

ZMIENNOŚĆ USŁONECZNIENIA RZECZYWISTEGO W POLSCE

Czesław Koźmiński¹, Bożena Michalska²

¹Zakład Klimatologii i Meteorologii Morskiej, Uniwersytet Szczeciński
ul. Wąska 3, 71-407 Szczecin

²Katedra Meteorologii i Klimatologii, Akademia Rolnicza
ul. Papieża Pawła VI, 3, 71-469 Szczecin
e-mail: bmichalska@agro.ar.szczecin.pl

Streszczenie. Podstawę opracowania stanowiły wyniki pomiarów dekadowych lub miesięcznych sum usłonecznienia rzeczywistego z trzech okresów pomiarów: 1952-2001 – 7 stacji meteorologicznych IMGW, 1966-2000 – 6 stacji oraz 1971-2000 – 46 stacji. Zmienność warunków heliograficznych oparto na analizie statystycznej sum rocznych, miesięcznych i dekadowych z wybranych stacji meteorologicznych. Obliczono współczynniki trendu liniowego dekadowych i miesięcznych sum usłonecznienia, co pozwoliło na wydzielenie okresów wzrostu lub spadku sum usłonecznienia w ciągu roku na terenie kraju. W celu wydzielenia obszarów o największych związkach sum usłonecznienia rzeczywistego w cieplej porze roku, zastosowano macierz korelacji sum usłonecznienia z 21 stacji meteorologicznych oraz metodę analizy skupień. Na terenie kraju wydzielono 5 obszarów: I Nadmorski, II Środkowy i Zachodni, III Wyżyny Małopolskiej, IV Wschodni, V Górnej Wisły i Sanu.

Słowa kluczowe: usłonecznienie, rozkład przestrzenny, czasowy, trendy, regiony

WSTĘP

Wyczerpywanie się naturalnych zasobów energetycznych powoduje wzrost zainteresowania energią ze źródeł alternatywnych, w tym również usłonecznienia. Notowany w Polsce wzrost liczby godzin ze Słońcem, zwłaszcza w ostatnim dziesięcioleciu, stwarza warunki do efektywnego wykorzystania energii słonecznej, choć występująca duża zmienność usłonecznienia stanowi utrudnienie w bieżącym pozyskiwaniu tego rodzaju energii [1].

Problemem usłonecznienia w Polsce zajmowało się kilku autorów: Kuczmarzka [4], Kuczmarzki i Paszyński [6], Kuczmarzki [5], Podogrocki i Górski [8], Kozłowska-Szczęsna i inni [2], Koźmiński i Michalska [3], którzy w zależności od dostępnych materiałów opracowali różne charakterystyki klimatologiczne tego

elementu dla potrzeb rekreacji, helioterapii oraz niekonwencjonalnego wykorzystania energii słonecznej.

Większość opracowań odnosiła się do lat wcześniejszych, głównie 1961-1970, a wobec zmieniających się warunków klimatycznych zaszła potrzeba ponownej analizy zmienności czasu trwania usłonecznienia za ostatnie dziesięciolecie.

MATERIAŁY I METODY

W celu zrealizowania tematu zebrano dane o usłonecznieniu z Przeglądów Pogody i Biuletynów IMGW z trzech okresów: 1952-2001 – sumy miesięczne z 7 stacji reprezentujących różne regiony kraju, 1966-2000 – sumy dekadowe z 6 stacji meteorologicznych, 1971-2000 – sumy dekadowe z 46 stacji meteorologicznych, posiadających nieprzerwane ciągi pomiarowe.

Zmienność usłonecznienia opisano na podstawie analizy statystycznej sum rocznych, miesięcznych i dekadowych z wybranych stacji meteorologicznych. Wieloletnie tendencje zmian usłonecznienia oceniono stosując metodę regresji liniowej. Obliczono współczynniki trendu liniowego dla sum rocznych i miesięcznych dla okresu 1952-2001 oraz dekadowych dla okresu 1971-2000. W celu wydzielenia obszarów o zbliżonych warunkach usłonecznienia w okresie wegetacji zastosowano macierz korelacji sum usłonecznienia z 21 stacji meteorologicznych oraz metodę analizy skupień.

WYNIKI

Wykorzystując 50-letnie wyniki pomiarów usłonecznienia rzeczywistego obliczono współczynniki trendu liniowego dla poszczególnych miesięcy i roku (tab. 1). Na wszystkich 7 stacjach występował dodatni trend liniowy rocznych sum godzin ze Słońcem, w tym na 4 położonych w centralnej części kraju był on istotny lub wysoce istotny. Spośród rozpatrywanych miesięcy największy przyrost usłonecznienia wystąpił na wszystkich stacjach w maju, a na większości w sierpniu, natomiast spadek usłonecznienia we wrześniu i w marcu, co przykładowo przedstawiono na diagramach dla stacji w Łodzi (rys. 1). Ogólnie jednak w badanym okresie zaznaczyły się dodatnie, choć nieistotne statystycznie tendencje sum usłonecznienia w większości miesięcy w roku.

Załączone dla 5 stacji diagramy uwidaczniają bardzo duże wahania rocznych sum godzin ze Słońcem z roku na rok, zwłaszcza na przełomie lat 70. i 80., a wyraźne zmniejszenie amplitudy wahań w latach 90. (rys. 2). W badanym wieloleciu najbardziej słoneczne w Polsce były lata 1953 i 1982, a najbardziej pochmurnym – rok 1980, ale według Podogrockiego [7], który badał dłuższy okres, rekordowo słonecznym był w Polsce rok 1921 (ponad 2100 godzin).

