

ZBIGNIEW CAPUTA

POMIARY MIKROKLIMATYCZNE, GRADIENTOWE I BILANSU PROMIENIOWANIA ZA POMOCĄ AUTOMATYCZNYCH STACJI POMIAROWYCH

Abstrakt: W opracowaniu przedstawiono wykorzystanie automatycznych stacji meteorologicznych, ich wykorzystanie i wybrane wyniki badań uzyskane w Katedrze Klimatologii Uniwersytetu Śląskiego. Stacje pomiarowe można stosować w badaniach mikroklimatycznych, gradientowych i zróżnicowania bilansu promieniowania powierzchni antropogenicznych i naturalnych. Stwierdzono, iż automatyczne stacje charakteryzują się wieloma zaletami: dokładność, niski pobór prądu, elastyczność konfiguracji i oprogramowania, mobilność, niezawodność i system ochrony danych. Wymagają one jednak: okresowej kalibracji, konserwacji i nadzoru.

Słowa kluczowe: automatyczna stacja meteorologiczna, bilans promieniowania, Wyżyna Śląsko-Krakowska.

1. Wstęp

Silne zróżnicowanie przestrzenne mikroklimatu oraz salda promieniowania powierzchni czynnej wymaga pomiarów przy pomocy mobilnych zestawów pomiarowych. Oprócz możliwości łatwego przenoszenia stacji pomiarowych muszą one być wystarczająco dokładne aby była możliwość stwierdzenia różnic w wynikach pomiarów w badaniach porównawczych. Do przedstawionych wymagań dodać należy jeszcze automatyczną rejestrację aby zestaw pomiarowy można było nazwać automatyczną stacją meteorologiczną (Automatic Weather Station – AWS). Stacje spełniające powyższe kryteria zostały zakupione przez Katedrę Klimatologii Wydziału Nauk o Ziemi (WNoZ) Uniwersytetu Śląskiego i wykorzystane do pomiarów mikroklimatycznych (Rahmonov, Caputa 2001; Rahmonov i in. 2002), kryptoklimatycznych (Kłys i in. 2002; Kłys, Caputa 2003; Caputa, Kłys, Kowalczyk, 2004) oraz topoklimatycznych (Caputa i in. 2002; Gądek, Caputa 2003). Artykuł przedstawia charakterystykę mobilnych stacji terenowych, wykorzystanie tych stacji w badaniach oraz wybrane wyniki dotyczące struktury bilansu promieniowania.

Tab. 1. Charakterystyka czujników AWS użytych do badań struktury bilansu promieniowania
 Table 1. The AWS sensors used for research of the structure of radiation balance

Czujnik	Typ	Zakres pomiaru	Temperatura pracy	Błąd pomiaru
Termometr	Pt 100/3 Vaisala	-40°C ÷ 60°C 0 – 1V DC	-40°C ÷ 60°C	±0.2°C
Wilgotnościomierz	Humicap 180 Vaisala	0 – 100 RH 0 – 1V DC	-40°C ÷ 60°C	±1%
Kierunek wiatru	W200P Vector Inst.	357,7° ± 1,5' (2,3' tracone przy Pn)	-50°C ÷ 70°C	±0.2° (pow. 5m/s)
Prędkość wiatru	A100R Vector Inst.	0 – 75m/s 0 – 100mV DC	-30°C ÷ 55°C	1% ± 0,1 m/s (max 75m/s)
Termometr 1,2	107 Campbell	-40°C ÷ 56°C	-40°C ÷ 56°C	±0,1°C (-23°C ÷ 48°C) ±0,5°C (-38°C ÷ 52°C) ±1,0°C (-40°C ÷ 56°C)
Termometr 3,4	PT100/3 Campbell	-200°C ÷ 650°C 0 – 50mV DC	-50°C ÷ 80°C (limit. typ. kabla)	±0,1°C
Pyranometr	CM3 Kipp & Zonen	0,305 ÷ 2,8 ěm 0 – 50mV DC	-40°C ÷ 80°C	6% (-10°C ÷ 40°C) ±25Wm ⁻² przy 1000Wm ⁻²
Pyrgeometr	CG3 Kipp & Zonen	5 – 50 ěm 0 – 50mV DC	-40°C ÷ 80°C	6% (-10°C ÷ 40°C) ±25Wm ⁻² przy 1000Wm ⁻²
Pyranometr	SP1110 Campbell	0,35 ÷ 1,1 ěm 0 – 50mV DC	-35°C ÷ 75°C	5%
Rejestrator – Mikrologger	CR23X Campbell	0 – 5V DC	-40°C ÷ 50°C	0,01%

2. Meteorologiczne stacje automatyczne Wydziału Nauk o Ziemi

W 1999 r. w ramach grantu aparaturowego KBN nr 2335/IA/160/97 zostały zakupione dwa zestawy stacji pomiarowych do badań terenowych z rejestratorami firmy Campbell CR23x (tab. 1). Dodatkowo, ze środków Wydziału Nauk o Ziemi UŚ zakupiono automatyczną stację meteorologiczną z rejestratorem firmy Campbell CR10x wyposażoną w czujniki: 1) usłonecznienia CSD1 firmy Kipp&Zonen, Holandia, 2) termohigrometr HMP45C firmy Vaisala, Norwegia, 3) anemometr A100R i czujnik kierunku wiatru W200P firmy Vector Inst., Wlk. Brytania, 4) pyranometr diodowy SKS 1110 Skye Instruments Ltd., Wlk. Brytania. Stacje tę ustawiono nad dachem WNoZ w Sosnowcu (363 m n.p.m., 100 m n.p.g., 7 m nad pow. dachu) i za jej pomocą od listopada 2000 roku prowadzone są pomiary następujących elementów:

- temperatura i wilgotność powietrza,
- kierunek i prędkość wiatru,
- całkowite promieniowanie słoneczne,
- usłonecznienie.

Ponadto od sierpnia 1999 r. prowadzone są pomiary stacjonarne na stacji meteorologicznej WNoZ w Sosnowcu (263 m n.p.m.):

- temperatura i wilgotność powietrza: 2 m n.p.g.,

- profil pionowy temperatury gleby i powietrza: -100, -50, -20, -10, -5, 0, 20, 50, 200 cm,
- prędkość i kierunek wiatru: 10 m n.p.g.,
- bilans promieniowania słonecznego: 1,5 m n.p.g.

