

doi:10.15199/48.2015.01.41

Potencjał i możliwości energii promieniowania elektromagnetycznego Słońca

Streszczenie. Promieniowanie elektromagnetyczne Słońca jest paliwem wykorzystywanym we wszystkich procesach zachodzących na Ziemi w materii żywej (fotosynteza) i nieożywionej. Słońcu zawdzięczamy również energię jaką niesie w postaci wiatru i fal morskich. Energia słoneczna jest całkowicie czystym i najbardziej naturalnym źródłem energii odnawialnej. Energia promieniowania elektromagnetycznego Słońca jest przekształcana bezpośrednio w energię elektryczną, bez jakichkolwiek reakcji chemicznych (konwersja ta nie powoduje ogrzewania Ziemi). Dominującym składnikiem całkowitego bilansu energetycznego naszej Planety Ziemia jest właśnie promieniowanie słoneczne. Całkowita moc promieniowania elektromagnetycznego Słońca docierająca do biosfery przekracza 10000 razy obecne zapotrzebowanie całej ludzkości na energię. Obecnie na całym świecie dąży się do jak największego wykorzystywania energii pochodzącej ze Słońca w celu wytwarzania energii elektrycznej, cieplej oraz do minimalizacji kosztów związanych z wytwarzaniem energii elektrycznej i ogrzewaniem.

Abstract. Electromagnetic radiation of the Sun is the fuel used in all processes occurring on Earth in living matter (photosynthesis) and inanimate. Sun also owe that carries energy in the form of wind and waves. Solar energy is totally pure and most natural source of renewable energy. The energy of electromagnetic radiation of the Sun is converted directly into electricity, without any chemical reaction (conversion does not cause heating of the Earth). The dominant component of the total energy balance of our planet Earth is the solar radiation. The total power of electromagnetic radiation the sun enters the biosphere exceeds 10,000 times the current demand for energy of all humanity. Today, worldwide, seeks to maximize the utilization of energy from the sun to produce electrical energy, heat and to minimize the costs associated with the generation of electricity and heating. (**The potential and possibilities of energy electromagnetic radiation of the Sun**).

Słowa kluczowe: Energia promieniowania elektromagnetycznego Słońca, energia słoneczna, nasłonecznienie, usłonecznienie, temperatura słońca, czasy słoneczne, równanie czasu, deklinacja słoneczna.

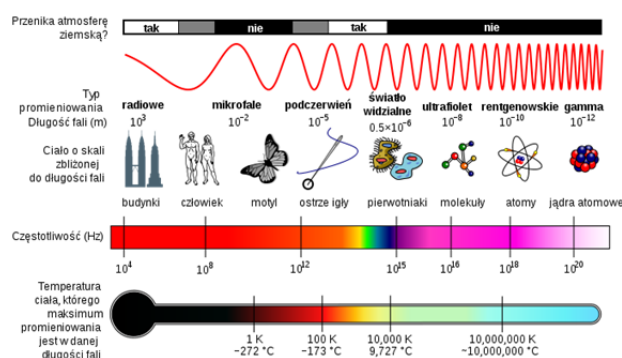
Keywords: The energy of electromagnetic radiation of the Sun, solar energy, sunlight, sunshine, the temperature of the sun, the times solar, equation of time, solar declination.

Wstęp

Promieniowanie słoneczne to promieniowanie elektromagnetyczne Słońca, stanowi typ promieniowania wysokoenergetycznego, przenikającego z jądra Słońca, napotykać na swojej drodze wiele elektronów i jąder atomów – jest wynikiem drgań pola magnetycznego i elektromagnetycznego. Skład chemiczny Słońca stanowi wodór (około 74%), hel (około 25%) oraz pozostałe pierwiastki cięższe (tlen, węgiel, azot, żelazo, neon, krzem, magnez, siarka), które stanowią zaledwie około 1% całego składu chemicznego Słońca. W jądrze Słońca zachodzi wiele reakcji termojądrowych, które polegają na przemianie wodoru w hel – około 99% całej energii generowane jest w jądrze Słońca. Masa Słońca wynosi $1,9891 \cdot 10^{30}$ kg, w wyniku reakcji termojądrowych dochodzi do ciągłego ubytku masy Słońca około 4 mln ton w ciągu jednej sekundy. Ubytek ten jest na tyle mały, że nie powoduje znaczących zmian w strukturze Słońca, szacuje się, że jeszcze przez kilka miliardów lat energia ta będzie produkowana i emitowana w kosmos. Energia słoneczna jest bezpieczna, czysta i dostępna dla całego globu ziemskiego. Zastępując konwencjonalne źródła energii (węgiel, gaz, uranu, ropy naftowej) energią promieniowania słonecznego, jako ludzkość jesteśmy w stanie stawić czoło jednym z najważniejszych problemów współczesnej cywilizacji, jakimi są: problem energetyczny oraz problem ochrony środowiska.

