

Agnieszka Podstawczyńska, Krzysztof Fortuniak

**WSTĘPNE WYNIKI POMIARÓW CAŁKOWITEGO
PROMIENIOWANIA KRÓTKOFALOWEGO
I PROMIENIOWANIA UV W ŁODZI**

**PRELIMINARY RESULTS OF MEASUREMENTS
OF ABSOLUTE SHORT WAVE RADIATION
AND UV RADIATION IN ŁÓDŹ**

Celem opracowania jest prezentacja pierwszej serii pomiarów (styczeń–lipiec 1997 r.) całkowitego promieniowania UV w Łodzi, ze szczególnym uwzględnieniem dobowego biegu promieniowania w różnych warunkach meteorologicznych. Kształt krzywych obrazujących dzienny przebieg wartości natężenia promieniowania całkowitego – I_c , promieniowania UV – I_{uv} oraz stosunku I_{uv}/I_c (w %) zdeterminowany jest głównie czynnikami astronomicznymi, przezroczystością atmosfery, stopniem zachmurzenia nieba. Najwyższa średniodobowa wartość I_c wystąpiła podczas bezchmurnej pogody w czerwcu (30 czerwca 1997 r.) – 487 W/m^2 , a $I_{uv} = 35,5 \text{ W/m}^2$. W dniach o dużym zachmurzeniu wartości ulegają zmniejszeniu (np. 19 lipca 1997 r. $I_c = 49 \text{ W/m}^2$, a $I_{uv} = 3,2 \text{ W/m}^2$). W bezchmurne dni stosunek I_{uv}/I_c wynosi średnio 3–4%, podczas gdy w dni pochmurne udział nadfioletu wzrasta powyżej 6%.

Popularnym zagadnieniem badawczym ostatnich lat, przedmiotem dyskusji naukowców oraz polityków są zagrożenia płynące ze zmian składu atmosfery, m. in. niszczenia warstwy ozonowej, a w konsekwencji wzrostu natężenia aktywnego biologicznie promieniowania nadfioletowego Słońca. Szczególne znaczenie ze względu na konsekwencje społeczne mają badania tego zagadnienia na obszarach zurbanizowanych. Już w 1934 r. *Steinhäuser* opublikował wnioski na temat osłabienia promieniowania słonecznego w miastach Europy Środkowej w stosunku do nie zurbanizowanych obszarów je otaczających. Podobną problematykę podjął *Trepitz* (1965), porównując wartości promieniowania w miastach różniących się stopniem zanieczyszczenia atmosfery (Trier i Cologne, Niemcy). Podobne badania przeprowadził również *East* (1968) w Montrealu i w Toronto (Kanada). W Tokio zanieczyszczenie powietrza powoduje osłabienie promieniowania o 12–30% w porównaniu

z obszarami otaczającymi (Nishizawa, Yamashita 1967). Pomiary prowadzone w Leicester (Anglia) wskazują na redukcję promieniowania o zakresie widma 210–300 nm o 30% na obszarze miejskim w stosunku do obszarów pozamiejskich (*Atmospheric pollution...*, 1947). W Los Angeles (Peterson 1978) wykazano możliwość redukcji promieniowania UV nawet o 50% jego wartości (średnio o 25% w stosunku do obszarów pozamiejskich). Cytowane prace wskazują na znaczną redukcję ultrafioletowej części widma słonecznego na obszarach zurbanizowanych w stosunku do terenów zamiejskich. Również polscy badacze od wielu lat zajmują się problematyką warunków radiacyjnych. Wspomnieć należy choćby o pionierskich pracach Górczyńskiego (1903) czy Stenza (1922). W polskiej literaturze powojennej znaleźć można wiele publikacji dotyczących warunków solarnych. W opracowaniach podejmowana jest zarówno tematyka rozkładu przestrzennego promieniowania (np. Paszyński 1981, 1983; Kuczmański 1990), jego biegu rocznego (np. Górski 1977), jak i wpływu warunków miejskich na natężenie promieniowania (np. Hess i in. 1980, 1990; Krawczyk 1974; Olecki 1975, 1992; Podogrocki 1982). Trudniej jednak o opracowania dotyczące problematyki wpływu klimatu miasta na osłabienie promieniowania UV.

Zasadniczym celem niniejszego artykułu jest prezentacja pierwszej serii pomiarów całkowitego promieniowania krótkofalowego i promieniowania UV w Łodzi, ze szczególnym uwzględnieniem dobowego biegu promieniowania w różnych warunkach meteorologicznych.