Taka lokalizacja stacji pozwala na badania gradientowe w 100 m warstwie powietrza (Bryś i in. 2003; Caputa i in. 2003). Czujniki są umieszczone wystarczająco wysoko nad powierzchnią dachu aby można było przyjąć, iż reprezentują warunki charakterystyczne dla atmosfery swobodnej (Bil i in. 2003). Dwie automatyczne stacje pomiarowe do badań terenowych są wykorzystywane w różnorodnych badaniach naukowych, w miejscach trudno dostępnych oraz tam gdzie nawet krótkotrwałe pomiary pozwalają na ocenę ilościową warunków mikroklimatycznych. Od 2000 r. stacje były użyte w następujących badaniach klimatu lokalnego i mikroklimatu: klimat miejski (GOP), struktura bilansu promieniowania (Wyżyna Śląsko-Krakowska, Spitsbergen), struktura bilansu ciepłego (Tatry Słowackie), kryptoklimat (Podziemia Tarnogórsko-Bytomskie), topoklimat (Kocioł Miękusowiecki – Tatry), badania polarne (Hornsund, lodowiec Avacmarka – Spitsbergen), badania gradientowe (zabudowa miejska – Sosnowiec). Aktualnie jedna stacja ustawiona jest w centrum Sosnowca nad powierzchnią asfaltową, w celu zbadania klimatu lokalnego zwartej zabudowy miejskiej. W dalszej części artykułu, zostaną przedstawione tylko wybrane wyniki badań dotyczące struktury bilansu promieniowania.

3. Stacje terenowe w badaniach struktury bilansu promieniowania

Na terenie Wyżyny Śląsko-Krakowskiej znajduje się największa w Polsce aglomeracja miejsko-przemysłowa o dużym zróżnicowaniu przestrzennym powierzchni. Na tym obszarze można dobrze prześledzić procesy energetyczne zachodzące zarówno na powierzchniach miejskich i przemysłowych, jak też na terenach wiejskich. Pomiary przeprowadzono w większości charakterystycznych form i powierzchni Wyżyny Śląsko-Krakowskiej (murawa, piasek, asfalt, beton, powierzchnie hałd i wyrobisk, itd.), przy różnych warunkach pogodowych. Zakres badań obejmował najważniejsze elementy klimatu: temperaturę i wilgotność powietrza, prędkość i kierunek wiatru, składniki bilansu promieniowania oraz temperaturę powierzchni gleby. Uwzględniono powierzchnie silnie przekształcone przez człowieka, gdyż wywierają one silny wpływ na procesy lokalne oraz na zmiany regionalne klimatu (Bailey i in. 1999).

3.1. Metodyka badań

Do badań zostały użyte dwie automatyczne stacje meteorologiczne wyposażone w dwa zestawy czujników (fot. 1, ryc. 1, tab. 1). Każdy z tych zestawów był wyposażony w bilansomierz promieniowania składający się: z dwóch pyranometrów CM3 przykrytych kopułką szklaną przezroczystą dla promieniowania krótkofalowego (305-2 800 nm), oraz dwóch pyrgeometrów CG3 przykrytych ko-



Fot. 1. Instalacja stacji terenowej w Katowicach–Muchowiec (21.09.1999)

Photo 1. The station was installed at Katowice–Muchowiec on 21.09.1999

wykonywał logger CR23X firmy Campbell według wcześniej przygotowanego programu. Podstawowym czasem pomiaru był krok 10 s, a rejestracja danych przeprowadzana była co 10 min. Dodatkowo mierzone były wartości chwilowe maksimum i minimum dobowego.

Stacje umieszczono w wybranych miejscach Wyżyny Śląsko-Krakowskiej. Pierwsza stacja nazywana bazową, została umieszczona na stacji meteorologicznej Wydziału Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego w Sosnowcu, nad standardową powierzchnią trawiastą, a druga stacja nazywana terenową, rotacyjnie zmieniała swoje położenie (pomiar ciągły przez kilka dni dla jednej powierzchni). Pomiary przeprowadzono dla 24 powierzchni. Podzielono je na obszary wiejskie, miejskie i przemysłowe, osobno wyróżniono formy charakterystyczne dla GOP takie jak hałdy i wyrobiska. Śnieg, którego pokrywa może występować na każdej z wyżej wymienionych powierzchni rozpatrywany był jako 25 powierzchnia. Badania rozpoczęto w 1999 r. serią pomiarów na terenie Ojcowskiego Parku Narodowego (Caputa, Leśniok 2002a, b; Caputa, Hibszer, Leśniok, Partyka 2004). Kontynuacją były pomiary

pułką silikonową przezroczystą dla promieniowania długofalowego (5000-50000 nm). Czujniki te znajdujące się w aluminiowej obudowie, zostały ustawione na trójnogu na wysokości 1,5 m i dokładnie wypoziomowane. Termohigrometr HMP45C do pomiaru wilgotności i temperatury umieszczono na wysokości 2 m; termometry Pt100 do pomiaru temperatury powietrza 0,2 i 0,5 m oraz na powierzchni i 0,1 m pod powierzchnią gruntu; anemometr A100R i czujnik kierunku wiatru W200P do pomiaru prędkości i kierunku wiatru na wysokości 3 m. Wszystkie czujniki posiadały firmowy certyfikat kalibracji (dla termometrów zostało przeprowadzone uzupełniające testowanie), dodatkowo przeprowadzono kalibrację względną na stacji meteorologicznej WNoZ (umieszczając czujniki obok siebie). Szczególną uwagę zwrócono na czystość czujników aktywnometrycznych i osłon radiacyjnych, gdyż wielu autorów podkreśla te mankamenty AWS (Niedźwiedź, Ustrnul 1999). Pomiar i rejestrację

wykonane w 2000/2002 roku na terenie miejskim i przemysłowym Katowic, Sosnowca, Będzina i Dąbrowy Górniczej (Caputa 2001, 2002), na powierzchniach przekształconych antropogenicznie (beton, asfalt, powierzchnie zdegradowane w kopalniach odkrywkowych).