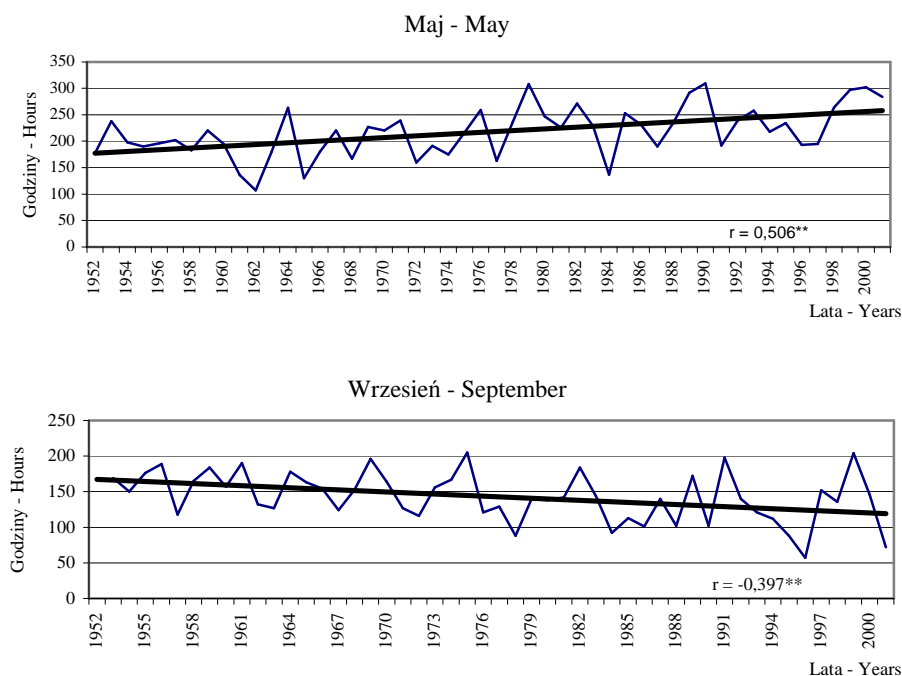
Tabela 1. Współczynniki korelacji trendu liniowego miesięcznych sum usłonecznienia rzeczywistego dla 50-lecia 1952-2001 w wybranych stacjach w Polsce

Table 1. Linear trend correlation coefficients of monthly sums of actual insolation for 50 years (1952-2001) at selected stations in Poland

Stacja/Miesiąc Station/Month	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I-XII
Suwałki	0,04	0,03	-0,27*	-0,05	0,35*	-0,23	0,054	0,15	-0,32*	0,13	0,02	-0,06	0,02
Białystok	0,2	0,11	-0,23	0,08	0,55**	-0,05	0,05	0,30*	-0,26	0,20	0,33*	0,23	0,27
Warszawa	0,190	0,27	-0,18	0,18	0,56**	0,02	0,11	0,21	-0,36*	-0,01	0,16	0,20	0,28*
Poznań	0,41**	0,39**	-0,13	0,35*	0,45**	0,10	0,33*	0,44**	-0,39*	0,21	0,31*	0,28*	0,51**
Puławy	0,20	0,18	-0,10	0,15	0,58**	0,10	0,10	0,32*	-0,27*	-0,01	0,24	0,11	0,35*
Łódź	0,25	0,20	-0,16	-0,10	0,51**	-0,02	0,26*	0,35*	-0,40**	0,03	0,38	0,14	0,33*
Kraków	0,11	0,30	-0,06	-0,05	0,41**	0,03	0,08	0,079	-0,28*	0,04	0,11	0,11	0,14

* – wartości istotne statystycznie na poziomie 0,05 – values statistical significant at the level 0.05.

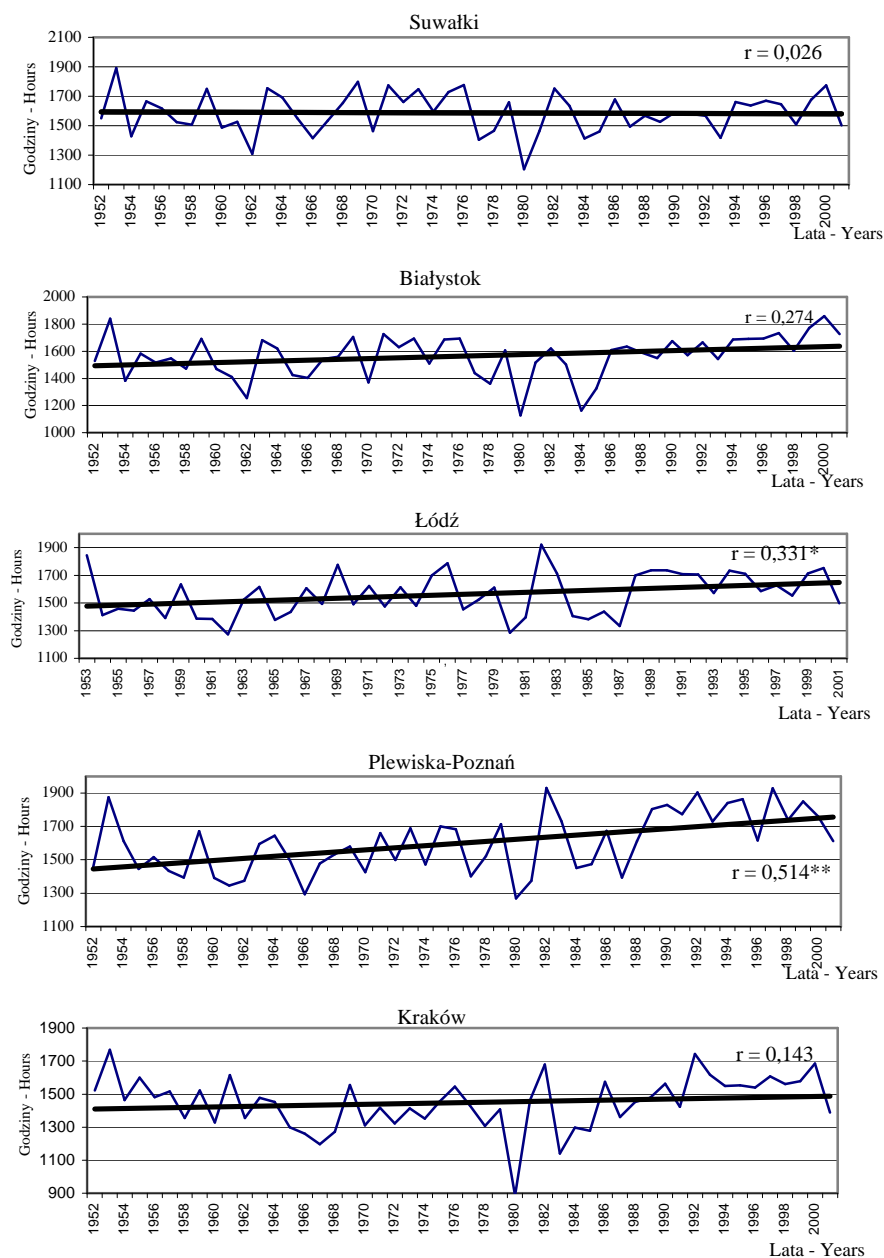
** – wartości istotne statystycznie na poziomie 0,01 – values statistical significant at the level 0.01.