Zagadnienia klimatu miasta należą do tradycyjnej problematyki badawczej Zakładu Meteorologii i Klimatologii UŁ. Niepoślednie miejsce wśród tych badań zajmują problemy radiacyjne (np. Kłysik 1974; Fortuniak 1994). Od kilku lat na stacji Łódź-Lublinek (lotnisko na południowo-zachodnich peryferiach miasta poza zasięgiem zabudowy) prowadzone są pomiary natężenia całkowitego promieniowania słonecznego z wykorzystaniem pyrometru CM11 firmy Kipp & Zonen. Ponadto od dłuższego czasu wykonywane są pomiary albedo na Miejskiej Stacji Meteorologicznej ZMiK UŁ. 1 stycznia 1997 r. rozpoczęto systematyczne pomiary natężenia całkowitego promieniowania krótkofalowego (I_c) i promieniowania UV (I_{UV}). Punkt pomiarowy zlokalizowany jest w centrum Łodzi na dachu budynku Instytutu Geografii Fizycznej i Kształtowania Środowiska przy ul. Lipowej 81. Położony jest 15 m nad poziomem ulicy, 220 m nad poziomem morza. Wyposażenie punktu aktynometrycznego stanowią:

- czujnik CM11 firmy Kipp & Zonen (promieniowanie całkowite w zakresie 305–2800 nm),
- czujnik CUV3 firmy Kipp & Zonen (promieniowanie UV w zakresie 290–400 nm).

Czujniki podłączone są do rejestratora 21X firmy Campbell, wyposażonego w moduł stałej pamięci. Wartości natężenia promieniowania całkowitego (I_C) i natężenia promieniowania UV (I_{UV}) próbkowane są co 10 s, a ich 10-minutowe średnie gromadzone są w module stałej pamięci rejestratora. Podstawę niniejszego opracowania stanowią dane z okresu 1 stycznia – 30 lipca 1997 r. Dla kolejnych dni obliczono sumy dobowe napromieniowania całkowitego i UV w MJ/m^2 oraz odpowiadające im wartości średniodobowe natężenia promieniowania całkowitego i promieniowania UV w W/m^2 . Dla każdego dnia obliczony został stosunek natężenia promieniowania UV do promieniowania całkowitego wyrażony w procentach.

Najniższymi średniodobowymi wartościami napromieniowania (rys. 1) charakteryzuje się styczeń – $2,6 MJ/m^2$ oraz luty – $4,7 MJ/m^2$. Począwszy od lutego wartości irradacji wzrastają, osiągając maksimum w czerwcu, $20,3 MJ/m^2$, w lipcu nastąpił spadek wartości do $15,5 MJ/m^2$ jako konsekwencja znacznego zachmurzenia w tym miesiącu. Podobnym przebiegiem w analizowanym okresie charakteryzują się średniodobowe wartości napromieniowania UV. Najniższa średniodobowa irradacja UV przypada w styczniu, $0,08 MJ/m^2$, najwyższa w czerwcu, $0,8 MJ/m^2$. W lipcu również zaznacza się wyraźny spadek wartości do $0,66 MJ/m^2$. Przebieg średnich miesięcznych wartości stosunku natężenia promieniowania UV do promieniowania całkowitego w badanym okresie jest konsekwencją wypadkowego oddziaływania czynników astronomicznych (drogi promieni świetlnych w atmosferze), układu sytuacji synoptycznych (zachmurzenie, przezroczystość atmosfery) oraz czynników o charakterze antropogenicznym (pyły, dymy). W pierwszych trzech miesiącach badanego okresu, tj. w styczniu, lutym i marcu, obserwuje się rosnąco-spadkową tendencję udziału promieniowania UV w promieniowaniu całkowitym (rys. 1). Najmniejszym procentowym udziałem promieniowania UV charakteryzuje się styczeń – $4,1\%$. W kolejnych miesiącach obserwuje się wzrost udziału nadfioletowej części widma w promieniowaniu całkowitym aż do maksimum w lipcu $4,98\%$. W miesiącach letnich zaznacza się wyższy udział napromieniowania UV w napromieniowaniu całkowitym, co jest zdeterminowane czynnikami astronomicznymi.