Spektrum światła słonecznego

Atomy posiadające znaczącą energię kinetyczną uderzając o powierzchnię Słońca, gwałtownie zmniejszają swoją prędkość – zostają zahamowane na tej powierzchni, co powoduje zwiększenie długości fali promieniowania elektromagnetycznego Słońca. W tym efekcie promieniowanie Słońca ma duży zakres długości fali od 0,0001 do 0,01 nm. Każdej z tych długości odpowiada różna wartość energii. Część tej energii w zakresie długości fali od 0,35 do 0,75 μm – stanowi światło widzialne.



Rys.1. Widmo fal elektromagnetycznych [12]

Do powierzchni Ziemi oprócz promieniowania elektromagnetycznego dociera również promieniowanie korpuskularne, które związane jest z wybuchami i plamami na Słońcu. W maju 2014 naukowcy z NASA zauważyli wzmożoną aktywność na Słońcu, pojawiły się plamy, mające wpływ na naszą planetę [13]. Wyrzucane w czasie rozbłysków promieniowanie korpuskularne porywa związane z plazmą pole magnetyczne. Słońce obecnie jest w okresie swojej maksymalnej aktywności, co może powodować zakłócenia pracy urządzeń elektronicznych, satelitarnych i radiowych. Wiatr słoneczny dopływający w obszar magnetosfery ziemskiej powoduje jej stałą deformację. Fluktuacje natężenia wiatru słonecznego w okresie maksymalnej aktywności Słońca są przyczyną różnych zjawisk geofizycznych w górnych warstwach atmosfery Ziemi, w tym także różnych zaburzeń geomagnetycznych, wszystko to znacząco wpływa na stan międzyplanetarnych pól magnetycznych [7].

Temperatura Słońca

Temperatura Słońca nie jest dokładnie znana, naukowcy według różnych hipotez szacują ją na poziomie 8 000 000 – 40 000 000 K, najczęściej podaje się wartość 16 000 000 K. Na podstawie rozkładu widmowego emitowanego

promieniowania słonecznego można określić zewnętrzną temperaturę Słońca. Dla ciała doskonale czarnego rozkład widmowy zgodnie z prawem Plancka przedstawia zależność (1):

$$(1) \quad E_\lambda = \frac{C_1}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{\exp\left(\frac{C_2}{\lambda T}\right) - 1} [W \cdot m^{-2} \cdot m^{-1}]$$

gdzie: $C_1=3,7405 \cdot 10^{-16} [m^2 \cdot W]$, $C_2=0,0143879 [m \cdot K]$, λ – długość fali [m].

Temperatura widzialnej powierzchni Słońca – fotosfery waha się w granicach od 5700 K do 6300 K (średnio około 6000 K). Prawo Stefana–Boltzmannia opisuje całkowitą moc wypromieniowywaną przez ciało doskonale czarne w danej temperaturze, wyraża się zależnością (2):

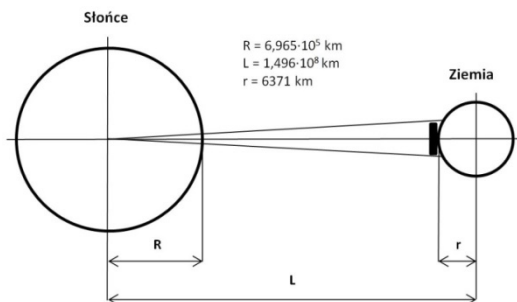
$$(2) \quad E = \int_0^\infty E_\lambda d\lambda = \sigma \cdot T_S^4 [W \cdot m^{-2}]$$

gdzie: $\sigma=5,67 \cdot 10^{-8} [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}]$ – stała Stefana–Boltzmannia dla ciała doskonale czarnego, T_S – temperatura efektywna Słońca wynosi 5780 K.