Rys. 1. Przebieg sum usłonecznienia rzeczywistego w maju i wrześniu na stacji w Łodzi wraz z trendami liniowymi. Lata 1952-2001

Fig. 1. Actual insolation sums in May and September and linear trends at the station in Łódź (1952-2001)

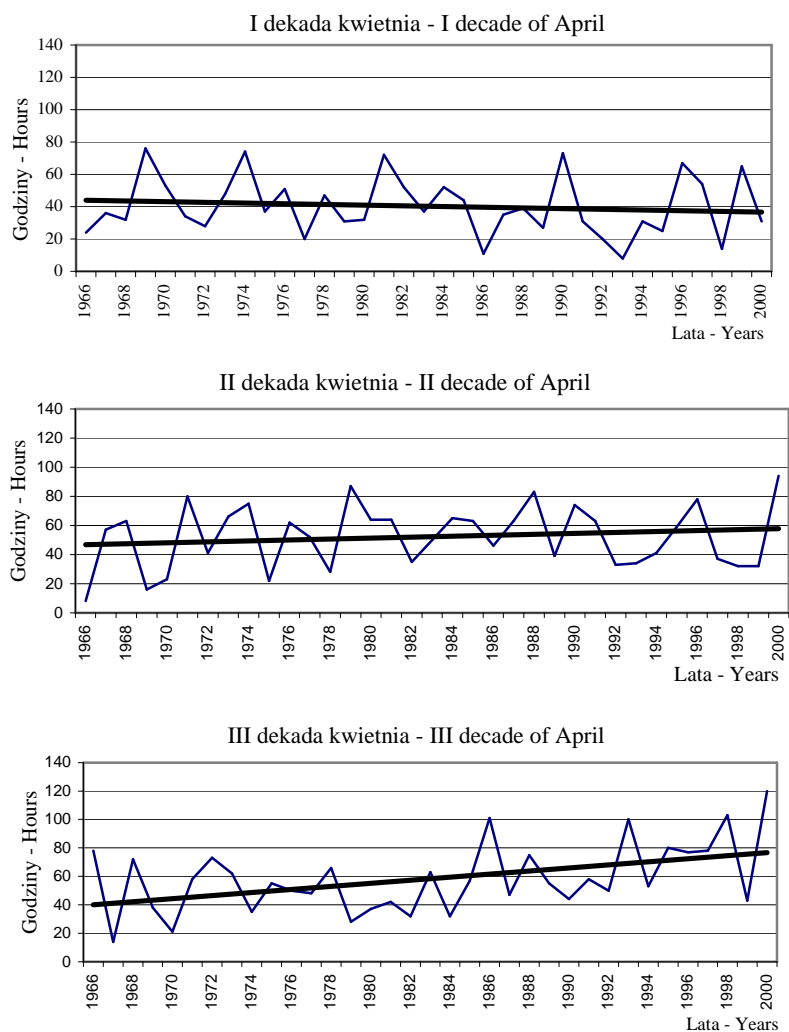
Charakterystykę usłonecznienia na ogół prezentuje się w układzie miesięcznym lub sezonowym, a tymczasem jak wynika z załączonych diagramów, przykładowo dla Białegostoku, w poszczególnych dekadach danego miesiąca mogą występować dodatnie lub ujemne tendencje zmian (rys. 3). Z przebiegu maksymalnych, średnich i minimalnych sum usłonecznienia w kolejnych dekadach dla wybranej stacji w Krakowie wynika, iż w tej stacji podobnie jak i w innych w Polsce, zaznaczyły się wyraźne codekadowe, bądź okresowe wahania ekstremalnych i średnich wieloletnich sum godzin ze Słońcem, zwłaszcza latem i zimą (rys. 4). Stąd wynikała potrzeba opracowania tego elementu klimatu według ciągów dekad o dodatnich lub ujemnych trendach. Na terenie kraju można wyróżnić w ciągu roku 3 okresy wzrostu usłonecznienia oraz 2 okresy spadku sum godzin (rys. 5). Najwyraźniej zaznaczał się okres wiosenny od 21 kwietnia do 10 czerwca, po którym występował okres spadku usłonecznienia trwający do końca tego miesiąca. Trzecia dekada lipca i dwie pierwsze dekady sierpnia charakteryzowały się na większości stacji ponownym wzrostem usłonecznienia w analizowanym wieloleciu 1966-2000, natomiast mniej