3.2. Wyznaczanie salda promieniowania w pełnym zakresie widma

Pomiary promieniowania rejestrowano w postaci średnich 10-minutowych wartości strumieni promieniowania w Wm^{-2} . Dodatkowo obliczono sumy dobowe składników promieniowania wyrażonych w MJm^{-2} . Bilans promieniowania w pełnym zakresie widma opisuje poniższe równanie:

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

$$K^* = K\downarrow - K\uparrow; L^* = L\downarrow - L\uparrow,$$

gdzie:

K^* – promieniowanie pochłonięte

(saldo promieniowania krótkofalowego),

L^* – promieniowanie efektywne (saldo promieniowania długofalowego),

$K\downarrow$ – całkowite promieniowanie słoneczne,

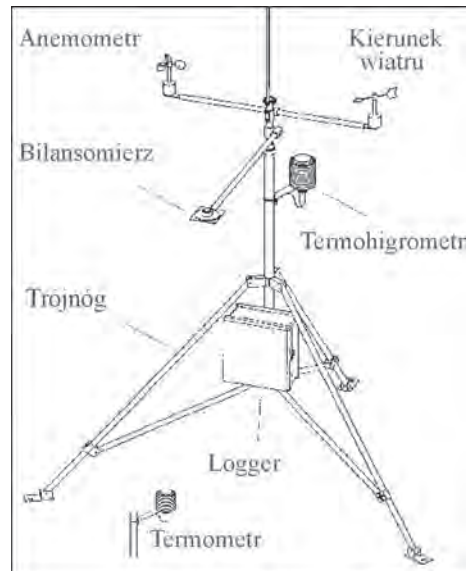
$K\uparrow$ – promieniowanie słoneczne odbite od podłoża (powierzchni czynnej),

$L\downarrow$ – promieniowanie długofalowe atmosfery skierowane ku powierzchni Ziemi (promieniowanie zwrotne atmosfery),

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

Zestawienie strumieni promieniowania w przebiegu rocznym, dobowym oraz analiza statystyczna dla warunków standardowych pozwoliła określić, jakie czynniki osłabiają lub wygaszają strumienie energii nad konkretną powierzchnią czynną. Ilościowe ich zestawienie odzwierciedla warunki klimatyczne, a w szczególności aktywność, które w dalszej części pracy zostaną porównane z innymi powierzchniami czynnymi.

Przebieg roczny strumienia $K\downarrow$ zarejestrowany na stacji przy Wydziale Nauk o Ziemi w Sosnowcu ma charakter cykliczny zależny od wysokości Słońca nad horyzontem. Zaznacza się jednak pewna asymetria spowodowana silniejszym nasłonecznieniem miesięcy wiosennych (kwiecień, maj, czerwiec) w porównaniu z lipcem i sierpniem. W przebiegu rocznym wyróżnia się maj ze stosunkowo wysoką średnią natężenia $K\downarrow$ 353 Wm^{-2} . Rozpatrując sumy miesięczne promienio-

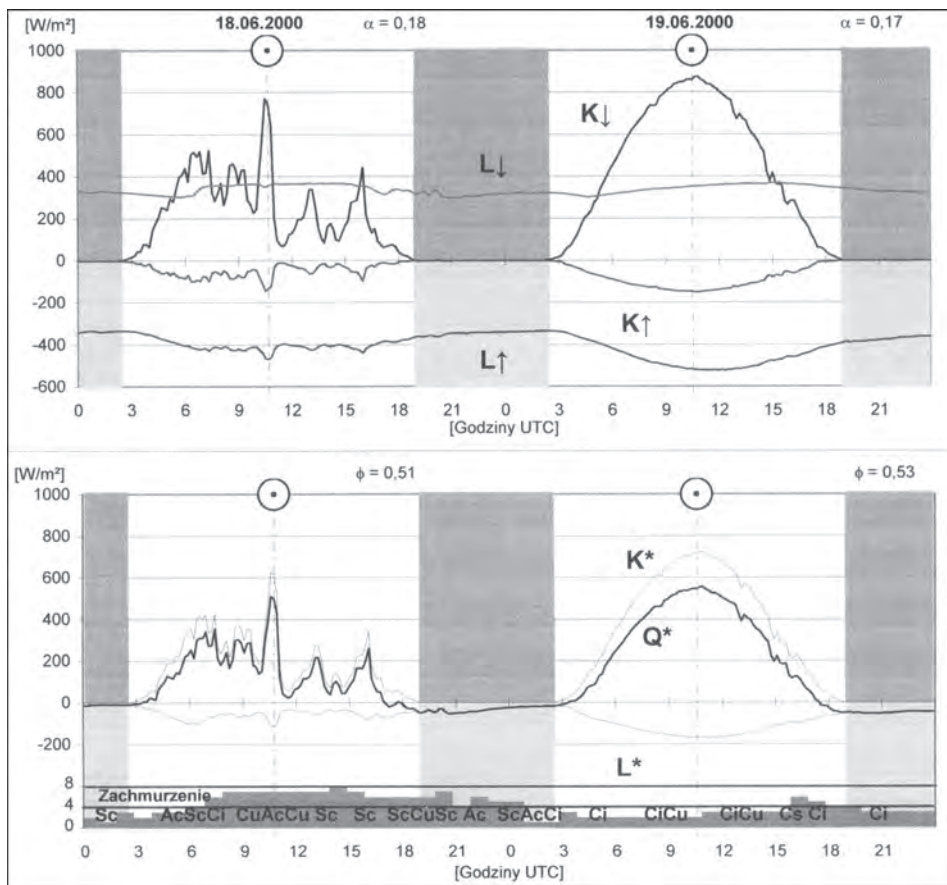


Ryc. 1. Schemat stacji terenowej wykorzystanej w badaniach.

Fig. 1. The model of the station used in the research.

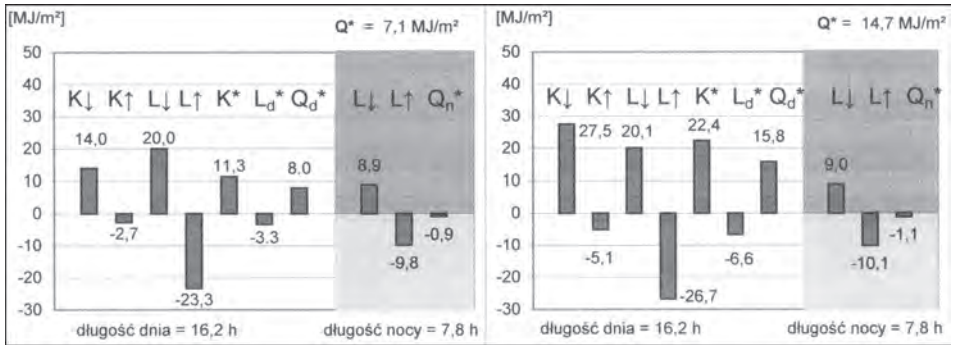
wania całkowitego obserwujemy znaczący dopływ promieniowania do powierzchni czynnej w miesiącach wiosennych, np. suma $K\downarrow$ dla kwietnia 2000 roku (430 MJm^{-2}) przekracza sumę lipca (414 MJm^{-2}), jak również wyróżnia się wysoka suma dla maja. Należy w tym miejscu zaznaczyć, iż lipiec 2000 roku był wyjątkowo pochmurny i deszczowy co spowodowało znacznie niższe wartości od średniej sumy z wielolecia wynoszącej 527 MJm^{-2} (*Atlas...* 1994).

