

Zbigniew Caputa, Mieczysław Leśniok

Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi,
Katedra Klimatologii
41–200 Sosnowiec, ul. Będzińska 60
e-mail: zbigniew.caputa@us.edu.pl,
mieczyslaw.lesniok@us.edu.pl

**DOPŁYW KRÓTKOFALOWEGO PROMIENIOWANIA
SŁONECZNEGO W SOSNOWCU (2000–2009)**

**Incoming shortwave solar radiation
in Sosnowiec (2000–2009)**

Summary. On the basis of incoming solar radiation measurements (K_{\downarrow}) with the use of CM3 sensor at the station of the University of Silesia in Sosnowiec for the years 2000–2009 the changeability of radiation conditions as well as intensity for the particular seasons, months and hours was estimated. The average amount of the K_{\downarrow} daily total was $10.3 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ (the highest was $10.9 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ in 2007 and the lowest $9.3 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ in 2001). Yearly total of the K_{\downarrow} stream reached the value from $3400 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{year}^{-1}$ in 2001 to $3990 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{year}^{-1}$ in 2006. The average value of the K_{\downarrow} radiation reached the value of $3772 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{year}^{-1}$.

Słowa kluczowe: promieniowanie całkowite, topoklimat, Region Górnośląski, Sosnowiec

Key words: incoming solar radiation, topoclimate, Upper Silesia Region, Sosnowiec

WSTĘP

Rosnące zapotrzebowanie na energię elektryczną, grzewczą i do celów klimatyzacji powoduje większe zainteresowanie odnawialnymi źródłami energii (OZE), w tym energii słonecznej. Celem tego opracowania była ocena rzeczywistego dopływu promieniowania całkowitego (K_{\downarrow} lub K_C) do powierzchni poziomej, mierzonego na stacji przy Wydziale Nauk o Ziemi (WNoZ) Uniwersytetu Śląskiego w Sosnowcu w 2000–2009 r. Region Górnośląski utożsamiany jest jako obszar o najniższym potencjale energii słonecznej w Polsce. Wskutek

przemian społeczno-gospodarczych znacznie zmieniły się wartości strumieni promieniowania w tym regionie. Praktycznym celem było wskazanie okresów z wysokimi wartościami tych strumieni, a w szczególności wartościami K_{\downarrow} .

OBSZAR BADAŃ

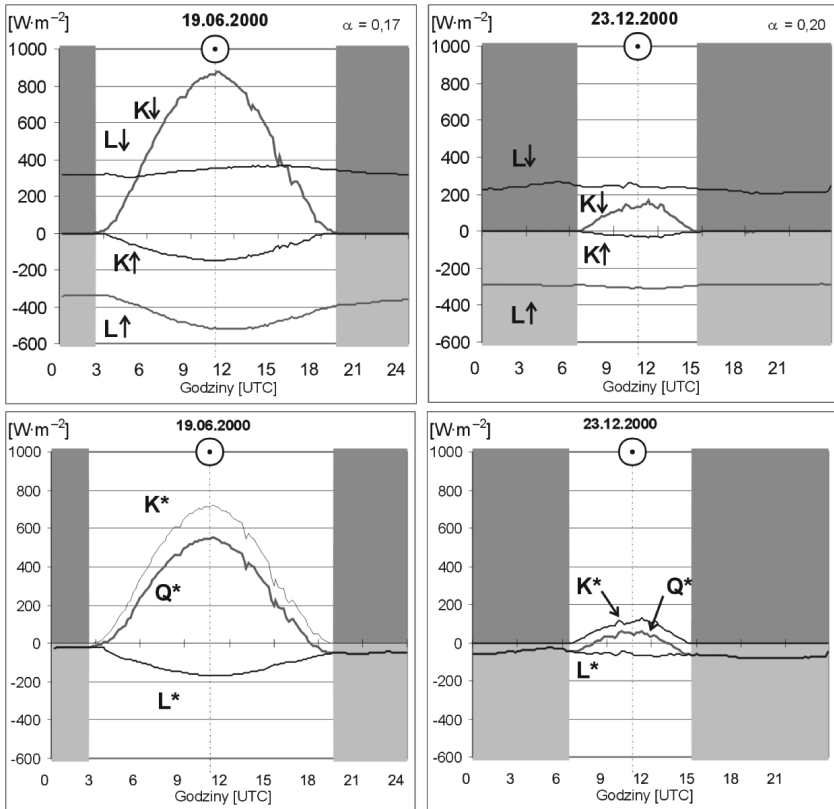
Sosnowiec jest położony w silnie przekształconym przez człowieka Regionie Górnośląskim. Nastąpiły tutaj duże zmiany w zagospodarowaniu przestrzennym, spowodowane koncentracją przemysłu i rozwojem miast, co spowodowało wzrost zanieczyszczeń atmosferycznych. Wpłynęło to znacząco na średnie dobowe sumy promieniowania K_{\downarrow} w latach 1960–1980, sumy te wahały się od ok. $6 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$ w październiku do ok. $18 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$ w lipcu. Średnie roczne promieniowanie K_{\downarrow} wynosiło $9 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$ na obszarze konurbacji górnośląskiej i wzrosło do $10 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$ na Wyżynie Krakowskiej (*Atlas Rzeczpospolitej...* 1994).