Rys. 2. Przebieg rocznych sum usłonecznienia rzeczywistego na wybranych stacjach meteorologicznych wraz z trendami liniowymi. Lata 1952-2001

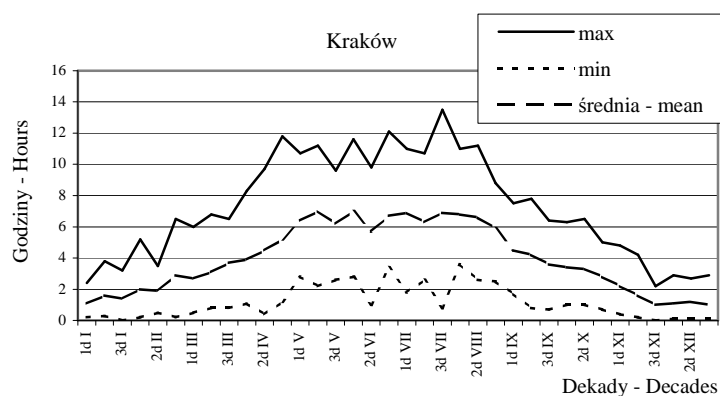
Fig. 2. Annual sums of actual insolation and linear trends at selected meteorological stations (1952-2001)

wyraźny wzrost zaznaczał się w dwóch ostatnich dekadach października i pierwszej listopada. We wrześniu, jak wspomniano wyżej stwierdzono zmniejszenie się liczby godzin ze Słońcem.



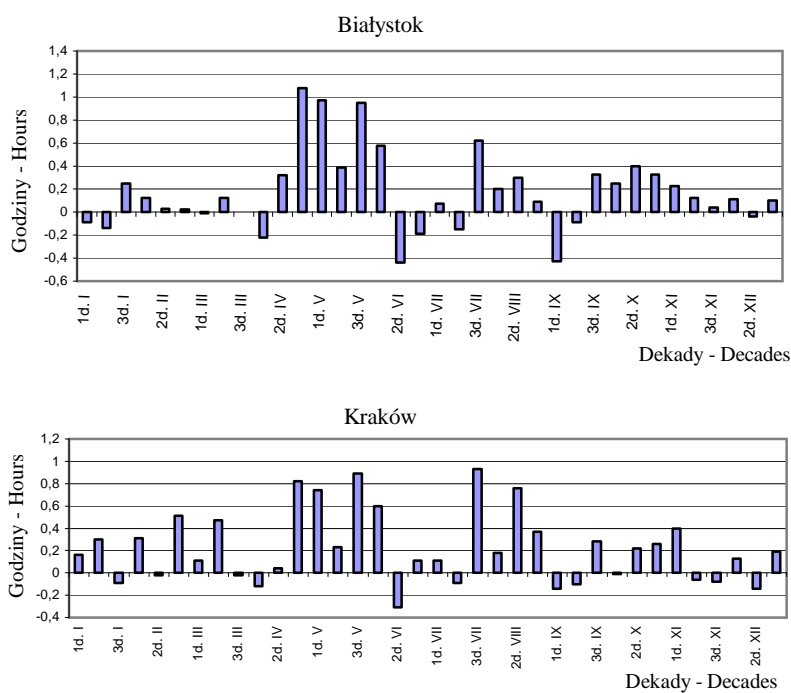
Rys. 3. Przebieg dekadowych sum usłonecznienia rzeczywistego w kwietniu w Białymstoku z trendami liniowymi. Lata 1966-2000

Fig. 3. Ten-day period sums of actual insolation and linear trends in Białystok in April (1966-2000)



Rys. 4. Średnie, maksymalne i minimalne dzienne usłonecznienie rzeczywiste w kolejnych dekadach. Lata 1966-2000

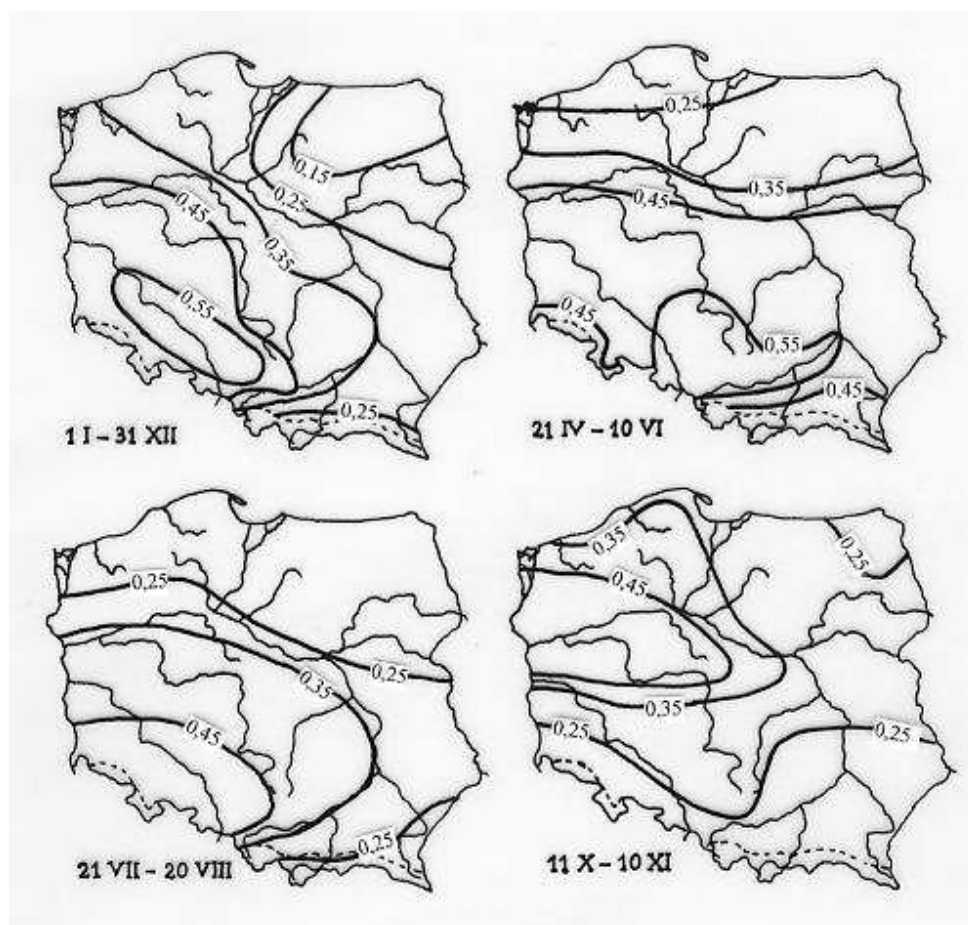
Fig. 4. Average, maximum and minimum daily actual insolation in successive ten-day periods (1966-2000)