Zachmurzenie uwarunkowane przez czynniki związane z ogólną cyrkulacją atmosfery, oddziałuje bardzo silnie na pozostałe elementy klimatu (Niedźwiedź 2000;



Ryc. 2. Przebieg dobowy natężenia promieniowania — WNoZ, Sosnowiec. Dominujące zachmurzenie oznaczają skróty: St – *Stratus*, Sc – *Stratocumulus*, Cb – *Cumulonimbus*, Cu – *Cumulus*, Ac – *Alto cumulus*, Ci – *Cirrus*. 18.06.2000 – dzień pochmurny, 19.06.2000 – dzień pogodny

Fig. 2. Solar radiation intensity measured at the Faculty of Earth Sciences, Silesia University, Sosnowiec. The dominating cloud genera are marked. 18.06.2000 – cloudy day, 19.06.2000 – cloudless day



Ryc. 3. Struktura bilansu promieniowania w dniu pochmurnym 18.06.2000 (po lewej) oraz w dniu pogodnym 19.06.2000 (po prawej). WNoZ, Sosnowiec

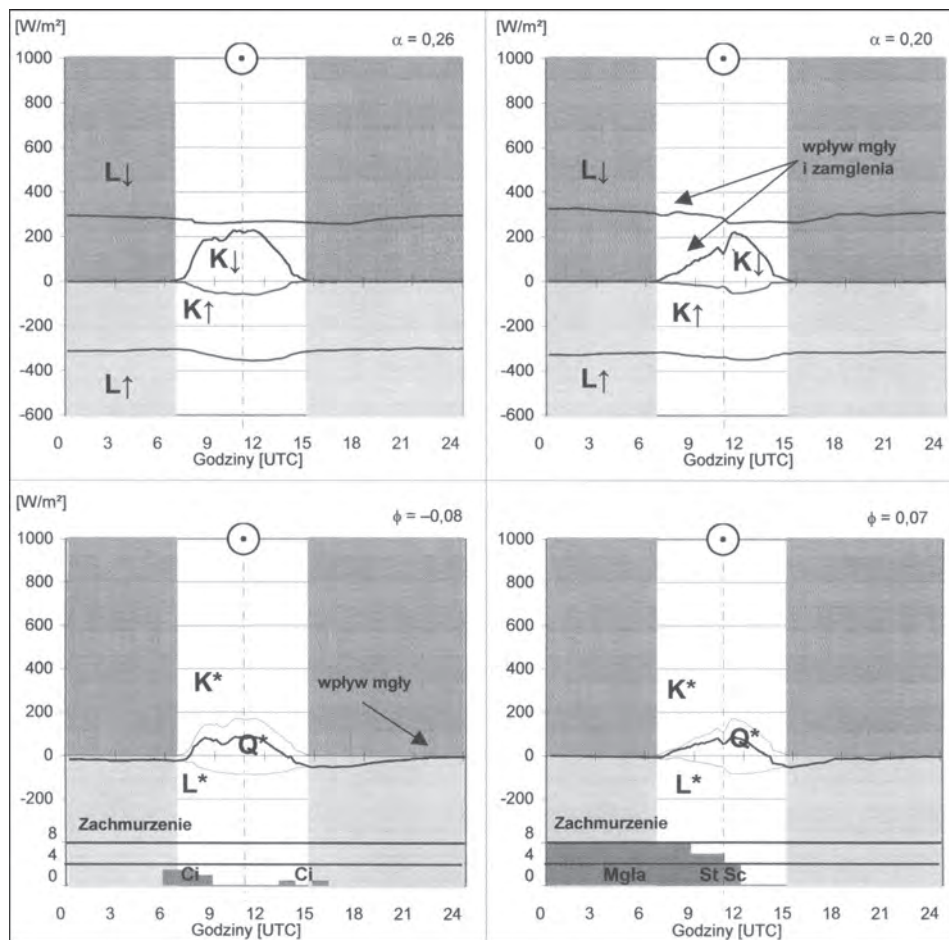
Fig. 3. The structure of radiation balance on cloudy day 18.06.2000 (left) and on cloudless day 19.06.2000 (right), in Sosnowiec

King i in. 1999; Petty 2001; Weare 2001). Bezpośrednio z nim związany jest czas trwania usłonecznienia. Zachmurzenie wpływa na wielkość sum promieniowania całkowitego i modyfikuje dopływ i straty promieniowania długofalowego, a tym samym warunkuje rozkład temperatury. Ponadto, warstwa chmur powoduje duży wzrost strumienia L_{\downarrow} . Tylko chmury piętra wysokiego w mniejszym stopniu wpływają na wartości tego składnika bilansu promieniowania (Paszyński i in. 1999).

Zachmurzenie tak w dzień, jak i w nocy było czynnikiem kształtującym strukturę bilansu radiacyjnego danego obszaru (ryc. 2, 3). Przedstawiony przykład (18-19.06.2000) był typowy dla okresu letniego, gdy po dniu o zmiennym zachmurzeniu następował dzień pogodny. Średnie zachmurzenie pierwszego dnia wyniosło 66% i dominowały chmury *Stratocumulus* i *Cumulus* o podstawach na różnych poziomach (1000-1500 m). W godzinach przedpołudniowych nastąpił intensywny rozwój chmur *Stratocumulus* i rozpościeranie się *Cumulus*, które pokryły prawie całe niebo w omawiany dzień. Zachmurzenie przede wszystkim ograniczyło dopływ strumienia K_{\downarrow} , a jego nierównomierny przebieg był związany z chwilowymi rozpogodzeniami jak również ze zwiększeniem udziału promieniowania rozproszonego. Różnica strumieni K_{\downarrow} i K_{\uparrow} osiągnęła stosunkowo niskie wartości salda K^* (w stosunku do dnia pogodnego). Chłodna powierzchnia czynna charakteryzowała się małym strumieniem L_{\uparrow} , a przebieg salda L^* nawiązywał do pików strumienia K_{\downarrow} . Saldo L^* dla okresu pochmurnego (12:00-23:00) było wyrównane a w porze nocnej równe saldu Q^* . Zatem, gdy w porze nocnej saldo Q^* było małe i równe $-0,9 \text{ MJm}^{-2}$, zachmurzenie uniemożliwiało silne wychładzanie powierzchni Ziemi.