Najwyższa średniodobowa wartość natężenia promieniowania całkowitego (I_C) wystąpiła podczas bezchmurnej letniej pogody (30 czerwca 1997 r.) – $487 W/m^2$. Przebieg dobowy I_C (rys. 2), jako rezultat wysokości Słońca i masy optycznej atmosfery, cechuje się szybkim wzrostem wartości po wschodzie Słońca do godz. 9.00, od której wartości I_C wzrastają wolniej, osiągając maksimum w południe $875 W/m^2$. Następnie wartości spadają do zachodu Słońca – początkowo wolno, a w godzinach przedwieczornych szybciej. Wahania wartości I_C w godz. 13.00–16.00 związane są z zachmurzeniem. Podobnym przebiegiem dobowym cechuje się promieniowanie

nadfioletowe, I_{UV} . Maksymalna 10-minutowa średnia I_{UV} to $35,5 \text{ W/m}^2$, a wartość średnia dobową natężenia promieniowania UV wynosi 19 W/m^2 . Również udział procentowy promieniowania UV w natężeniu promieniowania całkowitego (I_{UV}/I_C) posiada w tym dniu wyraźnie zaznaczony bieg dobowy (rys. 2). Znaczne wahania wartości w godzinach porannych i przedwieczornych są spowodowane błędem wynikającym z czułości przyrządu. Od godzin porannych zaznacza się wzrost udziału ultrafioletu w natężeniu promieniowania całkowitego, od południa udział ten zmniejsza się wraz ze zmniejszaniem wysokości Słońca nad horyzontem. Różnice między wartościami w godzinach porannych a południowych wynoszą $0,8\%$. Średniodobowa wartość udziału UV w natężeniu promieniowania całkowitego wynosi $3,9\%$.

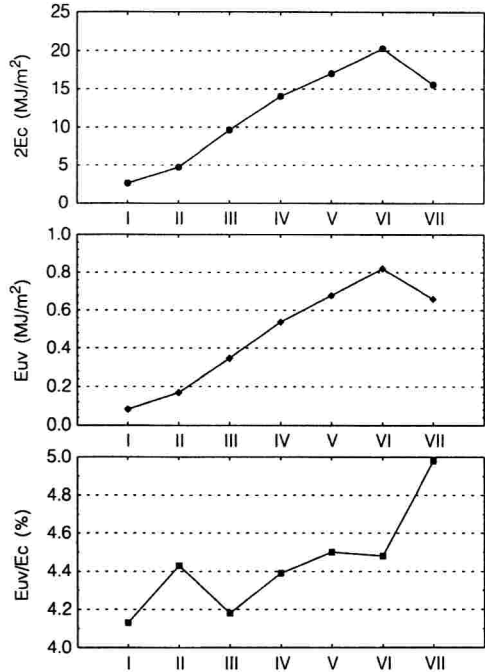
Podobną analizę przeprowadzono dla pogodnego zimowego dnia, tj. 27 stycznia 1997 r. Przebieg dobowy I_C oraz I_{UV} jest typowy dla pory zimowej (rys. 3), związany z niskim położeniem Słońca nad horyzontem. Cechuje go szybki wzrost wartości natężenia I_C i I_{UV} oraz szybki spadek w czasie krótkiego dnia. Średniodobowe wartości I_C i I_{UV} oraz I_{UV}/I_C wynoszą odpowiednio: 203 W/m^2 , $5,8 \text{ W/m}^2$, $3,09\%$. Wartości procentowego udziału nadfioletu charakteryzują się bardziej wyrównanym przebiegiem dobowym w stosunku do pogodnego dnia latem i jednocześnie mniejszym o około 1% udziałem I_{UV} w I_C .

7 stycznia 1997 r. to dzień z najniższą w analizowanym okresie średniodobową wartością I_C , wynoszącą 16 W/m^2 . Przebieg dobowy I_C (rys. 4) jest w tym przypadku silnie modyfikowany przez chmury warstwowe, charakteryzuje się on szybkim wzrostem wartości do zaledwie 31 W/m^2 w południe oraz szybkim spadkiem. Wahania natężenia promieniowania całkowitego w godzinach przedpołudniowych i popołudniowych są związane ze zmianą stopnia zachmurzenia nieba. Podobnie jak w dni pogodne przebieg natężenia promieniowania UV jest odbiciem biegu natężenia promieniowania całkowitego, osiąga ono jednak znikome wartości, nie przekraczające $1,3 \text{ W/m}^2$. Średniodobowa wartość I_{UV} wyniosła $0,6 \text{ W/m}^2$. Procentowa wartość I_{UV}/I_C to około $3,8\%$.