Rys. 5. Średnie roczne zmiany godzin ze Słońcem w kolejnych dekadach roku. Lata 1966-2000

Fig. 5. Average annual changes of the time according to the sun in successive ten-day periods of the year (1966-2000)

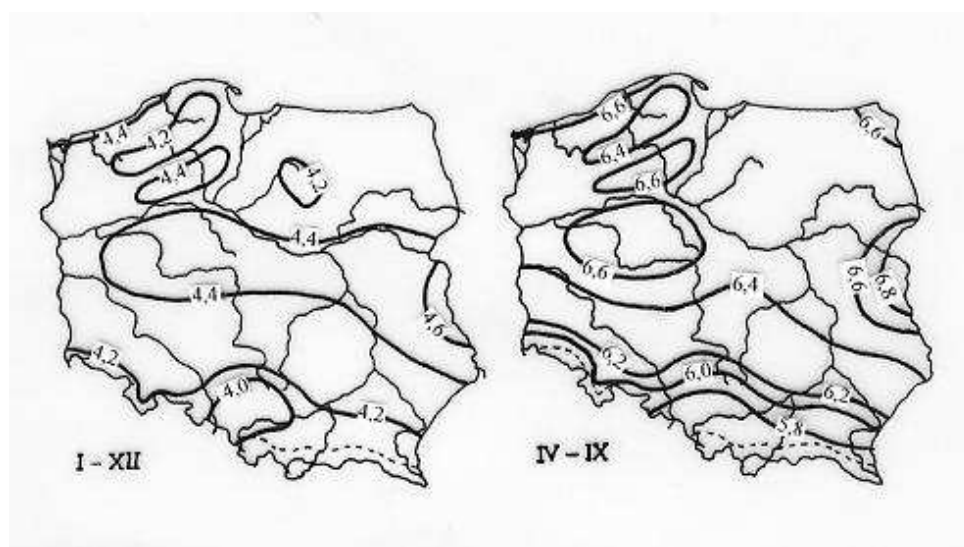
Na kolejnym rysunku 6 przedstawiono przestrzenny rozkład współczynników korelacji dodatniego trendu liniowego rocznych i okresowych sum usłonecznienia rzeczywistego. Istotne i wysoko istotne statystycznie związki sum godzin ze Słońcem z latami badań (1971-2000) występowały w ciągu roku w południowo-zachodniej, wiosną w południowej i środkowej części kraju, latem w południowej i południowo-zachodniej, a jesienią – w środkowozachodniej. Naj słabiej zaznaczały się trendy wzrostu usłonecznienia w północno-wschodniej części kraju.



Rys. 6. Współczynniki korelacji dodatniego trendu liniowego rocznych i okresowych sum usłonecznienia rzeczywistego. Lata 1971-2000

Fig. 6. Correlation coefficients of a positive linear trend of annual and periodic sums of actual insolation (1971-2000)

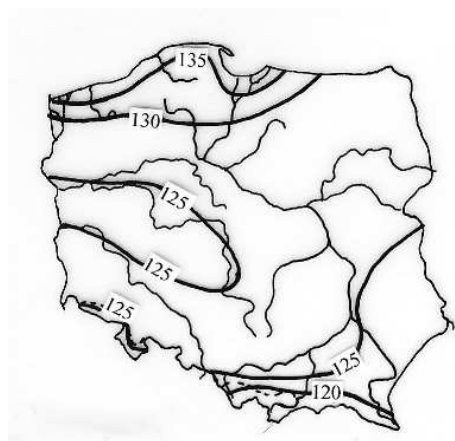
Średnie dzienne usłonecznienie rzeczywiste w ciągu roku (1971-2000), przyjmowało najwyższe wartości – od 4,4 do około 4,6 godzin w środkowej części kraju, a także w południowo-wschodniej części Pojezierza Pomorskiego i na zachodnim i środkowym wybrzeżu (rys. 7). Najniższe wartości (poniżej 4,0 godziny) występowały na Górnym Śląsku i w górach. Porównując opisane wartości z przestrzennym rozkładem średnich dziennych sum usłonecznienia rzeczywistego z okresu 1961-1970 według M. Kuczmarzkiego [5] stwierdza się dość duży wzrost średniej liczby godzin ze Słońcem od 0,3 do 0,5, zaś w porównaniu z okresem 1951-1970 według Kuczmarzkiej [4] nieco mniejszy od 0,2 do 0,4 godziny, zwłaszcza w południowo-zachodniej i centralnej części kraju, a także na Górnym Śląsku.



