

ZASOBY ENERGII SŁONECZNEJ W DOLINIE WIDAWY

Krystyna Bryś¹

¹ Zakład Agro- i Hydrometeorologii, Instytut Kształtowania i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, pl. Grunwaldzki 24, 50-363 Wrocław, e-mail: krystyna.brys@up.wroc.pl

STRESZCZENIE

Przeanalizowano wielkość zasobów radiacyjnych w dolinie Widawy na podstawie 64-letnich (1961–2014) ciągłych pomiarów promieniowania całkowitego oraz rejestracji usłonecznienia w Obserwatorium Uniwersytetu Przyrodniczego Wrocław-Swojec. Zagadnienie przedstawiono w aspekcie porównawczym i dynamicznym. Porównano otrzymane w ten sposób roczne lub miesięczne sumy radiacyjne (promieniowania całkowitego lub usłonecznienia) oraz ich wartości ekstremalne i średnie z danymi z innych rejonów Polski. Uwzględniono także dynamikę zmian pomiędzy kolejnymi miesiącami, sezonami oraz z roku na rok. Tak ujęta analiza jest nie tylko wyznacznikiem podstawowych cech aktynometrycznych Wrocławia-Swojca, ale także miarodajnym ujęciem średnich wielkości i zmienności zasobów radiacyjnych w dolinie Widawy.

Słowa kluczowe: promieniowanie całkowite, usłonecznienie rzeczywiste, wartości ekstremalne, zasoby radiacyjne.

RESOURCES OF SOLAR ENERGY IN THE VALLEY OF THE WIDAWA RIVER

ABSTRACT

The paper analyzed solar radiation resources in the valley of Widawa river on the basis of 64-year (1961–2014) measurement series of global radiation and sunshine duration in the Wrocław-Swojec Observatory (SW Poland). The issues have been presented in comparative and dynamical aspects. They have been compared yearly and monthly radiation sums (of global radiation or sunshine duration) and their extreme and average values with the radiation data from other regions of Poland. The dynamics of variations between the following months, seasons and from year to year were taken into account. Such an analysis is not only calculation of basic actinometrical features of the Wrocław-Swojec area, but also a reliable presentation of average values and variability of solar radiation resources in the valley of Widawa river.

Keywords: global radiation, sunshine duration, extreme values, solar radiation resources.

WSTĘP

Coraz powszechniejsze wykorzystywanie alternatywnych dla kopalin stałych źródeł tzw. czystej energii, m.in. energii słonecznej, stwarza potrzebę nie tylko ogólnego rozpoznania ich zasobów w skali krajowej. Wymaga również dokładniejszych analiz, uwzględniających ich zmienną wielkość i dynamikę w skali regionalnej, a nawet lokalnej. Dla Dolnego Śląska przedstawiono taką analizę [Bryś 2006], dotyczącą regionalnych zasobów energii słonecznej, opartą na dostępnych, wieloletnich danych z różnych pomiarów aktynometrycznych, głównie: promieniowania całkowitego, promieniowania bezpośredniego i usłonecz-

nienia. W niniejszej pracy autorka kontynuuje ten wątek charakteryzując parametry i dynamikę cech solarnych doliny Widawy. W analizie wykorzystuje reprezentatywne dla tej części Niziny Śląskiej wieloletnie dane aktynometryczne z Obserwatorium Wrocław-Swojec. Wprowadza także odpowiedni kontekst porównawczy z danymi z innych rejonów Polski.

METODYKA

Wydziałowe Obserwatorium Agro- i Hydrometeorologii Uniwersytetu Przyrodniczego Wrocław-Swojec (51°07' N, 17°10' E, 121 m n.p.m.) poło-

żone jest w dolinie rzeki Widawy, we wschodniej, peryferyjnej części Wrocławia oddalonej ok. 5 km od zwartej, wysokiej zabudowy centrum miasta. Otaczają go pola i łąki, od strony płd.–wsch. styka się z niewielkim obszarem ogrodów i niskiej, luźnej zabudowy. Leży na poboczu strefy wododziałowej w zasięgu hydrologicznego oddziaływania wód powodziowych Odry i Widawy. Położenie Obserwatorium stwarza dogodne warunki dla zneutralizowania miejskiej wyspy ciepła (UHI) i uwypukla frekwencję kierunków wiatru z sektora WNW–NW [Bryś 2007]. Taka lokalizacja i typowe dla rolniczych obszarów Niziny Śląskiej cechy powierzchni czynnej sprawiają, że wyniki pomiarów meteorologicznych i aktynometrycznych tu uzyskiwanych mają walor ponad lokalny, miarodajny dla wschodniej części Pradoliny Wrocławsko-Magdeburgskiej, m.in. obejmującej współczesną dolinę Widawy.

Od 1961 roku na wysokości 1,5 m n.p.g. nad trawnikiem Obserwatorium prowadzone są pomiary usłonecznienia rzeczywistego (S) i promieniowania całkowitego ($K\downarrow$). Ich bliższą charakterystykę od strony instrumentalnej i metodycznej zawierają wcześniejsze prace autorki [Bryś 1993, 2007, 2008, 2013; Bryś i Bryś 2002, 2003, 2007]. W pracach tych zwraca się także uwagę na uwarunkowania cyrkulacyjne i wpływ cyklicznej aktywności magnetycznej Słońca (liczby Wolfa) na kształtowanie się analizowanych danych aktynometrycznych.

Obecne opracowanie poszerza dotychczasowe analizy o wyniki pomiarów z ostatnich kilku lat i wzbogaca je poprzez porównanie z wynikami innych rejestracji aktynometrycznych prowadzonych na terenie Niziny Śląskiej i przyległych rejonów Polski. Podstawą tych badań są więc dwie zweryfikowane 54-letnie (1961–2014), ciągłe i homogeniczne, serie pomiarowe promieniowania całkowitego i usłonecznienia rzeczywistego (dającego także przybliżoną informację o promieniowaniu bezpośrednim). Istotną rolę w tej analizie pełni aspekt dynamiczny. Obok prezentacji wartości średnich i ekstremalnych (miesięcznych i rocznych) badanych zasobów energetycznych, przedstawia się również ich zmienność sezonową oraz z roku na rok.