Stała słoneczna

Stała słoneczna – stanowi całkowitą energię, jaką promieniowanie słoneczne przenosi w jednostce czasu przez jednostkową powierzchnię ustawioną prostopadle do promieniowania w średniej odległości Ziemi od Słońca, przed wejściem promieniowania do atmosfery [15]. Oznaczając G_{SC} jako gęstość strumienia promieniowania słonecznego docierającego do zewnętrznych warstw atmosfery ziemskiej i T_S jako temperaturę powierzchni Słońca otrzymuje się zależność (3) zobrazowaną na rysunku 2:

$$(3) \quad 4 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot \sigma \cdot T_S^4 = 4 \cdot \pi \cdot (L - r)^2 \cdot G_{SC}$$



Rys.2. Szacowanie stałej słonecznej. Opracowanie własne na podstawie [8]

Stałą słoneczną definiuje zależność (4). Wartość tej stałej wynosi około $1367 W \cdot m^{-2}$, jest ona stale korygowana w miarę gromadzenia nowych danych pomiarowych. W chwili obecnej stałą słoneczną mierzy się za pomocą pomiarów satelitarnych, dzięki czemu omija się wpływ atmosfery na otrzymane wyniki.

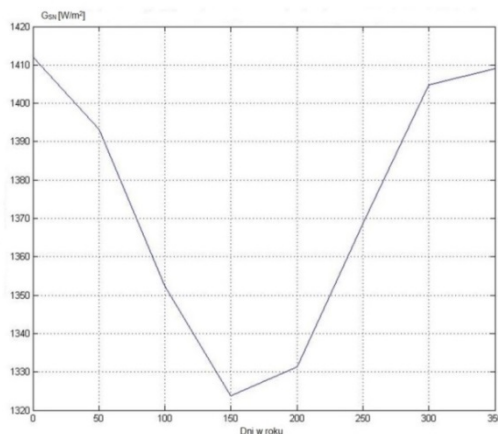
$$(4) \quad G_{SC} = \frac{R^2 \cdot \sigma \cdot T_S^4}{(L - r)^2}$$

W ciągu roku wraz ze zmianą odległości Ziemi od Słońca zmienia się gęstość strumienia promieniowania na zewnątrz atmosfery. Gęstość ta wyrażona jest zależnością (5):

$$(5) \quad G_{sn} = G_{SC} \cdot \left[1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{360 \cdot n}{365}\right)\right]$$

gdzie: n – dzień w roku, np. dla 1 stycznia $n=1$.

Z przebiegu zaprezentowanego na rys.3 można zauważyć znaczący spadek gęstości promieniowania od 150 do 200 dnia roku kalendarzowego. Okres ten przypada od końca maja do połowy lipca.



Rys.3. Zmiana gęstości strumienia promieniowania na zewnętrznych granicach atmosfery w ciągu roku kalendarzowego [opr. wł.]

Bilans energetyczny Ziemi

W bilansie energetycznym Ziemi dominującym składnikiem jest promieniowanie elektromagnetyczne Słońca. Strumień energii słonecznej docierającej do zewnętrznych warstw atmosfery ziemskiej wyrażony jest zależnością (6):

$$(6) \quad E = \pi \cdot r^2 \cdot G_{SC} [W]$$

Dla promienia Ziemi $r=6371 km$ i stałej słonecznej $G_{SC}=1367 W \cdot m^{-2}$, zależność (6) osiąga wartość $1,74 \cdot 10^{17} [W]$. Z całkowitej energii jaka dociera do granic atmosfery ziemskiej około 28% zostaje odbite z powrotem i rozproszone w przestrzeni kosmicznej – energię odbitą nazywa się **albedo**, a 72% energii padającej ulega absorpcji do biosfery ziemskiej. Średnia gęstość strumienia promieniowania elektromagnetycznego na jednostkę powierzchni Ziemi w odniesieniu do energii pochłanianej przez biosferę wyraża się zależnością (7):

$$(7) \quad G_{sr} = \frac{0,72 \cdot E}{4 \cdot \pi \cdot r^2} = \frac{0,72}{4} \cdot G_{SC} = 246 [W \cdot m^{-2}]$$