Średnie zachmurzenie w dniu pogodnym (19.06.2000) wynosiło 38%, jednak dominowały chmury piętra wysokiego (*Altostratus* przeświecający, *Cirrus* włóknisty). Takie zachmurzenie nie zakłócało dobowego przebiegu strumieni promieniowania, nawet przez fakt silniejszego rozpraszania na przeświecających warstwach chmur. Zwraca uwagę duża wartość salda K^* a jego przebieg dobowy

koresponduje z przebiegiem strumienia $K\downarrow$. Wartość Q^* równa $14,7 \text{ MJm}^{-2}$ wynika z dużych sum strumienia $K\downarrow$ i K^* (małe $\alpha = 0,19$) oraz nieznacznego wypromieniowania Q_n^* nocą ($1,1 \text{ MJm}^{-2}$). Saldo dobowe Q^* dnia o pogodzie insolacyjnej jest o $7,6 \text{ MJm}^{-2}$ większe niż analogiczne saldo dnia pochmurnego.



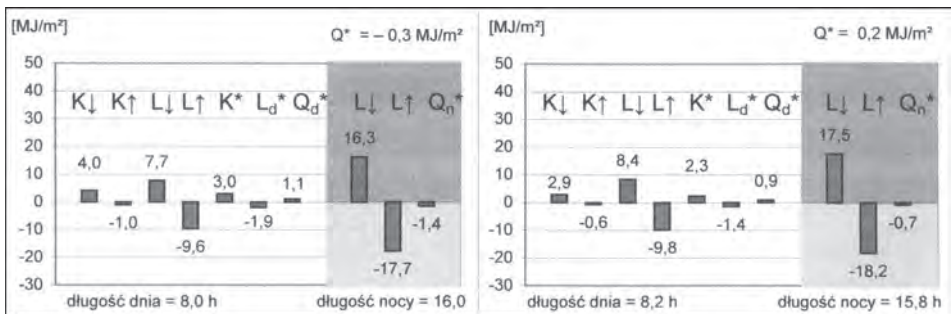
Ryc. 4. Przebieg dobowy natężenia promieniowania w dniu pogodnym 1.12.2000 (po lewej) oraz w dniu występowania mgły 6.12.2000 (po prawej). WNoZ, Sosnowiec. Dominujące zachmurzenie oznaczają skróty: St – Stratus, Sc – Stratocumulus, Ci – Cirrus
 Fig. 4. Solar radiation intensity on a cloudless day 1.12.2000 (left) and on a day with fog 6.12.2000 (right), in Sosnowiec. The dominating cloud genera are marked

3.3. Mgła i zmętnienie atmosfery jako czynniki modyfikujące bilans promieniowania

Mgła i zamglenia silnie zmniejszały dopływ strumienia $K\downarrow$ i modyfikowały przebieg strumieni L^* i Q^* w czasie wybranych dni zimowych (ryc. 4, 5). Zestawione ze sobą dwa dni ilustrują zmiany w strukturze bilansu promieniowania, do których przyczyniała się mgła (Caputa, Leśniok 2001). Dzień pogodny (1.12.2000) wyróżniał się niskim zachmurzeniem (5%) oraz brakiem mgieł i zamgleń. Przebieg dobowy składników bilansu promieniowania był podobny jak w dniu o pogodzie radiacyjnej. W dniu 6.12.2000 do godziny 9:00 notowano mgłę przesłaniającą całkowicie niebo. Zamglenie oraz częściowe zachmurzenie chmurami piętra niskiego utrzymywało się do godziny 12:00 (średnie dobowe zachmurzenie wyniosło 46%). W dniu występowania mgły saldo dzienne było o ponad 30% niższe od Q^*_d w dniu pogodnym (1.12.2000). Ze względu na krótki czas operacji Słońca o saldzie Q^* zdecydowała wartość salda pory nocnej. Saldo Q^* w dniu występowania mgły i zamgleń wyniosło $0,2 \text{ MJm}^{-2}$ i różniło się znakiem od Q^* dnia pogodnego.

Na wyżej przywołanym przykładzie przedstawiono przebiegi dobowe składników bilansu promieniowania oraz wielkość inwersji obliczoną jako różnica temperatury na stacji meteorologicznej i na dachu budynku WNoZ (różnica wysokości 100 m). Dzień 8.03.2001 charakteryzował się dużym zachmurzeniem (88%), małą prędkością wiatru (1 ms^{-1} w dzień oraz $0,5 \text{ ms}^{-1}$ w godzinach nocnych) oraz wartościami inwersji w porze nocnej dochodzącej do 3 K w warstwie 100 m. Takie warunki sprzyjały koncentracji zanieczyszczeń (Niedźwiedź, Ustrnul 1989; Bil 2001), powstawaniu smogu nad miastem (Ośródką, Święch-Skiba 1997; Ośródką i in. 1999) oraz zwiększały udział strumieni długofalowych w kształtowaniu salda Q^* .

Silne zmniejszenie promieniowania słonecznego następowało już w 100-metrowej warstwie powietrza. W dniu pogodnym 28.02.2000 różnica w tej warstwie strumienia $K\downarrow$ wynosiła $0,23 \text{ MJm}^{-2}$, co stanowiło zaledwie 2% strumienia $K\downarrow$



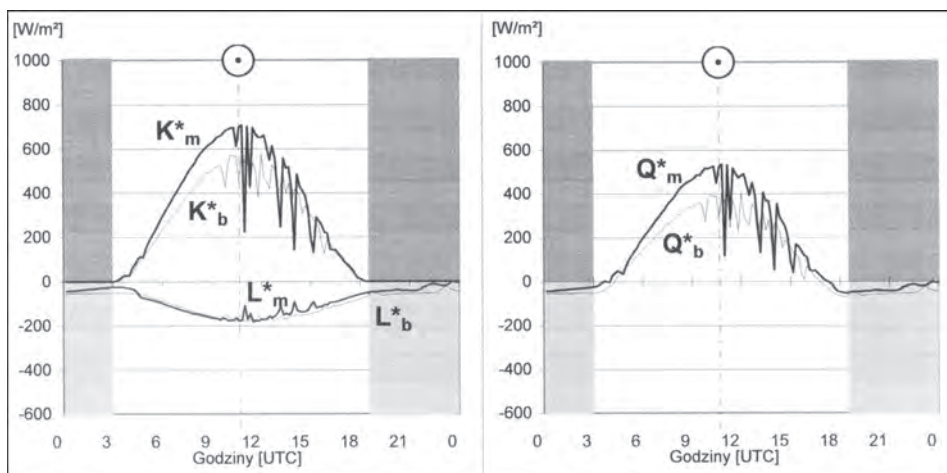
Ryc. 5. Struktura bilansu promieniowania w dniu pogodnym 1.12.2000 (po lewej) i w dniu występowania mgły 6.12.2000 (po prawej). WNoZ, Sosnowiec

Fig. 5. The structure of radiation balance on a cloudless day 1.12.2000 (left) and on a day with fog 6.12.2000 (right), in Sosnowiec

docierającego do powierzchni dachu. Natomiast w dniu 10.12.1999 różnica ta wyniosła 10%. Średnio dla kilku miesięcznego okresu pomiarów była to różnica około 7% w dniach pogodnych i 4% w pozostałych.