WYNIKI POMIARÓW I ICH Dyskusja

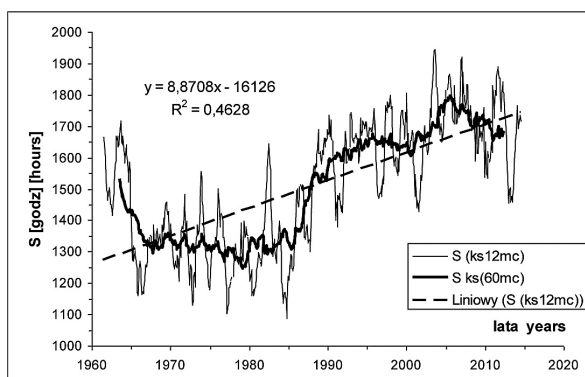
Promieniowanie słoneczne dochodzące do powierzchni Ziemi posiada dwie podstawowe składowe: promieniowanie bezpośrednie i pro-

mieniowanie rozproszone. Udział promieniowania bezpośredniego IS w promieniowaniu całkowitym $K\downarrow$ we Wrocławiu-Swojcu w latach 1961–2014 stanowił średnio ok. 52,5%. Minimum 46% wystąpiło w roku 1974, zaś maksimum 61,8% w roku 2003 [Bryś 2005]. Na wielkość natężenia IS wpływa długość dnia, wysokość Słońca nad horyzontem, przezroczystość atmosfery i zachmurzenie. To ostatnie, obok długości dnia, ma decydujący wpływ na czas trwania usłonecznienia S , które można uznać za pośredni wskaźnik IS. Przyjmuje się, że S , czyli ilość godzin ze Słońcem, to przedział czasu w którym do powierzchni Ziemi dochodzi bezpośrednio promieniowanie słoneczne o wartości powyżej $120 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. W Polsce obejmuje ono od 15 do 21% wszystkich godzin roku [Bogdańska i Podogrocki 2000, Podogrocki 2007].

Usłonecznienie jest najczęściej mierzonym parametrem aktynometrycznym w stacjach meteorologicznych. Sieć stacji heliograficznych IMGW obejmuje około 60 miejscowości, a aktynometrycznych (z pomiarami *stricte* radiacyjnymi) tylko kilkanaście [Bogdańska i in. 2002, Bogdańska i Podogrocki 2000, Podogrocki 2007]. Tę podstawową bazę uzupełniają pomiary realizowane w obserwatoriach kilku ośrodków uniwersyteckich oraz Instytutu Geofizyki PAN. Dopiero w ostatnich kilkunastu latach naszą informację o zasobach energii solarnej wzbogaca szerokie zastosowanie stacji automatycznych, umożliwiających realizację ciągłych pomiarów radiacyjnych, głównie promieniowania całkowitego $K\downarrow$.

Średnia suma roczna usłonecznienia S we Wrocławiu-Swojcu w latach 1971–2000 wyniosła 1455,8 godz., w 50-leciu 1961–2010 osiągnęła 1498,2 godz., zaś w latach 1961–2014 zwiększyła się do 1513,1 godz. Sumy te są zdecydowanie niższe niż wartości S (1600–1620 godz.) dla 30-lecia 1971–2000 interpolowane dla tego obszaru przez IMGW [patrz: mapa usłonecznienia Polski w: <http://www.pgie.pl/naslo-niecznienie/>; por. Kuczmarski 1990, Koźmiński i Michalska 2005], głównie na podstawie pomiarów usłonecznienia w Legnicy i kilku stacjach centralnej Polski.

W rozkładzie rocznym S w latach 1971–2000 wyróżnia się maj z sumą 210,4 godz. (wobec 208,7 godz. w VIII i 204,2 godz. w VII), a w badanym 50-leciu oraz 54-leciu – lipiec z wartościami S odpowiednio 210,3 godz. oraz 213,1 godz. (dla VIII – 208,4 godz. i 210,6 godz., a dla V – 206,9 godz. i 209,2 godz.). Najmniejsza ilość



Rys. 1. Przebieg 12- i 60-miesięcznych (średnie roczne wartości) sum konsekwentnych (ks12mc i ks60mc) usłonecznienia rzeczywistego S we Wrocławiu-Swojcu w latach 1961–2014

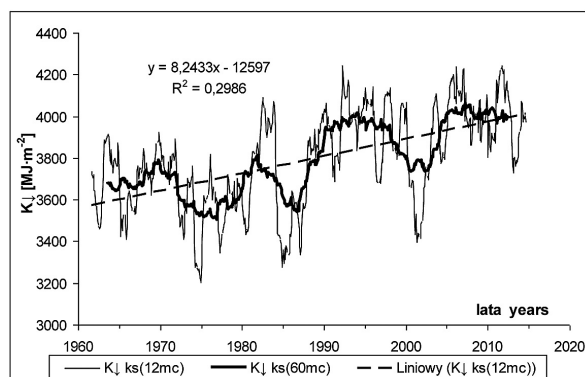
Fig. 1. The course of 12- and 60-monthly (mean yearly values) consecutive sums (ks12mc and ks60mc) of sunshine duration S in Wrocław-Swojec in the years 1961–2014

godzin usłonecznienia, zgodnie z cechą najkrótszych dni w roku i silnym zachmurzeniem, występuje w grudniu. W latach 1971–2000 wynosiła średnio 31,2 godz., a w badanym 50-leciu 30,4 godz., zaś w 54-leciu 30,3 godz.