Powyższa wartość średniej gęstości promieniowania słonecznego nie jest tą, która dociera do powierzchni Ziemi. Około 34% tego promieniowania wykorzystywana jest na przemiany fazowe wody. Pozostałe 66% dociera do powierzchni Ziemi, jest to wartość około $162 W \cdot m^{-2}$. Taką wartość energii można wykorzystać w konwersji fototermicznej i fotowoltaicznej. W celu zapewnienia równowagi termicznej na Ziemi musi nastąpić wypromieniowanie w przestrzeń kosmiczną takiej samej ilości energii jaką zaabsorbowała biosfera ziemska. Biorąc pod uwagę średnią emisyjność powierzchni Ziemi $\epsilon=0,95$ i średnią gęstość energii $G_{sr}=246 W \cdot m^{-2}$, teoretyczna temperatura efektywna, która zapewni wypromieniowanie energii w przestrzeń kosmiczną przy założeniu, że atmosfera jest całkowicie przezroczysta, wyraża się zależnością (8):

$$(8) \quad T_{ef} = \sqrt[4]{\frac{G_{sr}}{\sigma \cdot \epsilon}} = 260 [K]$$

Przy braku atmosfery Ziemia zgodnie z prawem Stefana–Boltzmannia pochłaniałaby energię promieniowania słonecznego na poziomie około $325 W \cdot m^{-2}$, zależność (9):

$$(9) \quad G_{sr}^* = \frac{\alpha \cdot G_{SC}}{4} = 324,7 [W \cdot m^{-2}]$$

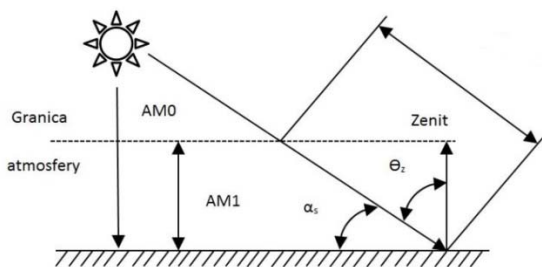
Masa optyczna atmosfery

Podczas procesu pochłaniania fal w atmosferze zmianie ulega rozkład widmowy promieniowania, natomiast podczas

rozpraszania zmienia się kierunek promieniowania docierającego do Ziemi [8]. Zmiany te zależą od składu atmosfery oraz długości drogi promieniowania słonecznego przez struktury atmosfery. Długość drogi wraz z porą dnia, roku i położeniem punktu na Ziemi jest zmienna, zależy również od wysokości Słońca nad horyzontem – istotny jest tutaj kąt pod jakim względem horyzontu widzialna jest tarcza słoneczna. Droga jaką pokonują promienie słoneczne przechodząc przez atmosferę jest odwrotnie proporcjonalna do sinusa kąta wysokości Słońca, określona jest zależnością (10):

$$(10) \quad AM = \frac{1}{\sin(\alpha_s)} = \frac{1}{\cos(\theta_z)}$$

Masa optyczna atmosfery (rys.4) jest stosunkiem długości promieniowania przechodzącego przez atmosferę przy promieniowaniu padającym pod pewnym kątem, do długości drogi przy przejściu przez atmosferę prostopadłym do powierzchni Ziemi. Na rysunku 4 rozkłady widmowe przy przejściu przez atmosferę oznaczone są symbolami AM0 i AM1. Zależności AM0, AM1 dotyczą kąta zenitalnego zawierającego się pomiędzy $0 < \theta < 700$. Dla kątów zenitalnych większych od 700 w obliczeniach należy uwzględnić krzywiznę Ziemi.



Rys.4. Masa optyczna atmosfery. Opracowanie własne na podstawie [8]

Czasy słoneczne

Doba słoneczna w astronomii oznacza okres czasu między dwoma dolnymi kulminacjami Słońca (o północy astronomicznej przypada dolna kulminacja). Taką dobę nazywa się czasem słonecznym, który to wskazuje zegar słoneczny. W energetyce słonecznej wszystkie kierunki i zależności kątowe padania promieni słonecznych są funkcją czasu słonecznego. W zagadnieniach energetyki słonecznej istotne jest powiązanie tego czasu z czasem strefowym (urzędowym). Prawdziwa doba słoneczna jest dłuższa od czasu obrotu Ziemi wokół własnej osi, równego w przybliżeniu 23 godziny i 56 minut. Różnica pomiędzy tymi czasami jest zmienna w ciągu roku, związane jest to z eliptyczną orbitą okołosłoneczną oraz zmienną prędkością Ziemi po orbicie. Z tego powodu zamiast prawdziwego czasu słonecznego używa się powszechnie czasu średniego słonecznego z równomiernymi średnimi doбами słonecznymi [8]. Różnica między czasem prawdziwym słonecznym, a średnim czasem słonecznym nazywa się równaniem czasu. Na potrzeby energetyki słonecznej równanie czasu opisuje zależność (11):