3.4. Pokrycie powierzchni gruntu jako czynnik zróżnicowania przestrzennego salda promieniowania

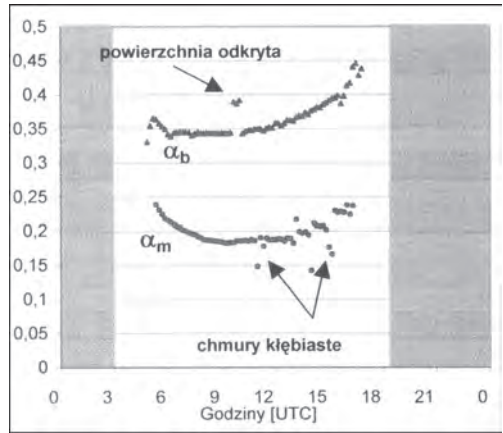
Pomiary składników bilansu promieniowania powierzchni obszarów miejskich i przemysłowych przeprowadzono w promieniu do kilkunastu kilometrów od stacji bazowej w Sosnowcu. Pozwoliło to na przyjęcie założenia, iż dopływ strumienia $K\downarrow$ jest podobny dla par punktów pomiarowych. Rejestrację przy pomocy stacji terenowej, ustawionej w miejscu reprezentującym obszar przemysłowy, przeprowadzono w Elektrociepłowni Będzin. Stację umiejscowiono między niskim budynkiem a wysokim kominem na powierzchni betonowej w dniu 18.04.2000. Taka lokalizacja pozwalała obserwować odbijane promieniowanie od powierzchni przemysłowych. Przebieg natężenia $K\downarrow$ w godzinach popołudniowych nie różnił się od przebiegu analogicznego składnika bilansu promieniowania na stacji WNoZ. Mimo, iż promienie Słońca padały na powierzchnię kominu oraz pobliskich konstrukcji. W godzinach popołudniowych następowało wzmocnienie strumienia $K\downarrow$ dochodzącego do podłoża od Słońca oraz promieni odbitych od powierzchni przemysłowych. Wynika z tego, iż bliskie sąsiedztwo zabudowy nie zawsze przesądza o wzmacnianiu natężenia $K\downarrow$. Powierzchnia jasna, płaska ma istotny wpływ na strukturę promieniowania, natomiast powierzchnia szara, owalna lub ażurowa



Ryc. 6. Przebieg dobowy natężenia promieniowania — WNoZ, Sosnowiec (indeks „m”) oraz powierzchnia piaszczysta na Pustyni Błędowskiej (indeks „b”) w dniu 17.05.2000
 Fig. 6. Solar radiation intensity in Sosnowiec („m” index) and Błędowska Desert („b” index) on 17.05.2000

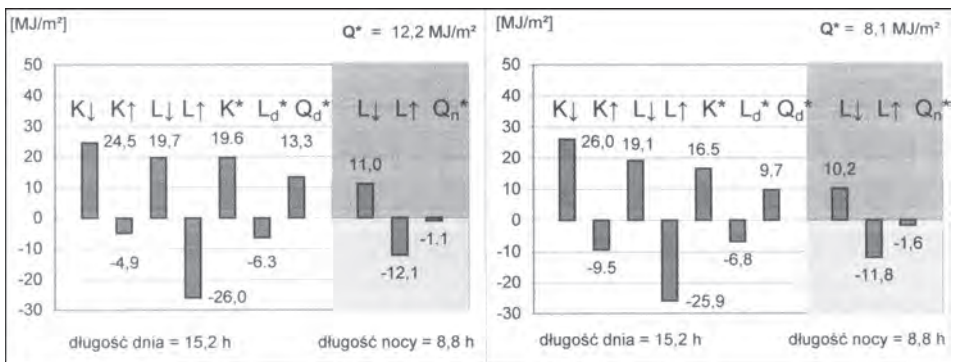
– niewielki. Powierzchnia owalna odbija promieniowanie silnie je rozpraszając, im dalej od obiektu tym mniejsze natężenie promieniowania. Obserwowano natomiast mocne zmiany dopływu strumienia $L\downarrow$ do omawianej powierzchni. W czasie dnia zanotowano wyższe wartości $L\downarrow$ o $0,4 \text{ MJm}^{-2}$ niż nad powierzchnią standardową, co świadczyło o silnym oddziaływaniu powierzchni pionowych. Należy dodać, iż temperatura otoczenia dla obu punktów pomiarowych była podobna ($15,5^\circ\text{C}$), a odległość zaledwie 500 m.

Traktując współczynnik α jako wyznacznik stanu podłoża (barwy, wilgotności, itp.), może on być stosowany jako czynnik określający wzajemne relacje i rozkład strumieni $K\uparrow$ i K^* . Ze względu na to, iż bilansomierz CNR1 nie posiadał osłony używanej do pomiarów albedo, z tego względu nieznacznie zawyżał wskazania $K\uparrow$ w godzinach porannych i wieczornych. Wartości α obliczono dla godzin około-południowych wyznaczonych symetrycznie względem południa miejscowego (9:00–12:30 UTC).