METODA BADAŃ

Na WNoZ Uniwersytetu Śląskiego stałe pomiary meteorologiczne zapoczątkował A. Kamiński w 1981 r. (dach budynku WNoZ) i M. Leśniok w 1991 r. (ogródek meteorologiczny przy WNoZ). Stacja meteorologiczna WNoZ została uzupełniona przez autorów o radiometry CNR1 w 1999 r. oraz USD3 w 2001 r. i od tego czasu są prowadzone pomiary co 10 min elementów bilansu promieniowania na powierzchni murawy oraz usłonecznienia i promieniowania K_{\downarrow} na dachu WNoZ – 100 m nad powierzchnią gruntu. Promieniowanie krótkofalowe mierzone za pomocą pyranometru CM3 (305–2800 nm) o błędzie pomiaru do 6% ($-10^{\circ}\text{C} \div 40^{\circ}\text{C}$) i $\pm 25 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ przy $1000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Uwzględniono różne przedziały czasowe (godzinne, dobowe i miesięczne) oraz okresy gdy natężenie K_{\downarrow} przekracza $1 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$, co uzasadnia ekonomiczne wykorzystanie promieniowania słonecznego.

MATERIAŁ DO BADAŃ

Do analizy wykorzystano serię danych z 10-minutowym krokiem czasowym wartości średnich strumienia K_{\downarrow} z lat 2000–2009. Braki danych (5–7.08.2000, 15.10–21.11.2000, 30.05.2001, 22–23.01.2005, 14.09.2005, 31.12.2008) uzupełniono średnimi z wielolecia 2000–2009. Wartości sum godzinnych K_{\downarrow} liczone od pierwszej średniej 10-min. w danej godzinie i zapisywano jako pełna godzina, która kończyła sumowanie w czasie UTC. Następnie z serii 87672 wartości



Ryc. 1. Przebieg dobowy składników bilansu promieniowania ($K\downarrow$, $K\uparrow$, $L\downarrow$, $L\uparrow$) na stacji meteorologicznej Wydziału Nauk o Ziemi (WNoZ) w Sosnowcu (2000–2009)

Fig. 1. Daily distribution of the radiation balance components ($K\downarrow$, $K\uparrow$, $L\downarrow$, $L\uparrow$) at the meteorological station of the Faculty of Earth Sciences (WNoZ) in Sosnowiec (2000–2009)

Przebieg dzienny przedstawiono na jasnym tle, natomiast przebieg nocny na ciemnym tle. Przerywaną linią i punktem w kole zaznaczono moment górowania Słońca.

Symbolami oznaczono:

$K\downarrow$ – promieniowanie słoneczne całkowite – promieniowanie krótkofalowe dochodzące,
 $K\uparrow$ – promieniowanie słoneczne odbite – promieniowanie krótkofalowe odbite od podłoża,

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

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

K^* – saldo promieniowania krótkofalowego,

L^* – saldo promieniowania długofalowego,

Q^* – saldo promieniowania w pełnym zakresie widma.

Przyjęto zasadę przedstawiania na wykresach strumienie $K\uparrow$ i $L\uparrow$ jako ujemne. Takie przedstawienie strumieni wynika z bilansu promieniowania, gdzie te właśnie strumienie występują po stronie ubytków.