W poznaniu zasobów energetycznych doliny Widawy istotne jest badanie dynamiki ich zmian. Obok zmienności sezonowej znaczną zmiennością wartości cechują się zarówno sumy okresowe S (roczne, sezonowe, miesięczne) porównywane z roku na rok, jak i w ujęciu wieloletnim. Najważniejsze jest tu przeciwstawienie (rys. 1) znacznie zachmurzonego i deszczowego okresu lat 70. i 80. ubiegłego wieku (S na średnim poziomie ok. 1300 godz. rocznie) epoce lat następnych, którą charakteryzuje znacznie większy udział dni słonecznych (S na średnim poziomie ok. 1600–1700 godz. w roku) oraz mniejsze roczne sumy opadów [Bryś i Bryś 2002].

Odpowiednio do tego podstawowego, skokowego zróżnicowania, którego granicą jest koniec lat 80. (por. rys. 1 oraz rys. 2–4 dla $K\downarrow$) lokują się ekstrema rocznych sum S . Minimum 1167,5 godz. wystąpiło w 1966 roku, a maksimum 1951,2 godz. w 2003 roku.

Przebieg promieniowania całkowitego $K\downarrow$ dla lat 1961–2014 (rys. 2) cechuje także silny trend dodatni, ale wykazuje nieco inny niż dla S , falowy styl zmienności jego sum konsekwentnych 12- i 60-miesięcznych. Tylko częściowo nawiązuje on do ok. 11–12-letniej cykliczności solarnej, gdyż wpływy wieloletnich zmian cyrkulacyjnych są tu również dominujące.

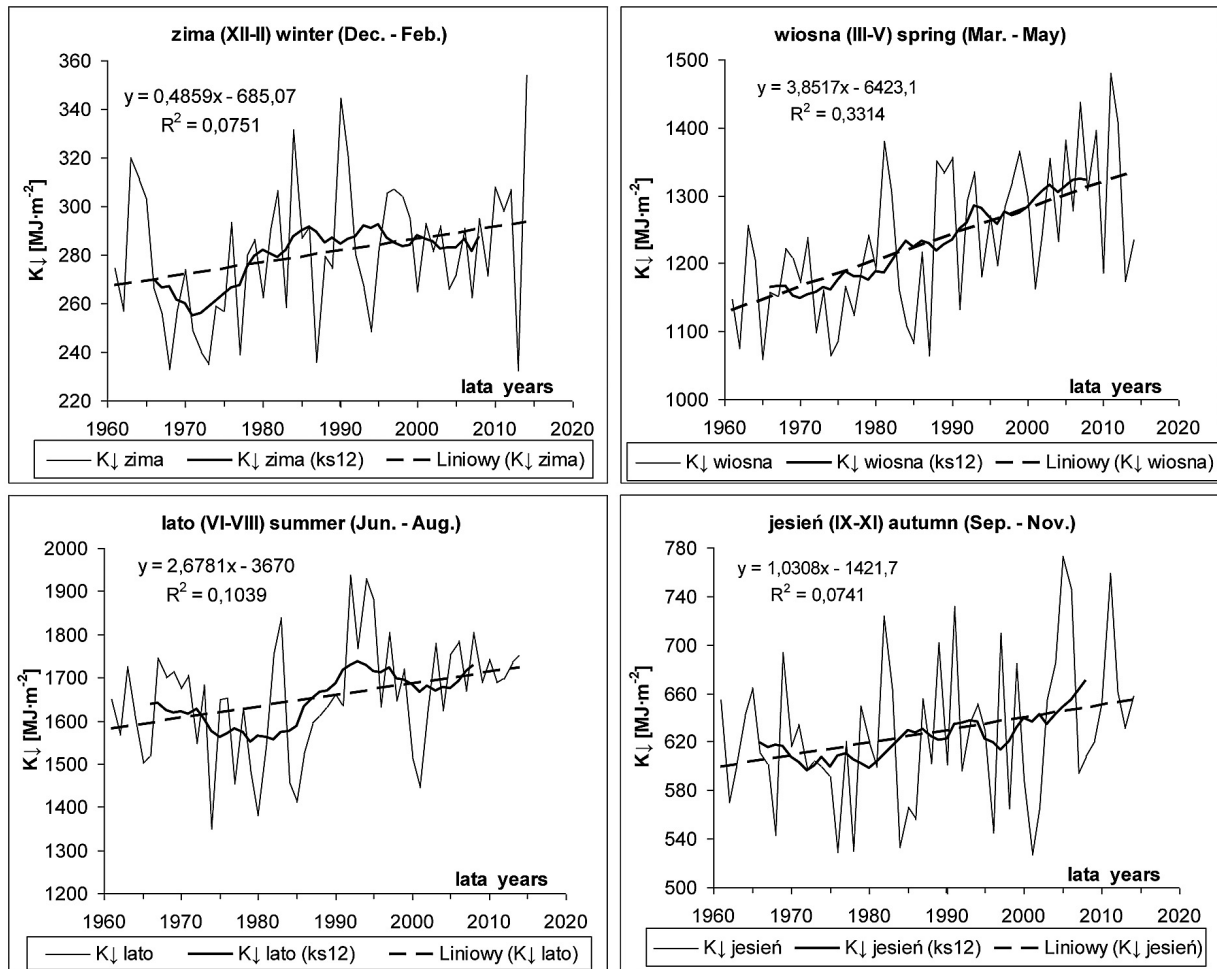


Rys. 2. Przebieg 12- i 60-miesięcznych (średnie roczne wartości) sum konsekwentnych (ks12mc i ks60mc) promieniowania całkowitego $K\downarrow$ we Wrocławiu-Swojcu w latach 1961–2014

Fig. 2. The course of 12- and 60-monthly (mean yearly values) consecutive sums (ks12mc and ks60mc) of global radiation $K\downarrow$ in Wrocław-Swojec in the years 1961–2014