Ryc. 7. Przebieg dobowy wartości α – WNoZ, Sosnowiec (indeks „m”) oraz powierzchnia piaszczysta na Pustyni Błędowskiej (indeks „b”) w dniu 17.05.2000

Fig. 7. Diurnal changes of albedo (α) in Sosnowiec („m” index) and Błędowska Desert („b” index) on 17.05.2000



Ryc. 8. Struktura bilansu promieniowania — WNoZ, Sosnowiec (po lewej) oraz powierzchnia piaszczysta na Pustyni Błędowskiej (po prawej) w dniu 17.05.2000

Fig. 8. The structure of radiation balance in Sosnowiec (left) and Błędowska Desert (right) on 17.05.2000

Wartości α ulegają dużym zmianom sezonowym (fazy rozwoju roślin) oraz są zależne od kąta padania promieni słonecznych, a co najważniejsze od działalności człowieka. Działalność człowieka może stosunkowo łatwo (poprzez przekształcenie powierzchni Ziemi) zmieniać albedo, a zatem wywala ważny łańcuch reakcji klimatycznych (Oke 1987), decydujących o zmianach mikroklimatycznych, w dalszej kolejności oddziaływujących na topoklimat i mezoklimat. Wartości α wskazują jak powierzchnie przekształcone w obszarach miejskich i przemysłowych mogą spowodować znaczące zmiany mikroklimatyczne. Wzrastające α od 0,14 (murawa) do 0,35 (wyrobiska) powoduje wzrost $K\uparrow$ i zmiany K^* . Dla powierzchni ciemnych (asfalt, lepik) obserwujemy obniżenie wartości α nawet do 0,11. Natomiast duże wartości α obliczono dla powierzchni piaszczystych a szczególnie powierzchni odkrytej na czas pomiarów (ryc. 7). Powierzchnie te charakteryzują się mniejszym pochłanianiem radiacji i małymi wartościami salda Q^* (ryc. 8).

4. Rola stacji terenowych w pomiarach mikroklimatycznych i bilansu promieniowania

Na podstawie pomiarów terenowych za pomocą dwóch zestawów stacji Campbell ustawionych w wybranych miejscach Wyżyny Śląsko-Krakowskiej dokonano ilościowej oceny wartości strumieni promieniowania powierzchni wiejskich, miejskich i przemysłowych oraz powierzchni szczególnych spotykanych na obszarze GOP (hałdy i wyrobiska powierzchniowe). Powierzchnie wilgotne charakteryzują się najwyższymi dodatnimi odchyleniami salda dziennego Q^*_d (o 41%) i dobowego Q^* (o 42%) w stosunku do powierzchni standardowej. Murawy napiaskowe oraz powierzchnie piaszczyste porośnięte roślinnością osiągają nieznacznie niższe wartości salda Q^* niż murawa (ryc. 6, 7, 8). Ponadto wyróżnia się powierzchnia piaszczysta z silnie ujemnym odchyleniem salda Q^* aż o -34%.

Powierzchnie asfaltowe charakteryzują się niższym saldem promieniowania w pełnym zakresie widma o od -14 do -24% niż powierzchnia standardowa. Powierzchnie betonowe w różnym stanie technicznym mają mniejsze odchylenia Q^* (od -3 do -16%) w stosunku do powierzchni odniesienia. Saldo Q^* powierzchni dachu jest wyższe niż murawy w okresie bezśnieżnym, natomiast niższe – w czasie zalegania śniegu. W okresie letnim jego wartości przewyższają o 1-10% saldo Q^* murawy.

Automatyczne stacje dobrze przeszły etap testowania i kalibracji względnej, można stwierdzić, że zaletami stacji są:

1. dokładność, niski pobór prądu (czuwanie 2 mA, pomiar 30–70 mA),
2. elastyczność konfiguracji i oprogramowania (każde pomiary wykonuje autorski program),
3. mobilność (pomiar na lodowczyku Mięgoszowieckim w Tatrach 2000 m n.p.m.; na lodowcach Spitsbergenu),
4. niezawodność (pomiar na Pustyni Błędowskiej, dachu WNoZ w Sosnowcu),
5. potrójny system zasilania dobrze chroniący dane (zasilacz 12V, akumulatory Pb i NiCd, bateria Li).

Podziękowania

Przedstawione tutaj wyniki są częścią większego opracowania wykonanego w ramach grantu promotorskiego KBN nr 6 PO4E 024 2D pt. „Bilans promieniowania dla wybranych powierzchni czynnych Wyżyny Śląsko-Krakowskiej” (Caputa 2002) oraz grantu KBN nr 3PO4E 041 24 realizowanego przez pracowników Katedry Klimatologii WNoZ pt. „Struktura termiczna przyziemnej warstwy powietrza w obszarze zurbanizowanym na przykładzie Górnego Śląska”.

LITERATURA:

- Atlas Rzeczypospolitej Polskiej*, 1994, Mapa 31.2: J. Paszyński, K. Miara: *Promieniowanie, temperatura powietrza*, Główny Geodeta Kraju, Warszawa.
- Bailey W.G., Oke T.R., Rouse W.R. (red.), 1999, *The surface climates of Canada*, McGill-Queen University Press.
- Bil G., 2001, *Zmienność warunków meteorologicznych sprzyjających koncentracji lub dyspersji zanieczyszczeń powietrza w GOP na tle sąsiednich rejonów*, maszynopis, Katedra Klimatologii, Uniwersytet Śląski, Sosnowiec.
- Bil G., Caputa Z., Kamiński A., 2003, *Air temperature modification caused by thermal influence of a building*, *Acta Univ. Wratisl.*, 2542, 395–400.
- Bryś T., Caputa Z., Wibig J., Bryś K., Fortuniak K., 2003, *Humidity gradients in urban environments on the example of Wrocław, Sosnowiec and Łódź*, [w:] K. Kłysik, T. Oke, K. Fortuniak, S. Grimmond, J. Wibig (red.), *Proceedings 1*, V Intern. Conf. on Urban Clim., 1-5.09.2003, Łódź, 41–45.
- Caputa Z., 2001, *Pomiary bilansu promieniowania różnych powierzchni czynnych przy wykorzystaniu automatycznych stacji pomiarowych*, *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska*, 55/56, 11, 95–103.
- Caputa Z., 2002, *Struktura bilansu promieniowania na wybranych powierzchniach czynnych Wyżyny Śląsko-Krakowskiej*, Maszynopis, Katedra Klimatologii, Uniwersytet Śląski, Sosnowiec.
- Caputa Z., Grabiec M., Lulek A., 2002, *Struktura bilansu promieniowania na lodowcu Aavatsmarka w dniach 11-30.04.2001 r.*, [w:] A. Kostrzewski, G. Rachlewicz (red.), *Polish Polar Studies*, Inst. Bad. Czwartorzędu i Geoekologii, Poznań, 95–104.
- Caputa Z., Hibszer B., Leśniok M., Partyka P., 2004, *Badania topoklimatyczne oraz zanieczyszczenia wód opadowych na obszarze Ojcowskiego Parku Narodowego*, [w:] J. Partyka (red.), *Zróżnicowanie i przemiany środowiska przyrodniczo-kulturowego Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej*, 1: *Przyroda, Ojców*, 143–150.
- Caputa Z., Kłys G., Kowalczyk K., 2004, *Tarnowskie Góry – Bytom Mines – preservation and development of Europe’s unique ecosystem*, [w:] D. Kerkovic (red.), *Geographical Information System in Research & Practice*, Zagreb, 324–327.
- Caputa Z., Leśniok M., 2001, *Badania promieniowania całkowitego i zapylenia atmosfery na obszarze Sosnowca*, [w:] J. Prášek (red.), *Změny geografického prostředí v pohraničních oblastech hornoslezského a ostravského regionu*, Ostravska Univerzita, Ostrava, 91–97.