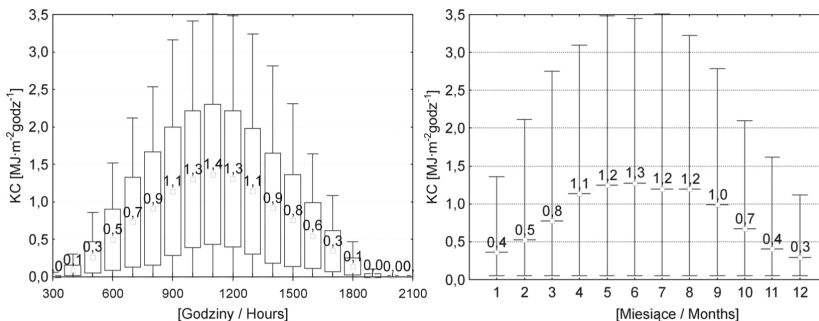
usunięto wartości zerowe natężenia $K\downarrow$ z godzin nocnych. Tak przygotowane 45294 wartości sum godzinnych $K\downarrow$ oraz 3653 sum dobowych $K\downarrow$ poddano analizie w programie Statistica.

Strumień $K\downarrow$ przyjmował maksymalne wartości w pogodne dni w okresie wiosennym i letnim. Mniejsze natężenie $K\downarrow$ jesienią i zimą było związane z małą wysokością Słońca nad horyzontem (ryc. 1). Dodatkowo w tym okresie występowała zwiększona częstość mgieł i zamglań, które znacząco zmniejszały dopływ strumienia $K\downarrow$ do powierzchni czynnej.

SUMY GODZINNE PROMIENIOWANIA CAŁKOWITEGO

Podjmując analizę sum godzinnych $K\downarrow$, sporządzono histogramy w przedziałach co $0,5 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\text{godz}^{-1}$ w celu rozpoznania częstości zarejestrowanych wartości. Zdecydowanie najwięcej wartości sum godzinnych $K\downarrow$ należy do przedziału $0\text{--}0,5 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\text{godz}^{-1}$ (49%) i tylko 5% wartości $K\downarrow$ powyżej $2,5 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\text{godz}^{-1}$. Jeżeli za wartość graniczną przyjęto $1 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\text{godz}^{-1}$, to częstość mniejszych wartości $K\downarrow$ wyniosła 67%, a większych od wartości granicznej 33%.

Najwyższą średnią sumę $K\downarrow$, wynoszącą $1,4 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\text{godz}^{-1}$, stwierdzono w przedziale 10:10–11:00 (ryc. 2). Związane jest to z górowaniem Słońca oraz mniejszym zachmurzeniem przed południem. W tym samym przedziale czasowym wystąpiło maksimum $K\downarrow$, wynoszące $3,5 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\text{godz}^{-1}$ w dniu 2.07.2006 r. o godz. 11:00. Średnia miesięczna suma godzinna $K\downarrow$ przewyższała $1 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\text{godz}^{-1}$ od kwietnia do września. Najwyższą średnią sumę $K\downarrow$, wynoszącą $1,3 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\text{godz}^{-1}$, stwierdzono w czerwcu.



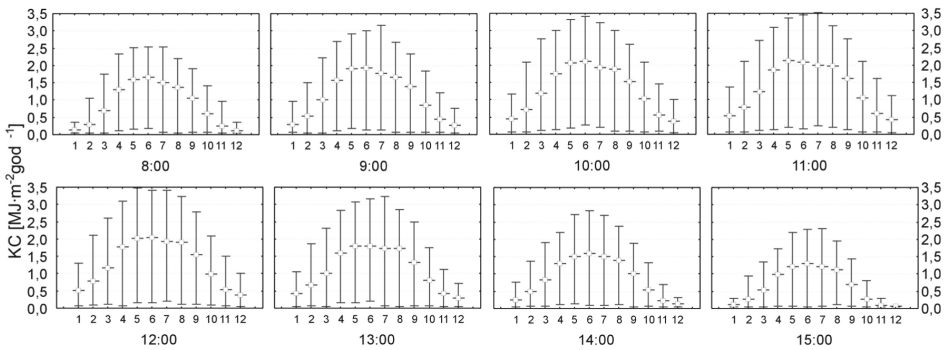
Ryc. 2. Sumy godzinne $K\downarrow$ od 3:00 do 21:00 (po lewej) w miesiącach (po prawej) UTC na stacji WNoZ w Sosnowcu (2000–2009). Kwadraty oznaczają wartość średnią, ramki – odchylenie standardowe od średniej, a wąsy – ekstremalne natężenie $K\downarrow$