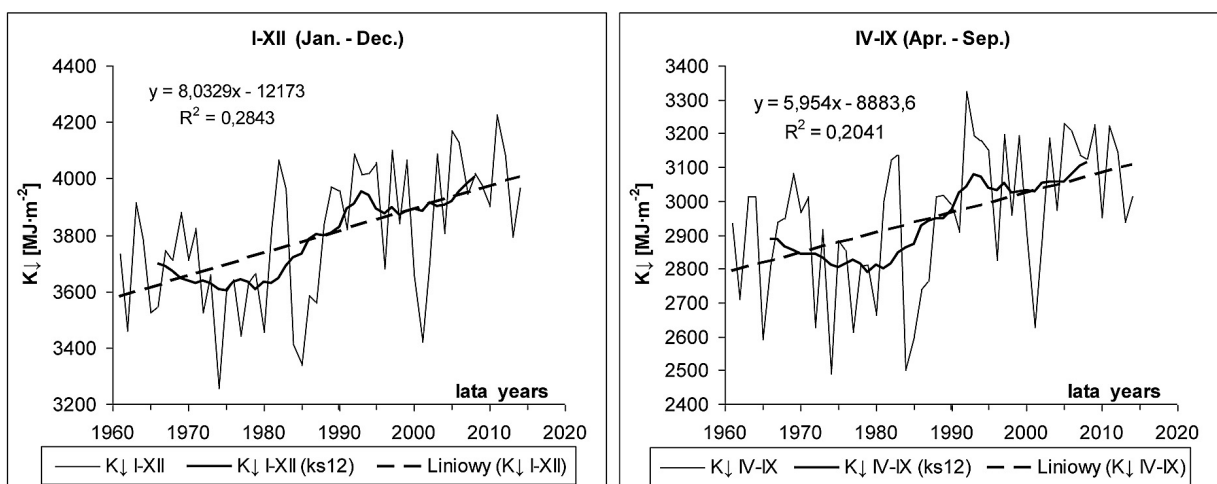
We wszystkich porach roku (rys. 3) notowany jest istotny trend dodatni 3-miesięcznych sum promieniowania całkowitego $K\downarrow$. Najmocniejszy ($R^2 = 0,331$) jest on dla wiosny (III–V). W bardzo istotnych dodatnich trendach dla sum $K\downarrow$ półrocza ciepłego (IV–IX), które mają decydujące znaczenie (stanowią średnio 77,8%) dla wartości sum rocznych $K\downarrow$, jak i w tych ostatnich, uwidacznia się też znaczny skok wartości (średnio o ok. 300 $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ dla sum rocznych) pomiędzy dwoma (por. rys. 1) epokami cyrkulacyjnymi (stadia: juwenilne i zaawansowane) pozytywnej fazy NAO [Bryś i Bryś 2002]. W odróżnieniu od S ten skok wartości wyraźnie ujawnia się dopiero (rys. 4) w 12-letnich (na rys. 3 i 4 oznaczone jako ks12) wartościach konsekwentnych $K\downarrow$.

Przebiegi roczne średnich (średnia) i ekstremalnych (min, max) wartości miesięcznych natężenia promieniowania całkowitego $K\downarrow$ we Wrocławiu-Swojcu w latach 1961–2014 cechuje wyraźna dysproporcja pomiędzy wartościami miesięcy letnich i zimowych (rys. 5). Minimum grudniowe dla wartości średnich osiąga tylko $30,7 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ ($82,3 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$, czyli $16,9 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$), a maksimum czerwcowe dla tych wartości aż $221,1 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ ($573,1 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$, czyli $159,2 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$). W lipcu 1994 roku wystąpiła najwyższa miesięczna wartość ekstremalna $K\downarrow$, wynosząca $286 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ ($766,1 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$, czyli $212,8 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$), niemal dwukrotnie wyższa od minimum lipcowego $149 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ ($766,1 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$, czyli $212,8 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$) z roku 2000. Lipiec, ponieważ liczy 31 dni, jest także okresem najwyższych średnich sum mie-



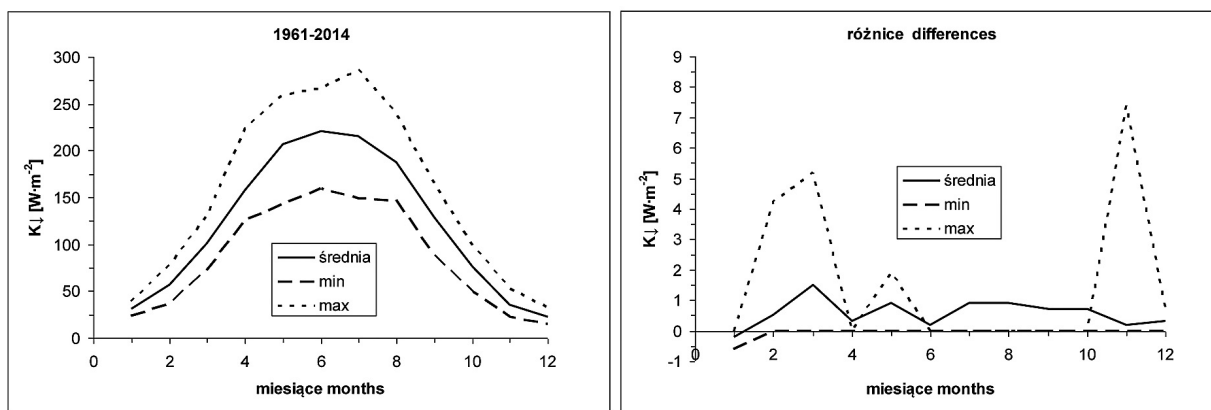
Rys. 3. Przebiegi sum sezonowych K_{\downarrow} (XII–II, III–V, VI–VIII, IX–XI) i ich 12-letnich (ks12) średnich wartości konsekwentnych we Wrocławiu-Swojcu w latach 1961–2014

Fig. 3. The courses of seasons (winter XII–II, spring III–V, summer VI–VIII, autumn IX–XI) sums of global radiation K_{\downarrow} and their 12-year (ks12) consecutive values in Wrocław-Swojec in the years 1961–2014