Rys. 7. Średnie dzienne usłonecznienie rzeczywiste w roku i w okresie wegetacyjnym. Lata 1971-2000
Fig. 7. Average daily actual insolation in the year and during the vegetation period (1971-2000)

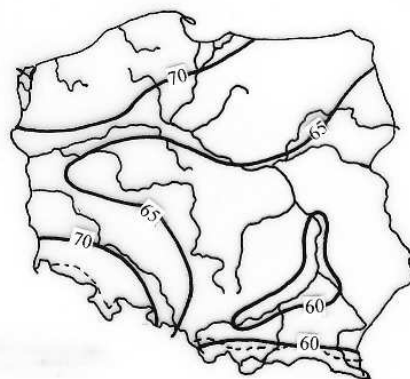
W okresie wegetacyjnym regionami uprzywilejowanymi pod względem usłonecznienia były Pobrzeże, południowo-wschodnia część Pojezierza Pomorskiego oraz Pojezierze Wielkopolskie i Polesie Lubelskie (powyżej 6,6 godzin), a najmniej słonecznymi – południowa część Polski (poniżej 6,0 godziny). Opisywane usłonecznienie z okresu wegetacyjnego w porównaniu z średnim dziennym słonecznieniem w ciągu roku wynosi przeciętnie od około 68% na terenach górskich do ponad 76% w północnej Polsce.

Występująca na terenie kraju zmienność warunków pogodowych znajduje także swoje odzwierciedlenie w przestrzennym zróżnicowaniu czasu trwania usłonecznienia, co prezentują opracowane mapy dla pochmurnego (rok 1980) i bardzo słonecznego (rok 1994) sezonu letniego (rys. 8 i 9). Stosunek usłonecznienia rzeczywistego okresu letniego 1980 roku do średnich sum wieloletnich wahał się na terenie kraju od około 60% wzdłuż górnego odcinka doliny Wisły do około 70% na Dolnym Śląsku i na Pojezierzu Pomorskim, a w 1994 roku od około 120% na obszarze Karpat do około 135% w strefie wybrzeża. Zarówno w roku pochmurnym jak i słonecznym najbardziej uprzywilejowaną była północno-zachodnia część kraju.



Rys. 8. Procentowy stosunek usłonecznienia rzeczywistego okresu letniego (VI-VIII) roku 1994 do średnich sum wieloletnich

Fig. 8. Percent contribution of actual insolation of the summer period (June – August) in 1994 in average many year sums

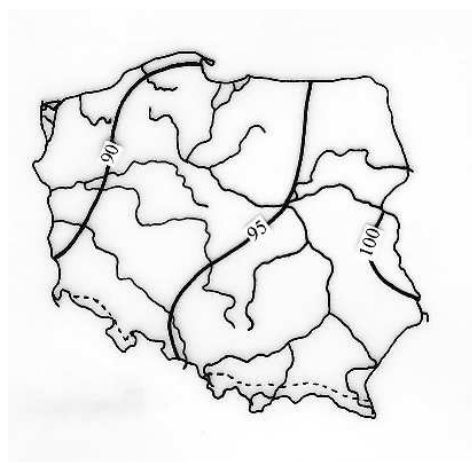


Rys. 9. Procentowy stosunek usłonecznienia rzeczywistego okresu letniego (VI-VIII) roku 1980 do średnich sum wieloletnich

Fig. 9. Percent contribution of actual insolation of the summer period (June – August) in 1980 in average many year sums

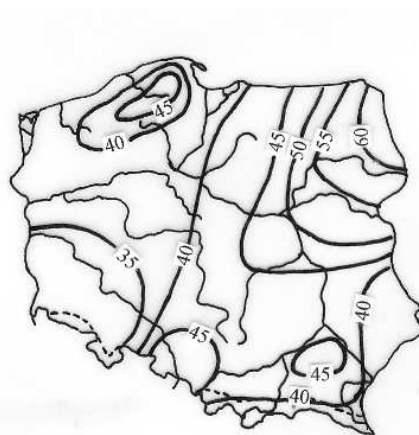
Jak wcześniej wspomniano maj charakteryzował się dodatnimi wysoko istotnymi trendami usłonecznienia na większości stacji meteorologicznych, a zarazem w tym miesiącu, poza południowo-wschodnią częścią kraju, notowano najwyższe w roku dzienne sumy godzin ze Słońcem, które wynosiły od 6,6 w Raciborzu do 8,3 w Koszalinie. Tymczasem w latach 1951-1970 [4] najbardziej słonecznym miesiącem był czerwiec, z przeciętnymi wartościami od 5,8 godziny na Górnym Śląsku do 8,6 na Pobrzeżu Kaszubskim i Nizinie Podlaskiej, a w maju średnie wartości usłonecznienia wahały się od około 5,2 do 7,0 godziny. W latach 1971-2000 średnie dzienne usłonecznienie w czerwcu, w porównaniu z majem malało w miarę przemieszczania się ze wschodu w kierunku północno zachodnim (rys. 10).