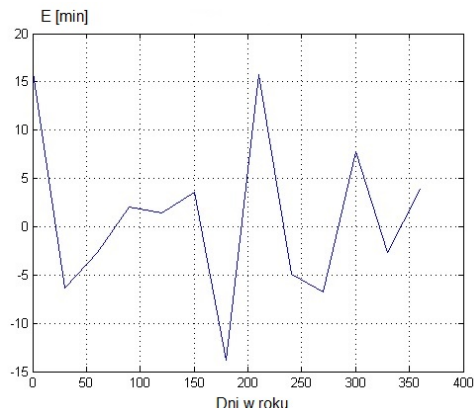
$$(11) \quad E = \tau_{pcs} - \tau_{\acute{s}cs}$$

gdzie: τ_{pcs} – czas prawdziwy słoneczny, $\tau_{\acute{s}cs}$ – średni czas słoneczny.

$$(12) \quad E = 229,2 \cdot [0,000075 + 0,001868 \cdot \cos(B) - 0,032077 \cdot \sin(B) + 0,014615 \cdot \cos(2B) - 0,04089 \cdot \sin(2B)] \text{ [min]}$$

gdzie: n – dzień w roku, np. dla 1 stycznia $n=1$, $B = ((n-1) \cdot 360) / 365^\circ$.

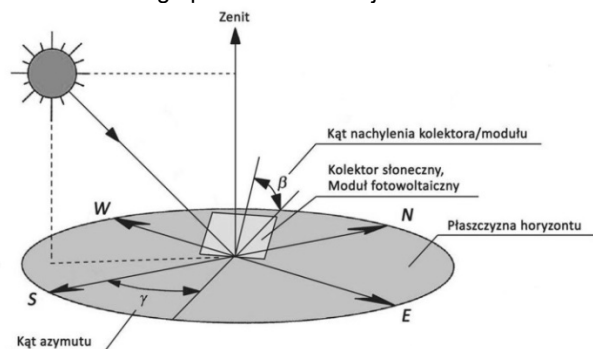
Podobnie jak w przypadku przebiegu zmian gęstości promieniowania, w równaniu czasu (11) można zauważyć również, okres między końcem maja a połową lipca, jako minimum, natomiast początek roku oraz okres od końca lipca do połowy sierpnia cechuje się wartościami maksymalnymi (rys.5).



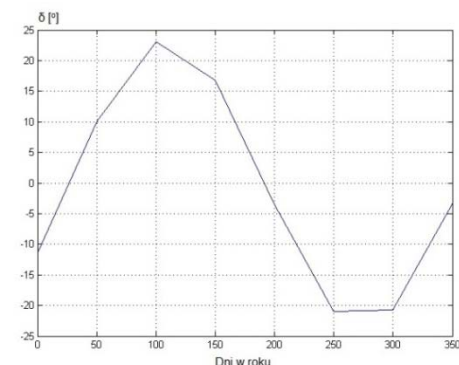
Rys.5. Graficzne przedstawienie równania czasu [opr. wł.]

Kierunek promieniowania elektromagnetycznego Słońca

Pozycję Słońca określa się za pomocą kątów w układzie współrzędnych horyzontalnych, kątów określających położenie Ziemi i jej osi obrotu w płaszczyźnie jej obiegu Słońca oraz szerokości geograficznej danego punktu obserwacji (rys.6). Od pozycji Słońca uzależniony jest kierunek padania promieniowania słonecznego, które dociera do danego punktu obserwacji na Ziemi.



Rys.6. Kąty we wzajemnym układzie Słońce – odbiornik [16]



Rys.7. Deklinacja słoneczna – zmiana położenia Słońca w południe astronomiczne względem płaszczyzny równika w zależności od dnia w roku [opr. wł.]