Rys. 4. Przebiegi sum rocznych (I–XII) i półrocza ciepłego (IV–IX) promieniowania całkowitego K_{\downarrow} oraz ich 12-letnich średnich wartości konsekwentnych we Wrocławiu-Swojcu w latach 1961–2014

Fig. 4. The courses of yearly (I–XII) and half-year (IV–IX) sums of global radiation K_{\downarrow} and their 12-year consecutive values in Wrocław-Swojec in the years 1961–2014



Rys. 5. Przebiegi roczne średnich (średnia) i ekstremalnych (min, max) wartości miesięcznych natężenia promieniowania całkowitego K_{\downarrow} we Wrocławiu-Swojcu w latach 1961–2014 oraz różnice tych parametrów pomiędzy tym 54-leciem i 50-leciem (1961–2010)

Fig 5. The annual courses of mean (średnia) and extreme (min, max) monthly values of global radiation K_{\downarrow} intensity in Wrocław-Swojec in the years 1961–2014 and differences these parameters between the 54-year and the 50-year (1961–2010) analyze series

sięczych promieniowania całkowitego ($578,1 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$, czyli $160,6 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$), pomimo że średnie natężenie K_{\downarrow} , wynoszące tu $215,8 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ ustępuje nieco średnim wartościom czerwca.

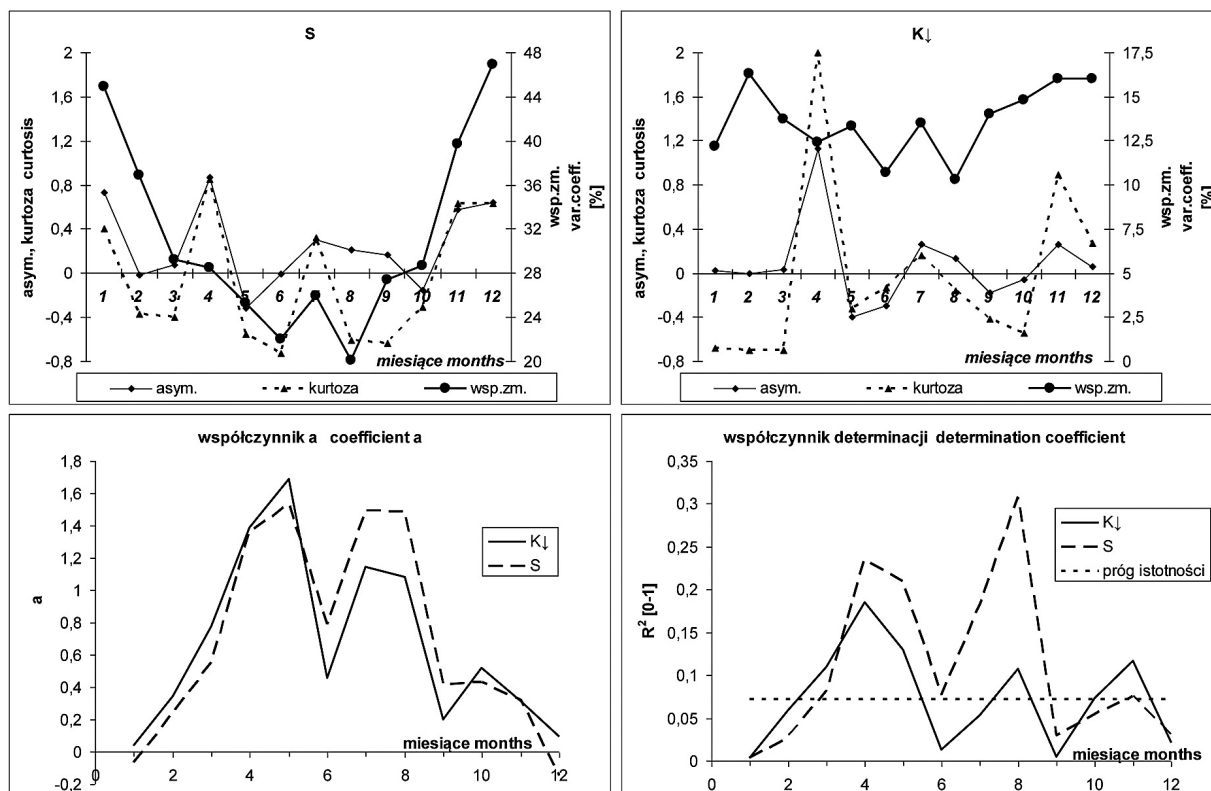
Większość minimów miesięcznych K_{\downarrow} wystąpiła w pochmurnym i deszczowym okresie lat 70. i pierwszej połowy lat 80.; siedem (I, II, IV, V, VIII, X, XII) w latach 1971–1977 i dwa (III, VI) w roku 1985. W ostatnim 15-leciu, oprócz lipca 2000 r. minimum miesięczne wystąpiło tylko we wrześniu 2001 r. Cechą wyróżniającą minionych 25 lat jest bowiem wyraźna dominacja wartości ekstremalnie wysokich. Maksima miesięczne analizowanego 54-lecia pojawiają się najczęściej w latach 1990–2014; dotyczy to kolejnych miesięcy II–IX oraz grudnia. W ostatnim 25-leciu występują również maksima K_{\downarrow} wszystkich czterech pór roku oraz półroczy (IV–IX, X–III), a także wartości rocznych. Tendencja wzrostowa wartości średnich i maksimum miesięcznych utrzymuje się też w ostatnich kilku latach, co uwidacznia się (rys. 5 – wykres po prawej) przy porównywaniu różnicy tych parametrów pomiędzy analizowanym 54-leciem i 50-leciem (1961–2010).