Jak wynika z tabeli 2, maj obok sierpnia charakteryzował się najmniejszą zmiennością sum usłonecznienia rzeczywistego, co wraz ze zwiększającą się liczbą godzin słonecznych umożliwia wydłużenie okresu turystycznego i rekreacji w Polsce. Natomiast największą zmiennością usłonecznienia charakteryzowały się miesiące zimowe, w których bardzo duże zanieczyszczenie powietrza i niskie temperatury, oraz duże zachmurzenie zwiększają uciążliwość warunków bioklimatycznych tego sezonu. Potwierdza to również mała liczba dni z usłonecznieniem >4 godziny dziennie w grudniu, wynosząca na terenie kraju zaledwie od 1 do 5 [2]. Usłonecznienie w grudniu wykazywało w latach 1971-2000 największą zmienność: od około 35 do około 60% wzrastając z południo-zachodu na północo-wschód (rys. 11). Tymczasem zmienność rocznych sum usłonecznienia wahała się od 7% w Terespolu do 13% w Opolu, przyjmując najniższe wartości we wschodniej części kraju.



Rys. 10. Procentowy stosunek średniej dziennej usłonecznienia rzeczywistego czerwca do średniej dziennej maja

Fig. 10. Percent relation of average daily actual insolation of June to average daily actual insolation of May



Rys. 11. Współczynnik zmienności (%) usłonecznienia rzeczywistego w grudniu. Lata 1971-2000

Fig. 11. Variability coefficient (in %) of actual insolation in December (1971-2000)

Pomimo dużej zmienności warunków usłonecznienia w Polsce mogą występować w określonych miesiącach pomiędzy stacjami położonymi w różnych regionach kraju zbliżone warunki heliograficzne (rys. 12). Ma to miejsce szczególnie w lutym, maju i w lipcu, w przeciwieństwie do stycznia, kwietnia, czerwca i listopada, kiedy to ścisłość związków usłonecznienia między stacjami jest znacznie słabsza. Wartość współczynnika korelacji zależy nie tylko od danego miesiąca, ale także odległości między

stacjami, co ilustrują diagramy dla Łodzi, położonej centralnie i Szczecina położonego peryferyjnie. Podobne wyniki, ale dla miesięcznych sum promieniowania całkowitego w ciągu roku uzyskali Bogdańska i Podogrocki [1]. Największe współczynniki korelacji pomiędzy analizowanymi stacjami otrzymali dla lipca, a najmniejsze w miesiącach zimowych, szczególnie dla stycznia.

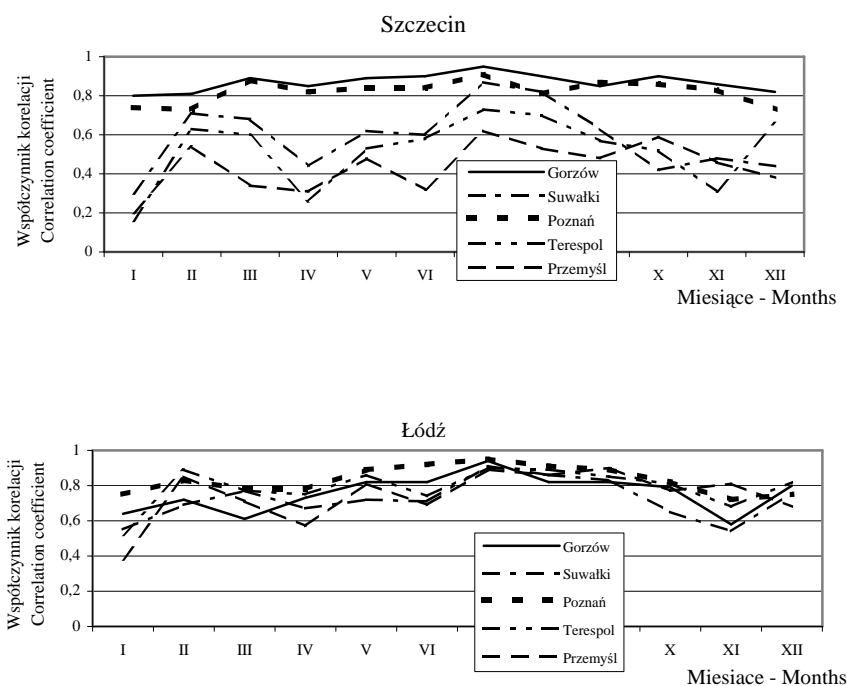
W kolejnym etapie pracy określono związki statystyczne między sumami usłonecznienia w okresie wegetacyjnym (IV-IX) z 21 stacji meteorologicznych na terenie kraju. Posługując się metodą analizy skupień wyodrębniono grupy stacji o najwyższych wielkościach współczynników korelacji, co dało podstawę do wstępnego wydzielenia w Polsce 5 obszarów o największych związkach sum usłonecznienia rzeczywistego w ciepłej porze roku:

I Nadmorski, II Środkowy i Zachodni, III Wyżyny Małopolskiej, IV Wschodni, V Górnej Wisły i Sanu.

Tabela 2. Współczynniki zmienności (%) sum usłonecznienia rzeczywistego na wybranych stacjach meteorologicznych. Lata 1971-2000

Table 2. Variability coefficients (%) of the sums of actual insolation at selected stations (1971-2000)

Stacja/Miesiąc Station/Month	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I-XII
Szczecin	37	33	26	24	20	26	29	21	26	33	46	40	11
Szczecinek	47	34	28	23	20	23	26	19	28	29	44	40	10
Suwałki	46	47	34	24	19	19	26	22	27	33	50	63	9
Gorzów	41	32	25	27	22	26	31	20	26	30	44	50	12
Poznań	44	28	24	22	22	24	29	19	25	29	42	36	11
Łódź	37	39	26	18	20	23	29	20	27	34	41	48	10
Puławy	31	37	28	22	18	19	26	18	28	32	34	47	9
Terespol	31	34	28	20	15	18	23	16	25	32	39	52	7
Przemyśl	29	39	29	21	21	21	21	17	27	29	40	42	9
Kraków	30	37	28	25	22	23	28	20	27	27	34	41	9
Opole	41	31	23	21	23	20	25	19	28	27	37	47	13
Jelenia G.	37	28	23	24	27	25	27	18	26	26	35	34	10