- Caputa Z., Leśniok M., 2002a, *Zróźnicowanie mikroklimatyczne w świetle bilansu promieniowania słonecznego na przykładzie Ojcowskiego Parku Narodowego*, Prądnik. Prace Muzeum Szafera, 13, 7–30.
- Caputa Z., Leśniok M., 2002b, *Radiation balance in the area of Ojców National Park*, [w:] V.N. Andrejchuk, V.P. Korzhyk (red.), *Regional aspects of land use*, Kharkivskiy Politekhnichny Universytet, Uniwersytet Śląski, Chernivtsy-Sosnowiec, 24–34.
- Caputa Z., Leśniok M., Niedźwiedź T., Puszczewicz Z., Widawski A., 2003, *Research problems of urban and industrial areas climate in Department of Climatology, Faculty of Earth Sciences, University of Silesia*, [w:] K. Kłysik, T. Oke, K. Fortuniak, S. Grimmond, J. Wibig (red.), *Proceedings 1*, V Intern. Conf. on Urban Clim., 1-5.09.2003, Łódź, 47-50.
- Gądek B., Caputa Z., 2003, *Struktura bilansu cieplnego Lodowczyka Mieguszowieckiego (Tatry) latem w okresie dużego zachmurzenia i opadów*, Przegł. Geogr., 75, 2, 287–298.
- King D., Bourennane H., Isambert M., Macaire J.J., 1999, *Relationship of the presence on a non-calcareous clay-loam horizon to DEM attributes in a gently sloping area*, Geoderma, 89 (1–2), 95–111.
- Kłys G., Caputa Z., 2003, *Dynamiczna część Podziemi Tarnogórsko-Bytomskich preferowana przez nietoperze?*, [w:] A. Tyc (red.), *Materiały XXII Szkoły Speleologicznej Cieszyn-Teplice nad Beczwą, 10-16.02.2003*, Prac. Bad. i Dok. Środ. Krasowego, Kat. Geomorf., Uniwersytet Śląski.
- Kłys G., Caputa Z., Gula P., 2002, *Bats hibernation and ecoclimate in historical mine of Tarnowskie Góry-Bytom underground*, [w:] A. Tyc (red.), *Materiały XXI Szkoły Speleologicznej, 7–13.02.2002*, Cieszyn-Morawski Kras, 45–49.
- Niedźwiedź T., Ustrnul Z., 1989, *Wpływ sytuacji synoptycznej na występowanie nad Górnośląskim Okręgiem Przemysłowym typów pogody sprzyjających koncentracji lub rozpraszaniu zanieczyszczeń powietrza*, Wiad. IMGW, 12 (33), 1-2, 31–37.
- Niedźwiedź T., Ustrnul Z., 1999, *Climatological data due traditional and automatic observation methods*, World Climate Programme Data and Monitoring, 41, 105–111.
- Niedźwiedź T., 2000, *Częstość występowania układów barycznych, mas powietrza i frontów nad regionem górnośląskim*, [w:] A.T. Jankowski, U. Myga-Piątek, S. Ostaficzuk (red.), *Środowisko przyrodnicze regionu Górnośląskiego — stan poznania, zagrożenia i ochrona*, Konferencja Naukowa, Sosnowiec – Tarnowskie Góry, 71–77.
- Oke T. R., 1987, *Boundary layer climates*. Routledge, London – New York.
- Ośródką L., Święch-Skiba J., 1997, *Klimatologiczne aspekty powstawania smogu letniego na obszarze Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego*, Wiad. IMGW, 20 (41), 1, 113–128.
- Ośródką L., Ośródką K., Święch-Skiba J., 1999, *Smog zimowy w Górnośląskim Okręgu Przemysłowym jako jeden ze skutków antropogenicznych zmian klimatu lokalnego*, Acta Univ. Lodz., Folia Geogr. Phys., 3, 361–369.
- Paszyński J., Miara K., Skoczek J., 1999, *Wymiana energii między atmosferą a podłożem jako podstawa kartowania topoklimatycznego*, Dok. Geogr., 14.
- Petty G.W., 2001, *Physical and microwave radiative properties of precipitating clouds*, J. Appl. Meteor., 40 (12), 2105–2114.

- Rahmonov O., Caputa Z., 2001, *The vegetation cover of the Błędów Desert in Geographical Information System (GIS)*, [w:] D. Kereković, E. Nowak (red.), *GIS Polonia 2001, Geographical Information Systems International Conference, 15-17.10.2001, Poland, Proceedings*, Hrvatski Informatički Zbor, Warszawa, 120–123.
- Rahmonov O., Caputa Z., Kłys, G., 2002, *The biogeocenosis formation on the area with different topography*, [w:] D. Kereković (red.), *GIS Odysee 2002, Geographical Information Systems International Conference and Exhibition, 2–6.09.2002, Split-Solin–Trogir–Korcula–Dubrovnik, Proceedings*, Hrvatski Informatički Zbor, 216–224.
- Weare B.C., 2001, *Effects of cloud overlap on radiative feedbacks*, *Climate Dynamics*, 17 (2–3), 143–150.

THE MEASUREMENTS OF MICROCLIMATE, GRADIENTS AND RADIATION BALANCE BASED ON THE AUTOMATIC WEATHER STATIONS

SUMMARY

The aim of this study is to present automatic weather stations, its application and some results of our research obtained at the Department of Climatology, their University of Silesia. Those applications may have various practical use in many microclimate research, studies on gradients distributions and variability of radiation balance at anthropogenic and natural surfaces. The automatic weather stations have many advantages such as: accuracy, low power consumption, flexibility of configurations, mobility, reliability and data protect system. The stations require periodical calibrations, programming and servicing.

Zbigniew Caputa
Katedra Klimatologii
Wydział Nauk o Ziemi
Uniwersytet Śląski
Sosnowiec