Fig. 2. $K\downarrow$ hourly totals from 3:00 to 21:00 UTC (left) and in months (right) at the WNoZ meteorological station in Sosnowiec (2000–2009). Squares indicate the average value, frames stand for the standard deviation from the average value while the dashed lines mark the extreme intensity of $K\downarrow$

PROMIENIOWANIE CAŁKOWITE W WYBRANYCH GODZINACH

Średnie sumy godzinne K_{\downarrow} w godzinach 7:10–8:00 oraz 13:10–14:00 w badanym wieloleciu 2000–2009 były wyższe od $1 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\text{godz}^{-1}$ od kwietnia do września (ryc. 3), a natomiast w następnym przedziale godzinnym (14:10–15:00) już tylko od maja do sierpnia. W przedziale czasu 10:00–13:00 średnie sumy godzinne K_{\downarrow} osiągały wartości powyżej $1,5 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\text{godz}^{-1}$ od kwietnia do września, z najwyższą $2,2 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\text{godz}^{-1}$ w godzinach 10:10–11:00 w maju. Maksymalne natężenie K_{\downarrow} wyniosło $3,5 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\text{godz}^{-1}$ w lipcu.

Strumień K_{\downarrow} docierał do powierzchni w 62% w czasie 8:00–15:00, a w godzinach 9:00–14:00 tylko w 47% przypadków. Duże wartości sum K_{\downarrow} powyżej $2,5 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\text{godz}^{-1}$ otrzymywała powierzchnia Ziemi w godzinach dziennych, co stanowiło 5% przypadków.



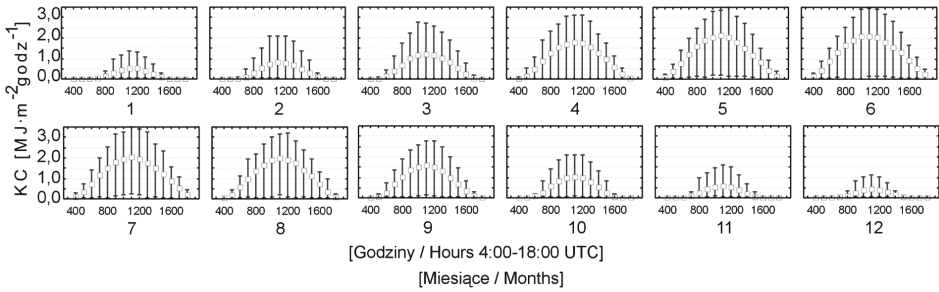
Ryc. 3. Sumy godzinne K_{\downarrow} skategoryzowane godz. 8:00–15:00 UTC w Sosnowcu (2000–2009)

Fig. 3. K_{\downarrow} hourly total categorized according to 8:00–15:00 UTC hours in Sosnowiec (2000–2009)

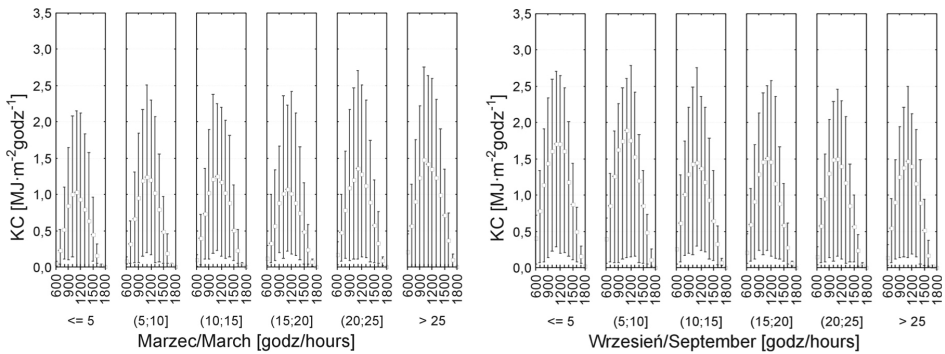
SUMY GODZINNE PROMIENIOWANIA CAŁKOWITEGO W MIESIĄCACH

Przeanalizowano również sumy godzinne K_{\downarrow} w poszczególnych miesiącach roku (ryc. 4). Średnia suma godzinna K_{\downarrow} przekracza $1 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\text{godz}^{-1}$ tylko w godzinach okołopołudniowych w marcu (9:00–13:00) i październiku (10:00–12:00).