Rys. 12. Współczynniki korelacji miesięcznych sum usłonecznienia rzeczywistego między Szczecinem oraz Łodzią a wybranymi stacjami meteorologicznymi. Lata 1971-2000

Fig. 12. Correlation coefficients of monthly sums of actual insolation between Szczecin and Łódź and selected meteorological stations (1971-2000)

WNIOSKI

1. W badanym wieloleciu 1971-2000, w porównaniu z okresem 1951-1970, wystąpił wzrost od 0,2 do 0,4 godziny rocznych sum usłonecznienia rzeczywistego w środkowej i południowo-zachodniej części kraju.

2. Na większości stacji meteorologicznych występuje istotny i wysoko istotny, dodatni trend usłonecznienia rzeczywistego w maju i sierpniu, a istotny ujemny we wrześniu i nieistotny ujemny w marcu.

3. W rozkładzie dekadowych sum usłonecznienia rzeczywistego w ciągu roku, można wyróżnić na przeważającym obszarze kraju trzy okresy z tendencją wzrostową: wiosenny – od 21 IV do 10 VI, letni – od 21 VII do 20 VIII, jesienny – od 11 X do 10 XI, a także dwa okresy z tendencją spadkową usłonecznienia: od 11 do 30 VI oraz od 1 do 20 IX.

4. Najwyższe istotne i wysoko istotne wartości współczynników korelacji dodatniego trendu liniowego sum usłonecznienia w roku występują w południowo-zachodniej części kraju, wiosną w południowej i środkowej, latem w południowo-zachodniej, a jesienią w środkowo-zachodniej części kraju.

5. W okresie 1971-2000 na przeważającym obszarze kraju, poza południowo-wschodnią częścią, największe usłonecznienie notowano w maju, a nie w lipcu i w czerwcu jak było w latach wcześniejszych. Średnia suma usłonecznienia rzeczywistego w czerwcu, w porównaniu z majem jest mniejsza od około 1% w środkowo-wschodniej części do około 10% w północno zachodniej części kraju.

6. Najściślejsze związki statystyczne usłonecznienia rzeczywistego między stacjami położonymi w różnych regionach kraju występują w lutym, maju i lipcu, a najsłabsze w styczniu, kwietniu, czerwcu i listopadzie.

7. Na terenie kraju wydzielono 5 obszarów o największych związkach sum usłonecznienia rzeczywistego w cieplej porze roku.

PIŚMIENNICTWO

1. **Bogdańska B., Podogrocki J.:** Zmienność całkowitego promieniowania słonecznego na obszarze Polski w okresie 1961-1995. IMGW, Ser. Meteorologia – 30, Warszawa, 43, 2000.
2. **Kozłowska-Szczęsna T., Błażejczyk K., Krawczyk B.:** Bioklimatologia człowieka. PAN, IGiPZ. Monografia 1 Warszawa, 1997.
3. **Koźmiński C., Michalska B.:** Usłonecznienie rzeczywiste [W:] Atlas klimatycznego ryzyka uprawy roślin w Polsce. AR Szczecin, US, 2001.
4. **Kuczarska L.:** Usłonecznienie [W:] Narodowy Atlas Polski. ZNiO, 1973-1978.
5. **Kuczarski M.:** Usłonecznienie w Polsce w okresie 1961-1970. Warszawa, Czas. Geogr. 53, 149-157, 1982.
6. **Kuczarski M., Paszyński J.:** Zmienność dobową i sezonową usłonecznienia w Polsce. Przegl. Geogr. T. 53, z. 4, 780-791, 1981.
7. **Podogrocki J.:** Warunki klimatyczne i meteorologiczne do wykorzystania energii promieniowania słonecznego w warunkach Polski, <http://ekologika.pl/nauka/koro/-netmark/podogrocki.htm>
8. **Podogrocki J., Górka K.:** Niedobory usłonecznienia [W:] Atlas klimatyczny elementów i zjawisk szkodliwych dla rolnictwa w Polsce. IUNG Puławy, AR Szczecin, 1990.

VARIABILITY OF ACTUAL INSOLATION IN POLAND

Czesław Koźmiński¹, Bożena Michalska²

¹Department of Climatology and Marine Meteorology, University of Szczecin
ul. Wąska 3, 71-407 Szczecin

²Department of Meteorology and Climatology, University of Agriculture
ul. Papieża Pawła VI, 3, 71-469 Szczecin
e-mail: bmichalska@agro.ar.szczecin.pl

Abstract. The studies were based on the 10-day period or monthly measurement of the sums of actual insolation from three periods of measurements: 1952-2001 – 7 IMGW (Institut of Meteorology and Water Management) meteorological stations, 1966-2000 – 6 stations and 1971-2000 – 46 stations. Variability of heliographic conditions was based on the statistical analysis of the annual, monthly and 10-day period sums from the selected meteorological stations. Coefficients of the linear trend of 10-day period and monthly insolation sums were calculated making it possible to select periods of increase or decrease in the insolation sums during a year in Poland. In order to select areas of approximate insolation conditions during vegetation a correlation matrix of insolation sums from 21 meteorological stations and a method of the cluster analysis were used. In the whole country 5 areas were selected: I – the Seaside Area, II – the Central and Western Area, III – the Area of Małopolska Upland, IV – the Eastern Area, V – the Area of the Upper Vistula and the San Rivers.

Keywords: insolation, distribution spatial, temporary, trends, regions