Deklinacja słoneczna

Deklinacja słoneczna określa kątowe położenie Słońca w południe astronomiczne względem płaszczyzny równika. Przyjmuje ona inną wartość dla każdego dnia roku, która jest zmienna w zakresie od $-23,45^\circ$ do $+23,45^\circ$. Korzystając

z reguły Coopera można w przybliżeniu wyliczyć deklinację korzystając z zależności (13):

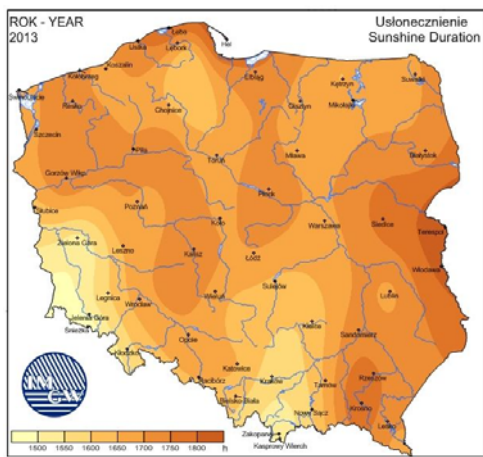
$$(13) \delta = 23,45 \cdot \sin\left(360 \cdot \frac{284+n}{365}\right) [^\circ]$$

gdzie: n – dzień w roku, np. dla 1 stycznia $n=1$.

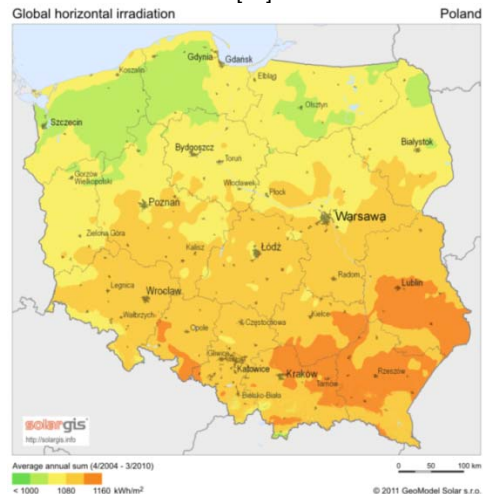
Potencjał promieniowania elektromagnetycznego Słońca w Polsce

Do określenia potencjału promieniowania słonecznego na dowolną powierzchnię Ziemi, wykorzystuje się dwie wielkości:

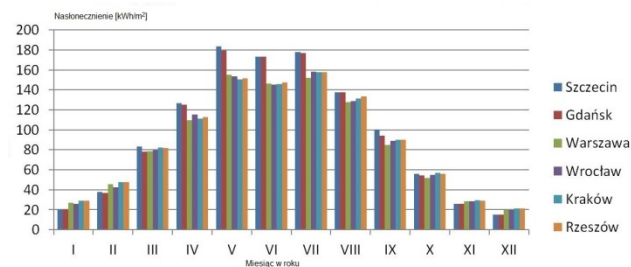
- usłonecznienie – jest to czas padania promieni słonecznych na dowolny punkt powierzchni Ziemi w ciągu określonego czasu (godziny, dnia, miesiąca, roku) [h/rok];
- nasłonecznienie (napromieniowanie) – jest to energia promieniowania słonecznego docierającego na jednostkę powierzchni odbiornika w ciągu określonego czasu (godziny, dnia, miesiąca, roku) [kWh/rok].



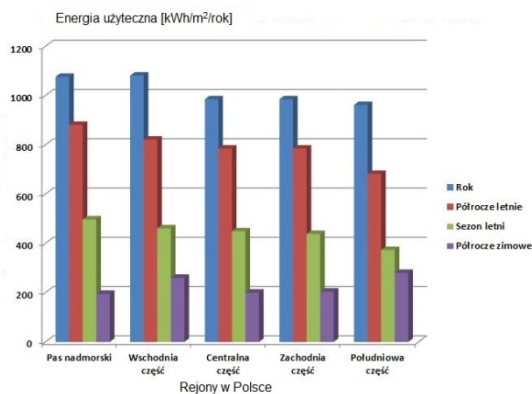
Rys.8. Usłonecznienie w Polsce [17]



Rys.9. Nasłonecznienie w Polsce [23]



Rys.10. Średnie miesięczne nasłonecznienie wybranych miast w Polsce [24]



Rys.11. Potencjał energii użytecznej w różnych rejonach Polski [Europejskie Centrum Energii Odnawialnej]

Polska jest krajem położonym w środkowej części Europy, w strefie klimatu umiarkowanego między 49 a 54,50 stopniem szerokości geograficznej północnej. Usłonecznienie średnie dla Polski wynosi 1580 h/rok. Za wzorcowy obszar do oceny średniego potencjału energii promieniowania słonecznego można uznać rejon warszawski ponieważ wartości usłonecznienia średniego dla Warszawy (1578 h/rok) są do siebie bardzo zbliżone.