Ekstrema sum rocznych K_{\downarrow} sytuują się 8 lat później niż dla S , co świadczy zarówno o uwarunkowaniach cyrkulacyjnych tych różnic, jak i o znacznej autonomii promieniowania bezpośredniego względem całkowitego. Minimum K_{\downarrow} ($3257,3 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$, tj. $904,8 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$) wystąpiło bowiem w 1974 roku, a maksimum ($4227,1 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$, tj. $1174,2 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$) dopiero w 2011 roku. Dla 30-lecia (1971–2000) zanotowano

średnią roczną sumę $3751,6 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ (tj. $1042,1 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$), a dla 50-lecia i 54-lecia odpowiednio: $3774,3 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ i $3792,2 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ (tj. $1048,4$ i $1053,4 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$).

Porównanie z danymi pomiarowymi z innych stacji aktynometrycznych Polski [Bogdańska i Podogrocki 2001, Bryś 2013, Kuczmarska i Pazyński 1964, Matuszko 2009, Podogrocki 1978, 2001, 2007, Podstawczyńska 2003, 2007] wskazuje, że podane wartości średnie K_{\downarrow} są charakterystyczne dla Niziny Śląskiej i południowo-zachodniej części środkowej Polski. Potwierdzają to także ostatnie pomiary i interpolacje wykonane w ramach programu PVGIS, European Commission, Joint Research Center (lata 2001–2007) [<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>] oraz SOLARGIS (IV.2004–III.2010) [<http://solargis.info>]. Te pierwsze notują tu średnią ok. $1100\text{--}1150 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$, zaś drugie wykazują dla tego obszaru wartości pomiędzy $1080\text{--}1120 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$, co jest zbliżone do wartości pomierzonych w tym czasie we Wrocławiu-Swojcu.

Przebiegi roczne miesięcznych wartości asymetrii, kurtozy, współczynnika zmienności oraz współczynnika a równania liniowego i współczynnika determinacji (R^2) trendów liniowych promieniowania całkowitego K_{\downarrow} oraz usłonecznienia S we Wrocławiu-Swojcu w latach 1961–2014 (rys. 6) są syntetycznym obrazem podstawowych trendów i cech zmienności wieloletniej dynamiki radiacyjnej. O wspólnych, wzrostowych kierunkach tych 54-letnich trendów (poza styczniem i grudniem dla S) analizowanych elementów aktynometrycznych świadczą dodatnie,



Rys. 6. Przebiegi roczne miesięcznych wartości asymetrii, kurtozy, współczynnika zmienności oraz współczynnika a równania liniowego i współczynnika determinacji (R^2) trendów liniowych promieniowania całkowitego K_{\downarrow} oraz usłonecznienia S we Wrocławiu-Swojcu w latach 1961–2014

Fig. 6. The annual courses of monthly values of asymmetry, kurtosis, variability coefficient and also coefficient a from linear equation and determination coefficient (R^2) of linear trends of global radiation K_{\downarrow} and solar duration S in Wrocław-Swojcu in the years 1961–2014

zbliżone wartości miesięczne współczynnika a równań liniowych dla S i K_{\downarrow} oraz podobieństwo jego zmian z miesiąca na miesiąc.

Najbardziej istotne trendy dodatnie sum miesięcznych S w latach 1961–2014 zanotowano w sierpniu ($R^2 = 0,307$) oraz w kwietniu ($R^2 = 0,234$) i maju ($R^2 = 0,208$). Tylko okres zimowy (XII–II) oraz miesiące IX i X cechuje tu brak istotnej tendencji zmian.

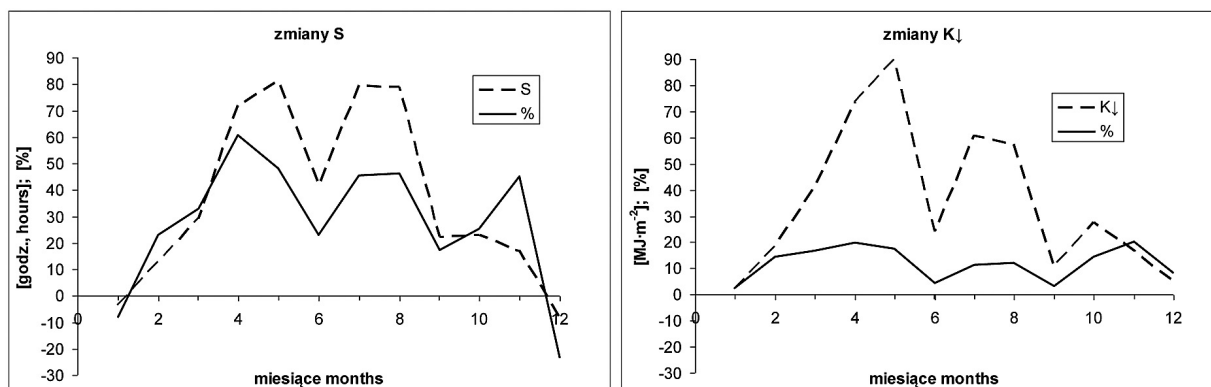
W znacznym stopniu do tych tendencji upodabniają się odpowiednie biegi sum miesięcznych K_{\downarrow} . Jednakże, najbardziej istotny jest tu dodatni trend kwietnia ($R^2 = 0,185$), a brak istotnej tendencji zmian dotyczy także czerwca i lipca (rys. 6).

Uzyskane równania trendów liniowych pozwalają obliczyć sumaryczne 54-letnie zmiany w wartościach S i K_{\downarrow} (rys. 7). Dla sum miesięcznych maksymalne przyrosty usłonecznienia występują w maju (max), lipcu i sierpniu i osiągają ok. 80 godz., ale najwyższe przyrosty względne (wartość roku końcowego 2014 w stosunku do wartości roku początkowego 1961) są cechą kwietnia (60,5%). W maju osiągają one 48,2%,

natomiast w lipcu, sierpniu i listopadzie wynoszą one ok. 45–46%.

W przyrostach sum miesięcznych K_{\downarrow} występuje także dominacja maja w wartościach bezwzględnych (89,5 MJ·m⁻²), ale w ujęciu względnym kwiecień (19,7%) ustępuje pierwszeństwa listopadowi (20,2%).