Następnie przeprowadzono analizę w odniesieniu do wybranych miesięcy (marzec i wrzesień), gdy najwyższe położenie Słońca wynosiło odpowiednio 32° i 58° pierwszego dnia wybranych miesięcy. Średnia suma godzinna K_{\downarrow} przekraczała wartość $1 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ tylko o godzinie 11:00 w pierwszych 5 dniach marca



Ryc. 4. Sumy godzinne K_{\downarrow} w miesiącach na stacji WNoZ w Sosnowcu (2000–2009)
Fig. 4. K_{\downarrow} hourly total in the months at WNoZ in Sosnowiec (2000–2009)



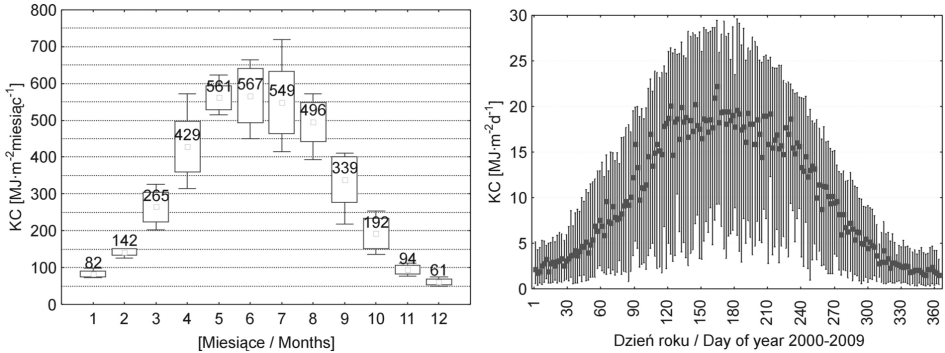
Ryc. 5. Sumy godzinne K_{\downarrow} w marcu (po lewej) i we wrześniu (po prawej) w pięciodniowych przedziałach w Sosnowcu (2000–2009)
Fig. 5. K_{\downarrow} hourly total in March (left) and September (right) in fifth days periods in Sosnowiec (2000–2009)

(ryc. 5), natomiast w ostatnich dniach (> 25 dnia marca) już od godziny 9:00 do 13:00 UTC. Średnia suma godzinna K_{\downarrow} przekraczała wartość $1 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{godz}^{-1}$ tylko o godzinie 9:00–13:00 od 11 do końca września, natomiast w pierwszych dniach tego miesiąca (do 10 dnia) już od godziny 8:00 do 14:00 UTC. Pozwala to przypuszczać, że natężenie K_{\downarrow} w tych dniach można wykorzystywać ekonomicznie.

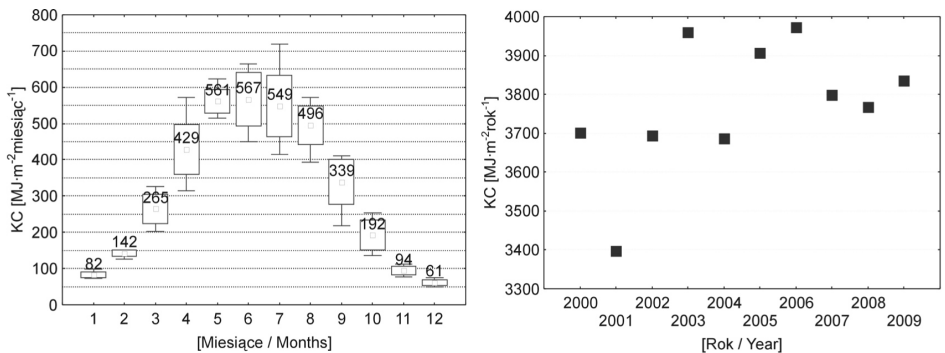
SUMY DOBOWE PROMIENIOWANIA CAŁKOWITEGO

Najwyższą sumę dobową K_{\downarrow} $29,6 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ zanotowano 3.07.2006 roku, a najniższą $0,3 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 11.12.2007 roku (ryc. 6). Wyróżniał się okres od 100. do 220. dnia roku z wartościami średnimi sum dobowych K_{\downarrow} powyżej $15 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$.

W przebiegu rocznym sum dobowych promieniowania K_{\downarrow} (ryc. 6) wyróżniał się okres od maja do lipca, ze zbliżoną średnią sumą dobową K_{\downarrow} ($17,7\text{--}18,9 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$). Średnia wartość sumy dobowej K_{\downarrow} w badanym wieloleciu wynosiła $10,3 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$, najwyższa $10,9 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$ w 2007 i najniższa $9,3 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$ w 2001 r. (ryc. 7). Są to dużo wyższe wartości niż podawane dla Regionu Górnośląskiego jako średnia suma dobowa $K_{\downarrow} 9 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$ (*Atlas Rzeczypospolitej...* 1994).