Energia słoneczna w założeniach „Strategii Rozwoju Energetyki Odnawialnej”

Dokument polityczny „Strategia Rozwoju Energetyki Odnawialnej” opracowany przez Ministerstwo Środowiska jest podstawowym dokumentem odnoszącym się do energetyki odnawialnej. Dokument ten stwierdza, że udział energii ze źródeł odnawialnych w ogólnym bilansie paliwowe – energetycznym w 2000 roku wynosił około 2,5%, natomiast w 2010 roku wyniósł około 7,5%, natomiast do roku 2020 powinien wynieść już około 14%.

W dokumencie tym stwierdzono, że w Polsce istnieje duży potencjał techniczny wykorzystania energii słonecznej, szacuje się on na poziomie około 1340 PJ. Ze względu na nierównomierny rozkład tej energii eksploatacja szczególnie w porach jesienno – zimowych jest utrudniona. Ponadto koszt wytwarzania energii cieplnej przez kolektory słoneczne cieczowe oraz ogniwa fotowoltaiczne jest stosunkowo wysoki w porównaniu z najwyższymi w Polsce cenami energii uzyskiwanej przez instalacje oparte na paliwach naturalnych. Dokument ten zakłada wprowadzenie różnych mechanizmów i instrumentów ekonomicznych takich jak promocje, preferencyjne kredyty, dofinansowania technologii charakteryzujących się niską opłacalnością. Przykładowo zakup instalacji z kolektorami słonecznymi w obecnych czasach jest porównywalny z zakupem konwencjonalnej instalacji opartej na kotle węglowo-miałowym.

Powyższe mechanizmy mogą również włączać system inicjatyw takich jak: wprowadzenie obowiązków wykazywania w bilansach energetycznych (regionów, województw, gmin) oceny lokalnych zasobów odnawialnych źródeł energii i opłacalności ich wykorzystywania, zobowiązanie zakładów energetycznych do zawierania długoterminowych kontraktów na sprzedaż energii pozyskanej ze źródeł odnawialnych. Bardzo ważnym działaniem jest również promowanie, edukacja w celu uświadamiania o korzyściach płynących ze stosowania odnawialnych źródeł energii. Strategia ta nakłada na organy administracji rządowej szereg działań organizacyjnych, zobowiązujących między innymi do: podjęcia prac nad projektem ustawy w zakresie racjonalnego użytkowania energii, źródeł skojarzonych i odnawialnych, oceny istniejącego funkcjonowania prawa

energetycznego w obszarze wykorzystania odnawialnych źródeł energii, podjęcia działań zmierzających do zwiększenia udziału odnawialnych źródeł energii w bilansie energetycznym kraju, opracowanie rządowego programu dotyczącego odnawialnych źródeł energii w budownictwie. Za wdrożenie krajowej polityki energii odnawialnej w Polsce ma być odpowiedzialne Europejskie Centrum Energetyki Odnawialnej przy Instytucie Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa w Warszawie.

Perspektywy dalszego rozwoju sektora energetyki słonecznej

Trudności w planowaniu i prognozowaniu rozwoju energetyki odnawialnej w Polsce związane są z brakiem trendów rozwojowych technologii odnawialnych źródeł energii, oraz brakiem dostępu do narzędzi prognostycznych. W Unii Europejskiej takim programem jest SAFIRE (ang. *Strategic Assessment Framework for the Implementation of Rational Energy*). SAFIRE to narzędzie, które pozwala badać i szacować możliwości rozwoju technologii odnawialnych źródeł energii przy użyciu różnych instrumentów politycznych, gospodarczych z uwzględnieniem konkurencji konwencjonalnych technologii energetycznych. SAFIRE umożliwia bilansowanie zużycia różnych nośników energii w zależności od potrzeb energetycznych. Na bazie programu SAFIRE wraz z brytyjską firmą ESD zostały stworzone scenariusze rozwoju energetyki odnawialnej w Polsce do 2020 roku. Biorąc pod uwagę mechanizmy wsparcia finansowego, uwzględniono cztery scenariusze:

- referencyjny, gdzie dodatkowe nakłady ze strony państwa pozostaną na poziomie z roku 2000;
- środowiskowy, który uwzględni największy udział środków budżetowych;
- dwa pośrednie uwzględniające podjęcie działań zgodnie z zapisami w dokumencie Strategii. Technologia słoneczna pomimo bardzo wysokich zasobów technicznych, ocenianych na około 400 PJ w 2020 roku (kolektory słoneczne + panele fotowoltaiczne), uzyska bardzo mały udział rynkowy około 1-2% w porównaniu z konwencjonalnymi technologiami. Udział fotowoltaiki w bilansie energii zarówno pierwotnej jak i elektrycznej jest znikomy dla wszystkich scenariuszy, związane jest to z kosztami jakie generuje technologia fotowoltaiczna.