Do dalszej analizy wybrano dzień z dużym procentowym udziałem promieniowania UV, tj. 19 lipca 1997 r. Dzień ten charakteryzował ię dużym zachmurzeniem, a średniodobowa wartość I_C była najniższa w lipcu i wyniosła 49 W/m^2 (rys. 5). Maksymalna 10-minutowa średnia wartość I_C to 229 W/m^2 , podczas gdy najwyższa zarejestrowana w lipcu średnia 10-minutowa wartości I_C to 1095 W/m^2 . Natężenie promieniowania UV charakteryzuje się również niską wartością średnią wynoszącą $3,2 \text{ W/m}^2$, najwyższa w tym dniu zanotowana średnia 10-minutowa I_{UV} to 18 W/m^2 . Rysuje się wyraźne podobieństwo wykresów I_C i I_{UV} , wraz ze wzrostem I_C wzrasta I_{UV} . Średnia wartość procentowego stosunku I_{UV}/I_C jest jednak wysoka w porównaniu z wartościami dla pogodnego dnia ($3\text{--}4\%$) i wynosi aż $6,5\%$ (rys. 5).

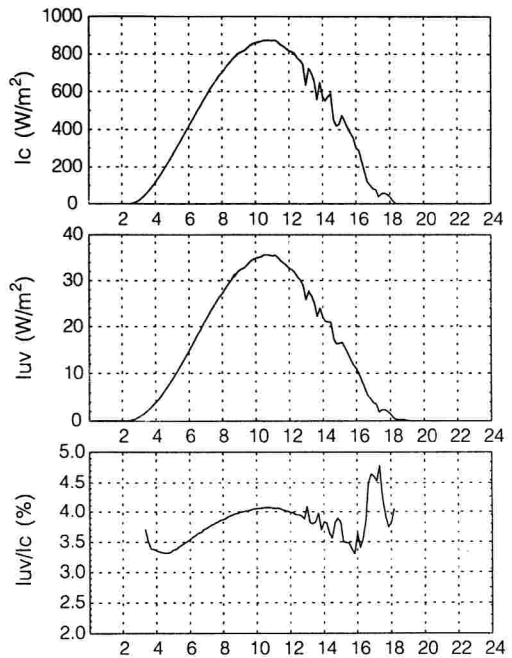
Rys. 1. Przebieg średniodobowych wartości całkowitego napromieniowania (E_c) i napromieniowania UV (E_{uv}) w MJ/m^2 oraz stosunku E_{uv}/E_c (w %) w pierwszej połowie 1997 r.

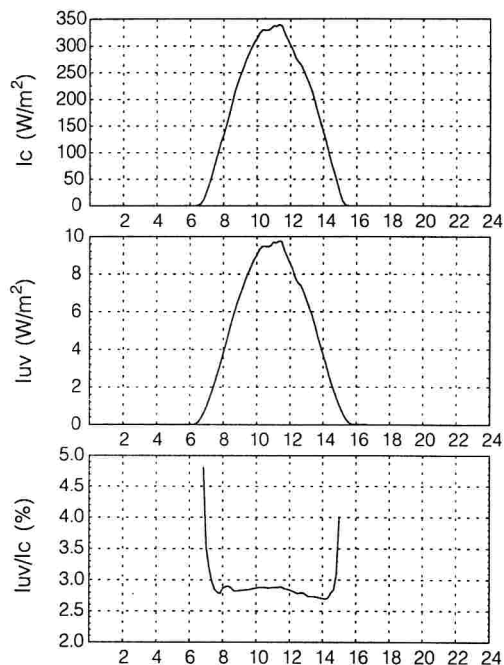
Fig. 1. The total irradiation (E_c), UV irradiation (E_{uv}) and the ratio E_{uv}/E_c in the first seven months of 1997



Rys. 2. Przebieg dobowy natężenia całkowitego promieniowania słonecznego (I_c), promieniowania UV (I_{uv}) oraz stosunku I_{uv}/I_c (w dniu z najwyższą średniodobową wartością I_c – 30 czerwca 1997 r.)