Ryc. 6. Sumy dobowe promieniowania K_{\downarrow} na stacji WNoZ w Sosnowcu (2000–2009)
Fig. 6. Daily total for K_{\downarrow} radiation at the WNoZ station in Sosnowiec (2000–2009)



Ryc. 7. Sumy miesięczne (po lewej) i roczne (po prawej) K_{\downarrow} na stacji WNoZ w Sosnowcu (2000–2009)

Fig. 7. K_{\downarrow} monthly (left) and yearly (right) total at the WNoZ station in Sosnowiec (2000–2009)

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Analiza natężenia całkowitego promieniowania słonecznego pozwoliła określić zmienność warunków radiacyjnych, natężenie w poszczególnych sezonach, miesiącach i godzinach doby. Ponadto ilościowe zestawienie natężenia K_{\downarrow}

pozwoili oszacować potencjalną wartoć energii słonecznej i planować jej wykorzystanie jako odnawialne źródło energii.

Na podstawie danych promieniowania K_{\downarrow} w Sosnowcu w latach 2000–2009 stwierdzono, że:

- najwyższa średnia suma K_{\downarrow} , wynoszącą $1,4 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\text{godz}^{-1}$, występuje w przedziale czasowym 10:10–11:00. W tym samym czasie wystąpiło maksimum K_{\downarrow} , wynoszące $3,513 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\text{godz}^{-1}$ w dniu 2.07.2006 r. o godz. 11:00;
- duże wartoć sum godzinnych K_{\downarrow} , powyżej $2,5 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\text{godz}^{-1}$, notowano w godzinach dziennych (9:00–14:00), co stanowiło 5% przypadków. Znaczący był też udział sum godzinnych K_{\downarrow} w przedziałach $1\text{--}1,5 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\text{godz}^{-1}$ (7%) oraz w przedziałach $1,5\text{--}2$ i $2\text{--}2,5 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\text{godz}^{-1}$ (po 6%);
- najwyższą sumę dobową K_{\downarrow} , wynoszącą $29,6 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$, zanotowano 3.07.2006 r., natomiast najniższą $0,3 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$ 11.12.2007 r.;
- w badanym okresie wyróżniał się okres od 100. do 220. dnia roku z wartoćiami średnimi sum dobowych K_{\downarrow} powyżej $15 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$;
- średnia wartoć sumy dobowej K_{\downarrow} wyniosła $10,3 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$, najwyższa $10,9 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$ w 2007 i najniższa $9,3 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$ w 2001 r.

Ze względu na ekonomiczne wykorzystanie energii słonecznej wskazano dni i zakres godzin, gdy średnia suma godzinna K_{\downarrow} przewyższała $1 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\text{godz}^{-1}$:

- w godzinach okołopołudniowych w marcu (9:00–13:00) i październiku (10:00–12:00);
- od 11 do 15 kwietnia w godzinach 8:00–14:00 oraz od 11 do 30 września w godzinach 9:00–13:00, natomiast w pierwszych 10 dniach tego miesiąca już od godziny 8:00 do 14:00 UTC.

Literatura

- Atlas bilansu promieniowania w Polsce*, 1966, J. Paszyński (red.), Dok. Geogr. IGiPZ PAN, 4, *Materiały do bilansu cieplnego Polski*.
- Atlas klimatu województwa śląskiego*, 2000, A. Kruczała (red.), IMGW, Katowice, 116.
- Atlas Rzeczypospolitej Polskiej*, 1994, Mapa 31.2 *Promieniowanie, temperatura powietrza*. (J. Paszyński, K. Miara), Główny Geodeta Kraju, Warszawa.
- Caputa Z.A., Leśniok M.R., Niedźwiedz T., G. Bil-Knozová, 2009, *The influence of atmospheric circulation and cloudiness on the intensity of temperature inversions in Sosnowiec (Upper Silesia, Southern Poland)*. Int. Jour. of Envir. and Waste Manag. (IJEWM), 4, 1–2, 17–31.
- Narodowy Atlas Polski*, 1973–1978, Instytut Geofizyki PAN, Zakład Narodowy Imienia Ossolińskich, Wrocław-Wawszawa-Kraków-Gdańsk.