W podobny sposób wyliczane 54-letnie przyrosty sum rocznych dla S wynoszą ok. 445 godz. (34,5%), a dla półrocza ciepłego (IV–IX) ok. 375 godz. (39,8%). Odpowiednie wartości przyrostów sum K_{\downarrow} osiągają ok. 426 MJ·m⁻² (11,9%) oraz ok. 316 godz. (11,3%). Występuje przy tym wyraźna dominacja przyrostu sum wiosennych (III–V), która dla promieniowania całkowitego wynosi ok. 204 MJ·m⁻² (18,1%), wobec ok. 142 MJ·m⁻² (9,0%) latem (VI–VIII), 54,6 MJ·m⁻² (9,1%) jesienią (IX–XI) i 25,8 MJ·m⁻² (9,6%) zimą (XII–II). Przyrosty sezonowych sum S cechuje natomiast przewaga zmian w okresie lata (przyrost ok. 200 godz.) nad wiosennymi (ok. 182 godz.), ale w wartościach względnych efektywniejsza jest także wiosna (48,4% wobec 37,9% latem).



Rys. 7. Przebiegi roczne zmian bezwzględnych [godz., $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$] i względnych [%] sum miesięcznych usłonecznienia S i promieniowania całkowitego $K\downarrow$ we Wrocławiu-Swojcu obliczanych z równań ich 54-letnich (1961–2014) trendów liniowych, jako różnica wartości dla roku końcowego i początkowego trendu

Fig. 7. The annual courses of absolute [hours, $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$] and relative [%] variations of monthly sums of solar radiation S and global radiation $K\downarrow$ in Wrocław-Swojec calculated from equations of their 54-year (1961–2014) linear trends as difference between values of last and first year of a trend

Jesienią przyrosty sum S osiągają ok. 62 godz. (24,2%), zaś zimą sumaryczne zmiany nie występują.

WNIOSKI

1. Dla scharakteryzowania podstawowych cech solarnych doliny Widawy miarodajną rolę pełnią wartości usłonecznienia S i promieniowania całkowitego $K\downarrow$ pomierzone w Obserwatorium Uniwersytetu Przyrodniczego Wrocław-Swojec, ze względu na reprezentatywną lokalizację stacji i 54-letnią, zweryfikowaną i zhomogenizowaną, ciągłą serię rozpatrywanych danych aktynometrycznych.
2. Średnia suma roczna S we Wrocławiu-Swojcu w latach 1971–2000 wyniosła 1455,8 godz., w 50-leciu 1961–2010 osiągnęła 1498,2 godz., zaś w latach 1961–2014 zwiększyła się do 1513,1 godz. Sumy te są zdecydowanie niższe niż wartości S (1600–1620 godz.) dla 30-lecia 1971–2000 interpolowane dla tego obszaru przez IMGW.
3. W rozkładzie rocznym S w latach 1971–2000 wyróżnia się maj z sumą 210,4 godz., a w badanym 50-leciu oraz 54-leciu – lipiec z wartościami S odpowiednio 210,3 godz. oraz 213,1 godz. Najmniejsza ilość godzin usłonecznienia występuje w grudniu. W latach 1971–2000 wynosiła średnio 31,2 godz., w badanym 50-leciu 30,4 godz., zaś w 54-leciu 30,3 godz.
4. W badaniu zasobów energetycznych doliny Widawy istotne jest poznanie głównych cech dynamiki ich wieloletnich zmian. Najważniejsze jest tu przeciwstawienie znacznie zachmurzonego i deszczowego okresu lat 70. i 80. ubiegłego wieku (S na średnim poziomie ok. 1300 godz. rocznie) epoki lat następnych, którą charakteryzuje znacznie większy udział dni słonecznych (S na średnim poziomie ok. 1600–1700 godz. w roku) oraz mniejsze roczne sumy opadów.
5. Najbardziej istotne trendy dodatnie sum miesięcznych S i najwyższe przyrosty tych sum (o ok. 80 godz.) w latach 1961–2014 zanotowano w sierpniu oraz w kwietniu, maju i lipcu. Tylko okres zimowy (XII–II) oraz miesiące IX i X cechuje tu brak istotnej tendencji zmian.
6. W promieniowaniu całkowitym $K\downarrow$ wyróżniają się dodatnie trendy kwietnia (54-letni wzrost $K\downarrow$ o 73,5 $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$) i maja (wzrost o 89,5 $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$), a brak istotnej tendencji zmian dotyczy także czerwca i lipca. Notowany jest też istotny trend dodatni dla sezonowych sum $K\downarrow$. Największy wzrost $K\downarrow$ (o 204,1 $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$) jest dla wiosny (III–V).
7. W bardzo istotnych dodatnich trendach sum $K\downarrow$ półrocza ciepłego (IV–IX), które stanowią średnio 77,8% wartości sum rocznych $K\downarrow$, jak i w tych ostatnich, uwidacznia się znaczny skok wartości (średnio o ok. 300 $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ dla sum rocznych) pomiędzy dwoma epokami cyrkulacyjnymi (stadia: juwenilne i zaawansowane) pozytywnej fazy NAO. Liczony dla 54-lecia przyrost $K\downarrow$ osiągnął 425,7 $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ dla sum rocznych i 315,6 $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ dla sum półrocza ciepłego.

8. Ekstrema sum rocznych K_{\downarrow} sytuują się 8 lat później niż dla S , co świadczy zarówno o długookresowych uwarunkowaniach makro-cyrkulacyjnych tych różnic, jak i o znacznej autonomii promieniowania bezpośredniego względem całkowitego. Minimum K_{\downarrow} ($3257,3 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$) wystąpiło w 1974 roku, a maksimum ($4227,1 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$) dopiero w 2011 roku. Bezpośrednim regulatorem tych zmian jest wielkość i struktura zachmurzenia oraz jego rozkład sezonowy.
9. Dla 30-lecia (1971–2000) zanotowano we Wrocławiu-Swojcu średnią roczną sumę K_{\downarrow} $3751,6 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ (tj. $1042,1 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$), a dla 50-lecia i 54-lecia odpowiednio: $3774,3 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ i $3792,2 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ (tj. $1048,4$ i $1053,4 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$).
10. Porównanie z innymi stacjami aktynometrycznymi wskazuje, że podane wartości średnie K_{\downarrow} są charakterystyczne dla Niziny Śląskiej i południowo-zachodniej części środkowej Polski. Potwierdzają to także ostatnie pomiary i interpolacje wykonane w ramach programu PVGIS oraz SOLARGIS.