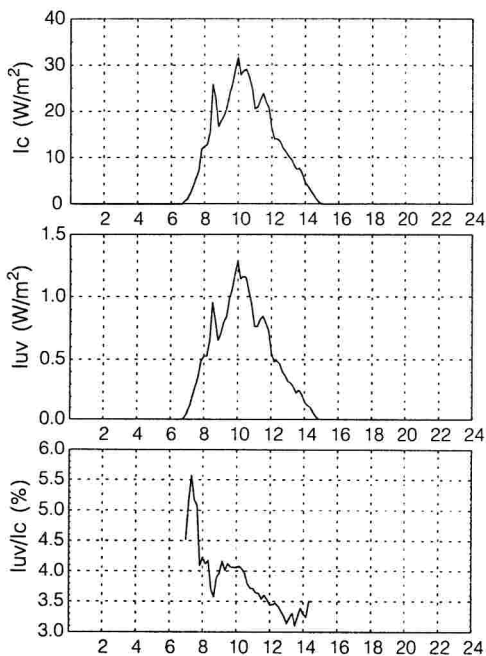
Fig. 2. Daily course of the total short wave radiation, (I_c), UV radiation (I_{uv}), and the ratio I_{uv}/I_c (30 June 1997 – a day with maximum daily average of I_c)





Rys. 3. Przebieg dobowy natężenia całkowitego promieniowania słonecznego (I_c), promieniowania UV (I_{uv}) oraz stosunku I_{uv}/I_c (w pogodnym dniu zimą – 27 stycznia 1997 r.)

Fig. 3. Daily course of the total short wave radiation (I_c), UV radiation (I_{uv}), and the ratio I_{uv}/I_c (27 January 1997 – a day with fine weather in winter)

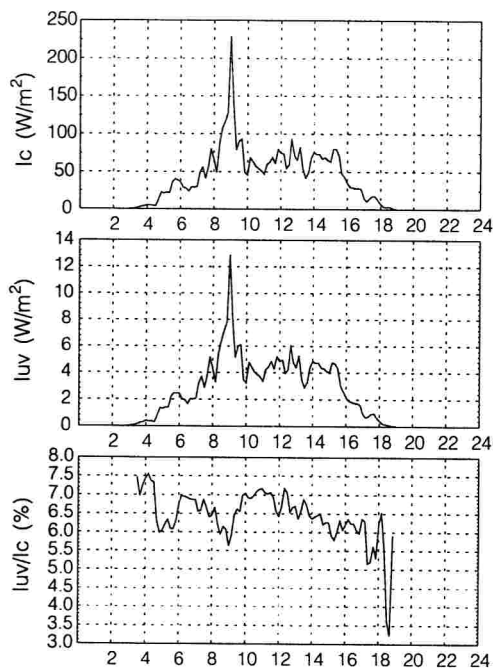


Rys. 4. Przebieg dobowy natężenia całkowitego promieniowania słonecznego (I_c), promieniowania UV (I_{uv}) oraz stosunku I_{uv}/I_c (w dniu z najniższą średniodobową wartością I_c – 7 stycznia 1997 r.)

Fig. 4. Daily course of the total short wave radiation (I_c), UV radiation (I_{uv}), and the ratio I_{uv}/I_c (7 January 1997 – a day with minimum daily average of I_c)

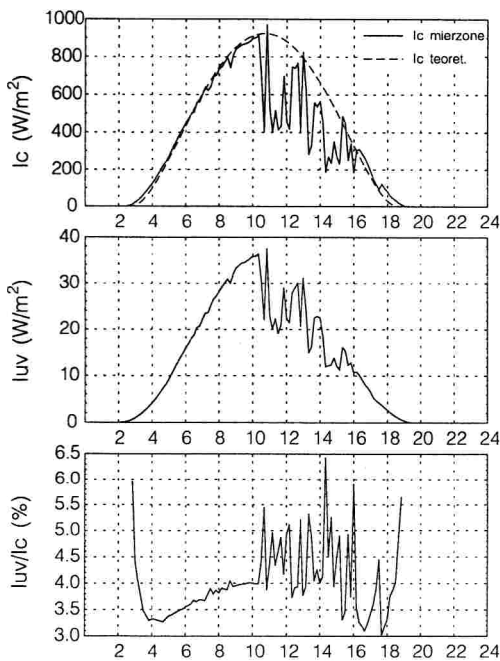
Rys. 5. Przebieg dobowy natężenia całkowitego promieniowania słonecznego (I_c), promieniowania UV (I_{uv}) oraz stosunku I_{uv}/I_c (w dniu z dużym procentowym udziałem promieniowania UV – 19 lipca 1997 r.)