Ze względu na wysokie koszty, penetracja rynkowa dla scenariusza referencyjnego w 2020 roku będzie niska – około 4MW, natomiast w wariacji optymistycznym wyniesie około 0,5GW. Na etapie rozwoju technologii źródeł energii odnawialnych, zaczęły powstawać instytucje finansowe wspierające rozwój odnawialnych źródeł energii. Instytucjami tymi są: Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, Wojewódzkie Fundusze Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, EkoFundusz, oraz Program Małych Grantów GEF. Wszystkie w/w

instytucje wspierają różnego rodzaju projekty związane z odnawialnymi źródłami energii, biorąc pod uwagę aspekty związane z ochroną środowiska.

W Polsce instalacje słoneczne są jak na razie inwestycjami o małej skali, stąd inwestorzy mogą liczyć najwyżej na preferencyjne kredyty – niskooprocentowane, na dotację maksymalnie do 50% kosztów inwestycji. Duże inwestycje (duża powierzchnia kolektorów, paneli) na obecnym etapie są rzadkością i najczęściej wdrażane są przez samorządy terytorialne lub gminy. Obecna sytuacja w kraju, zainteresowanie rządu i parlamentu technologiami związanymi z odnawialnymi źródłami energii, a także zwiększone zainteresowanie społeczeństwa sprawami ekologii stwarza dobre warunki do rozwoju technologii słonecznych w Polsce.

LITERATURA

- [1] Jastrzębska G., *Odnawialne źródła energii i pojazdy proekologiczne*, (2007), 73-91
- [2] Jastrzębska G., *Ogniwa słoneczne, budowa, technologie i zastosowanie*, (2013), 25-57
- [3] Lewandowski W. M., *Proekologiczne odnawialne źródła energii*, (2007), 147-168
- [4] Miszczak M., Waszkiewicz C., *Energia Słońca, wiatru i inne*, (1988), 9-15,
- [5] Sarniak M. T., *Podstawy fotowoltaiki*, (2008), 9-27
- [6] Nowicki M., *Nadchodzi era Słońca*, (2012), 60-61
- [7] Mietelski J., *Astronomia w geografii*, (2013),
- [8] Pluta Z., *Podstawy teoretyczne fototermicznej konwersji energii słonecznej*, (2013), 13-48, 61-67
- [9] Brinkworth J. B., *Energia słoneczna w służbie człowieka*, (1979), 39-67
- [10] Chmielniak T., *Technologie energetyczne*, (2008), 437-452
- [11] Klugman-Radziemska W., *Odnawialne źródła energii. Przykłady obliczeniowe*, (2009), 21-24, 78-79
- [12] http://pl.wikipedia.org/wiki/Promieniowanie_elektromagnetyczne
- [13] <http://www.koniec-swiata.org/slonce-sie-przebudzilo-wzrasta-aktywnosc-sloneczna>
- [14] http://www.se.pl/usa/gigantyczny-wybuch-na-slonce_252165.html
- [15] http://pl.wikipedia.org/wiki/Stała_sloneczna
- [16] http://www.energisol.pl/energia_slonca.html
- [17] <http://www.imgw.pl/klimat>
- [18] <http://www.enis-pv.com/naslonecznienie-w-polsce.html>
- [19] <http://ioze.pl/energetyka-sloneczna/zasoby-energii-slonecznej-w-polsce>

Autorzy: mgr inż. Paweł Matuszczyk, Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny, Al. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa, E-mail: pawelmatuszczyk@windowslive.com;
dr hab. inż. Tomasz Popławski Prof. PCz, Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny, Al. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa, E-mail: poptom@el.pcz.czest.pl;
dr inż. Janusz Flaszka, Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny, Al. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa, E-mail: januszflaszka@o2.pl.