June and the smallest in the winter months. The percentage share of these differences in the annual total was the highest in June – 12% and the lowest in January and December – 3%.