Fig. 5. Daily course of the total short wave radiation (I_c), UV radiation (I_{uv}), and the ratio I_{uv}/I_c (19 July 1997 – a day with large value of ratio I_{uv}/I_c)

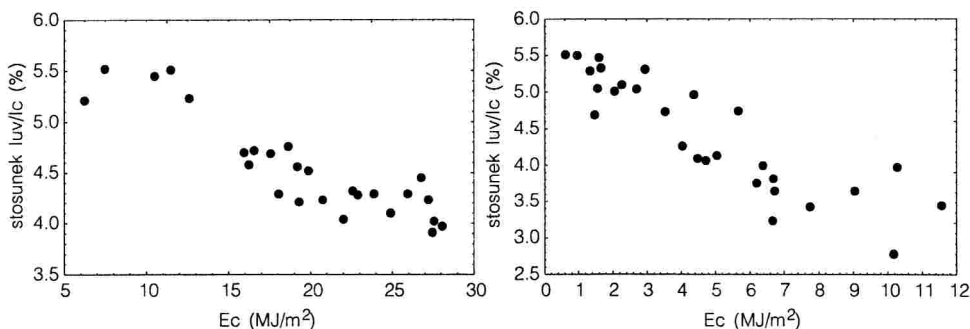


Rys. 6. Przebieg dobowy natężenia całkowitego promieniowania słonecznego (I_c), promieniowania UV (I_{uv}) oraz stosunku I_{uv}/I_c (w dniu z zachmurzeniem konwekcyjnym – 19 czerwca 1997 r.)

Fig. 6. Daily course of the total short wave radiation (I_c), UV radiation (I_{uv}), and the ratio I_{uv}/I_c (19 June 1997 – a day with convective clouds)



W dniu tym brak typowego dobowego biegu udziału nadfioletu w promieniowaniu całkowitym. Kształt krzywych zdeterminowany jest wielkością zachmurzenia. Wykresy ilustrujące przebieg I_{UV}/I_C oraz I_C sugerują, iż wzrostowi wartości natężenia promieniowania całkowitego towarzyszy spadek procentowego udziału nadfioletu, natomiast spadkowi wartości I_C odpowiada wzrost udziału nadfioletu. Nasuwają się dwie hipotetyczne przyczyny tych zależności. Jednym z powodów podwyższonego udziału nadfioletu w dniach pochmurnych, jest większa zdolność transmisyjna chmur w stosunku do promieniowania nadfioletowego Słońca niż dla pozostałej części widma. Inną przyczyną podwyższającą udział procentowy promieniowania UV w promieniowaniu całkowitym może być efekt lustrzany, powodujący odbicie nadfioletu w chmurach i powrót w kierunku powierzchni Ziemi.



Rys. 7. Zależność stosunku I_{uv}/I_c od średniej dobowej wartości natężenia całkowitego promieniowania słonecznego w czerwcu i w lutym 1997 r.

Fig. 7. The ratio I_{uv}/I_c dependence on mean daily value of the total radiation in June and February 1997

Sugestywną ilustracją powyższych tez jest analiza badanych wyników w dniu z zachmurzeniem konwekcyjnym – 19 czerwca 1997 r. W przebiegu dobowym wahania wartości I_C oraz I_{UV} począwszy od godz. około 11.00 wskazują na pojawienie się zachmurzenia konwekcyjnego, które powoduje wyraźne zmniejszenie natężenia promieniowania (rys. 6). W dobowym przebiegu procentowego stosunku I_{UV}/I_C zaznacza się łagodny wzrost wartości od godzin porannych od 3,3 do 4% o godz. 10.00, następnie w momentach pojawiania się zachmurzenia konwekcyjnego wartości znacznie wzrastają do 6,0–6,5%. Spadkowi wielkości zachmurzenia nieba odpowiada spadek udziału nadfioletu.

Podsumowaniem powyższej analizy jest rys. 7 prezentujący zależność stosunku I_{UV}/I_C od średniej dobowej wartości natężenia całkowitego promieniowania słonecznego w lutym i czerwcu. Miesiące te charakteryzują się podobnym trendem, im wyższa wartość I_C tym procentowy udział nadfioletu

jest mniejszy. Prawdopodobnie zależność ta jest zdeterminowana stopniem i rodzajem zachmurzenia. Określenie wpływu różnych rodzajów chmur na wartość natężenia promieniowania nadfioletowego Słońca wymaga dalszych badań dotyczących dłuższej serii obserwacyjnej.