LITERATURA

1. Bogdańska B., Podogrocki J., 2000. Zmienność całkowitego promieniowania słonecznego na obszarze Polski w okresie 1961–1995. Materiały Badawcze, Meteorologia, IMGW, nr 30, Warszawa.
2. Bogdańska B., Podogrocki J., Żółtowska K., 2002. Sieć pomiarów promieniowania słonecznego w Polsce i baza danych aktynometrycznych. [W:] G. Wójcik i K. Marciniak (red.) Działalność naukowa prof. Władysława Gorczyńskiego i jego kontynuacja. Toruń, UMK, 55–70.
3. Bryś K., 1994. Natężenie promieniowania słonecznego całkowitego we Wrocławiu w okresie 1961–1990. Zeszyty Naukowe AR nr 243, Wrocław, 37–49.
4. Bryś K., 2005. Rola terenowych stacji Akademii Rolniczej we Wrocławiu w badaniach klimatu solarnego Wrocławia i Dolnego Śląska. [W:] W. Krzemień, J. Trepińska i A. Bokwa (red.) Rola stacji terenowych w badaniach geograficznych. Wyd. Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ., Kraków, 141–154.
5. Bryś K., 2006. Potencjał radiacyjny Dolnego Śląska jako źródło wykorzystania energii słonecznej w przyszłości. [W:] Zintegrowany Program Operacyjny Rozwoju Regionalnego. Biuletyn Innowacyjny CEPRIN (Centrum Promowania Innowacji w Energetyce), Europejski Fundusz Społeczny, Wrocław, 19–31.
6. Bryś K., 2007. Zmienność usłonecznienia we Wrocławiu-Swojcu w latach 1961–2006 na tle zmian sekularnych. [W:] A. Kostrzewski i A. Andrzejewska (red.) Funkcjonowanie i monitoring geosystemów Polski w warunkach narastającej antropopresji. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa, 243–255.
7. Bryś K., 2008. Przebieg dobowy i roczny usłonecznienia we Wrocławiu-Swojcu w latach 1961–2006. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych PAN, z. 526, 53–65.
8. Bryś K. 2013. Dynamika bilansu radiacyjnego murawy oraz powierzchni nieporośniętej. Monografie Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, tom 162, Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego, ss. 288.
9. Bryś K., Bryś T., 2002. Wpływ wahań NAO na zmienność warunków wilgotnościowych, radiacyjnych, dynamicznych i ewaporacyjnych we Wrocławiu-Swojcu w latach 1946–2000. [W:] A. Marsz i A. Styszyńska (red.) Oscylacja Północnoatlantycka i jej wpływ na warunki klimatyczne i hydrologiczne Polski. Praca zbiorowa, Akad. Morska, Gdynia, 147–160.
10. Bryś K., Bryś T., 2003. Fluctuations of global solar radiation in 20th century at Wrocław and their relations to Wolf's number and circulation changes. Acta Univ. Wratisl. St. Geogr. 2542, t. 75, 189–202.
11. Bryś K., Bryś T., 2007. Zmienność cech solarnych klimatu Wrocławia w latach 1875–2004. Pamiętnik Puławski, 144, IUNiG, Puławy, 13–34.
12. Bryś T., 2007. Badanie reprezentatywności Obserwatorium Wrocław-Swojec jako stacji agrometeorologicznej i klimatologicznej. [W:] Kostrzewski A. i Andrzejewska A. (red.) Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego, Biblioteka Monitoringu Środowiska. Warszawa, 255–267.
13. Koźmiński C., Michalska B., 2005. Usłonecznienie w Polsce. AR Szczecin, Uniwersytet Szczeciński.
14. Kuczmarzka L., Paszyński J., 1964. Rozkład promieniowania całkowitego na obszarze Polski. Przegl. Geogr., 4, 691–702.
15. Kuczmarzki M., 1990. Usłonecznienie Polski i jego przydatność dla helioterapii. Dok. Geogr., 4.
16. Matuszko D., 2009. Wpływ zachmurzenia na usłonecznienie i całkowite promieniowanie słoneczne na przykładzie krakowskiej serii pomiarów. Wyd. Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków, ss. 232.
17. Podogrocki J., 1978. Spatial distribution of global solar radiation in Poland, Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc., D – 5 (120), 17–29.
18. Podogrocki J., 2001. Mapa rozkładu natężenia promieniowania całkowitego w Polsce. [W:] C.

- Koźminski, B. Michalska (red.) Atlas klimatycznego ryzyka uprawy roślin w Polsce. Uniwersytet Szczeciński, Szczecin, 26 a–c.
19. Podogrocki J., 2007. Warunki klimatyczne i meteorologiczne do wykorzystania energii promieniowania słonecznego w warunkach Polski. Zakład Aktynometrii IMGW. Warszawa. <http://ekologika.pl/nauka/koro/-netmark/podogrocki.html>
20. Podstawczyńska A., 2003. Variability of sunshine duration in Łódź in 1951–2000. Acta Universitatis Wratislaviensis Nr 2542, Studia Geograficzne LXXV, Wyd. Uniwersytetu Wrocławskiego, 295–304.
21. Podstawczyńska A., 2007. Cechy solarne klimatu Łodzi. Wyd. UŁ, Łódź, ss. 294.
22. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>
23. <http://solargis.info>
24. <http://www.pgie.pl/naslonecznienie/>