LITERATURA

- Atmospheric Pollution in Leicester: A Scientific Survey*, 1947, *Atm. Pollut. Res.*, Techn. Paper, No 1, 161 ss.
- East C., 1968, *Comparison du rayonnement solaire en ville et a la campagne*, *Cah. Geogr. de Quebec*, Vol. 12, s. 81–89
- Fortuniak K., 1994, *Wpływ aglomeracji łódzkiej na usłonecznienie stacji Łódź-Lublinek*, *Przegl. Geofiz.*, R. 39, z. 1–2, s. 169–178
- Gorczyński W., 1903, *Badania nad przebiegiem insolacji*, *Rozpr. Wydz. Mat.-Przyr. PAU*, t. 40, Nr 3, ser. A, Kraków
- Górski T., 1977, *Zmiany dobowe i roczne promieniowania w zakresie czerwieni i dalekiej czerwieni*, *Mat. IV Sem. Fitoaktywności*, Puławy, 8–10 IX 1977
- Hess M., Olecki Z., 1990, *Wpływ zanieczyszczenia powietrza na stosunki radiacyjne w Krakowie*, *Zesz. Nauk. UJ, Pr. Geogr.*, nr 77
- Kłysik K., 1974, *Cechy dobowego i rocznego przebiegu usłonecznienia w Łodzi*, *Zesz. Nauk. UŁ*, ser. 2, nr 63
- Krawczyk B., 1974, *Próba wyznaczenia absorpcji selektywnej w dopływie do powierzchni ziemi bezpośredniego promieniowania słonecznego*, *Przegl. Geogr.*, t. 46, z. 4
- Kuczmarowski M., 1990, *Usłonecznienie w Polsce i jego przydatność dla helioterapii*, *Dok. Geogr.*, nr 4
- Nishizawa T., Yamashita S., 1967, *On Attenuation of the Solar Radiation in the Largest Cities*, *Jap. Progr. Clim.*, Tokyo, s. 66–70
- Olecki Z., 1992, *Przezroczystość atmosfery w krakowskiej aglomeracji miejsko-przemysłowej*, *Zesz. Nauk. UJ, Pr. Geogr.*, nr 90
- Paszyński J., Miara K., 1981, *Metoda wyznaczania odbitego promieniowania słonecznego w Polsce*, [w:] *Mat. V Symp. Fitoaktywności*, Puławy
- Paszyński J., Miara K., Grzybowski J., 1983, *Bilans promieniowania w Polsce*, [w:] *Mat. Zjazdu Geografów Polskich*, Toruń
- Peterson J. T. i in., 1978, *Urban-Rural Solar Radiation and Atmospheric Turbidity Measurements in the Los Angeles Basin*, *J. Appl. Meteor.*, No 17, s. 1595–1609
- Steinhaus F., 1934, *Neue Untersuchungen der Temperaturverhältnisse von Gtoszstädten: Methode und Ergebnisse*, *Bioklim Beiblätter*, Bd. 1, s. 105–111
- Stenz E., 1922, *Natężenie promieniowania słonecznego i insolacja w Warszawie w okresie 1913–1918*, *Roczniki PIM za rok 1919*, Warszawa
- Trepitz W., 1965, *Der Einfluss des Stadtdunstes auf die Globalstrahlung in Köln*, *Diss., Univ. Köln*, 103 ss.

SUMMARY

The paper presents the preliminary results of the measurements of UV radiation intensity, I_{uv} , and the total short wave radiation, I_c , (in W/m^2) in Łódź. The data were collected in the city centre for the period January–July 1997. The aim of the work is comparison of daily courses of I_{uv} , I_c and the ratio I_{uv}/I_c (in %) during various weather conditions. The daily courses of I_{uv} and I_c are similar, depending on sun position, cloudiness or air transparency. The radiation is higher during clear weather reaching maximum daily mean values on 30 June 1997 $I_c = 487 W/m^2$ and $I_{uv} = 35.5 W/m^2$. During cloudy weather these values are lower ($I_c = 49 W/m^2$ and $I_{uv} = 3.2 W/m^2$ on 19 July 1997). For fine weather the ratio I_{uv}/I_c has well marked daily course with average 3–4% whereas cloudy conditions disturb this course and lead to the ratio even more than 6%.