

ENERGIA SŁONECZNA I WIATROWA NA LUBELSZCZYŹNIE

K. Dziaduszyński

Zakład Meteorologii i Klimatologii, Instytut Nauk o Ziemi, Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej
ul. Akademicka 19, 20-033 Lublin, E-mail: kdziadus@biotop.umcs.lublin.pl

Streszczenie. W pracy przedstawiono szacunkowe zasoby energii słonecznej i wiatrowej na Lubelszczyźnie, na podstawie wyników obserwacji przeprowadzonych w latach 1951-1960. Przy obliczaniu zasobów energii słonecznej dokonano prostej zamiany pomierzonych wielkości napromienienia (cal cm^{-2}) na wielkości energii (W), natomiast przy obliczaniu energii wiatrowej zastosowano wzór na obliczanie energii jaką niesie strumień powietrza, a następnie zastosowano wzór potęgowy do przeliczenia energii wiatru z wysokości wiatromierza na wysokość 30 m n.p.g. Analiza otrzymanych wyników pozwoliła stwierdzić, że najbardziej zasobnym rejonem Lubelszczyzny w energię słoneczną jest jej południowa część (Sandomierz, Zamość) natomiast w energię wiatrową jest część północna (Wisznice).

Słowa kluczowe: energia słoneczna, energia wiatru, Lubelszczyzna

WSTĘP

W związku z ogólnoswiatową tendencją do poszukiwania nowych źródeł energii coraz większą uwagę przywiązuje się do możliwości wykorzystania źródeł odnawialnych energii w tym energii słonecznej i wiatrowej. Oba rodzaje energii związane są ściśle z klimatologią, gdyż to klimatolodzy mogą wskazać miejsca najbardziej zasobne w tego typu energię. Próbę przedstawienia struktury i zasobów energii wiatru w Polsce podjęła m.in. Lorenc [8]. W Europie szeroko zagadnieniem tym zajmują się Duńczycy [13], którzy opracowali atlas zasobów energii wiatru dla krajów Unii Europejskiej.

Niewielka liczba stacji na terenie Polski wykonujących pomiary napromienienia powoduje brak kompleksowego opracowania dotyczącego energii słonecznej. Bilans napromienienia słonecznego, który jest podstawą określenia zasobów energii słonecznej jest przedstawiony w „Atlasie zasobów, walorów i zagrożeń środowiska geograficznego Polski” [1] w ujęciu rocznym i sezonowym; natomiast przebieg roczny w ujęciu miesięcznym zawiera „Atlas bilansu promieniowania w Polsce” Paszyńskiego [11].

Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie zasobów energii słonecznej i wiatrowej na Lubelszczyźnie, na podstawie wyników obserwacji przeprowadzonych w latach 1951-1960.

MATERIAŁ I METODY

W pracy wykorzystano wartości średnich miesięcznych i rocznych sum promieniowania słonecznego zawartych w „Atlasie bilansu promieniowania w Polsce” [11] i wartości średnich miesięcznych prędkości wiatru z „Atlasu Klimatycznego Polski - Wiatr” [14]. Decydujący wpływ na wykorzystanie tego materiału badawczego miał fakt, że były to dane pochodzące z jednorodnego okresu (1951-1960), a także odnosiły się do tego samego obszaru. W analizie uwzględniono osiem stacji:

1. Biała Podlaska	$\varphi = 52^{\circ}01'N$	$\lambda = 23^{\circ}08'E$	$H_W = 12 \text{ m}$
2. Lublin	$\varphi = 51^{\circ}14'N$	$\lambda = 22^{\circ}34'E$	$H_W = 10 \text{ m}$
3. Puławy Kępa	$\varphi = 51^{\circ}25'N$	$\lambda = 21^{\circ}58'E$	$H_W = 12 \text{ m}$
4. Sandomierz	$\varphi = 50^{\circ}41'N$	$\lambda = 21^{\circ}45'E$	$H_W = 20,1 \text{ m}$
5. Tomaszów Lubelski	$\varphi = 50^{\circ}27'N$	$\lambda = 23^{\circ}25'E$	$H_W = 12 \text{ m}$
6. Wisznice	$\varphi = 51^{\circ}47'N$	$\lambda = 23^{\circ}13'E$	$H_W = 11 \text{ m}$
7. Włodawa	$\varphi = 51^{\circ}33'N$	$\lambda = 23^{\circ}33'E$	$H_W = 10 \text{ m}$
8. Zamość	$\varphi = 50^{\circ}44'N$	$\lambda = 23^{\circ}15'E$	$H_W = 14 \text{ m}$

(dane wg Wiszniewskiego [14]).

Energia słoneczna

Określenie zasobów energii słonecznej na podstawie napromienienia nie sprawia trudności, gdyż jednostki obrazujące wielkości napromienienia są jednocześnie jednostkami energii: cal cm^{-2} , J m^{-2} . Niepotrzebne są tu zatem skomplikowane obliczenia, lecz prosta zamiana tych wartości na waty (W, kW). Dla Lublina, Puław i Sandomierza wartości napromienienia całkowitego (kcal cm^{-2}) podane były w części tabelarycznej „Atlasu bilansu promieniowania w Polsce” [11], dla pozostałych stacji wartości należało interpolować z map zamieszczonych w tym samym „Atlasie... ”.

Energia wiatrowa

Bardziej skomplikowane niż określenie zasobów energii słonecznej jest określenie zasobów energii wiatrowej, które należy przeprowadzić w kilku etapach. Wielkości, które zawarte są w „Atlasie Klimatycznym Polski - Wiatr” [14] (obserwacje

wykonywano trzy razy na dobę i uśredniano z 2 min), nie są w pełni jednorodne dla porównania energii wiatru w różnych stacjach, ponieważ pomiary prędkości wiatru dokonywane były na różnych wysokościach i przy różnych klasach szorstkości terenu. Aby zniwelować te różnice należało w dalszym postępowaniu sprowadzić obliczenia do tej samej wysokości nad poziomem gruntu i tej samej klasy szorstkości terenu.

W literaturze za energię użyteczną przyjmuje się energię uzyskiwaną dla prędkości wiatru powyżej $4,0 \text{ m s}^{-1}$ [8], natomiast w niniejszym opracowaniu za energię użyteczną przyjęto energię uzyskiwaną dla średniej 2-minutowej prędkości wiatru powyżej $5,0 \text{ m s}^{-1}$. Jest to spowodowane charakterem materiału źródłowego.

Pierwszym etapem oszacowania zasobów energetycznych wiatru było przeliczenie prędkości wiatru na poziomie wiatromierza i czasu jego występowania na tzw. energię użyteczną wiatru wg wzoru:

$$E = \frac{\rho v^3 t}{2} 2,778 \cdot 10^{-7} \quad (\text{kWh}) \quad (1)$$

gdzie: E - energia, jaką niesie strumień powietrza w całym zakresie możliwych prędkości wiatru występujących w czasie t ; v - prędkość wiatru (m s^{-1}); ρ - gęstość powietrza (kg m^{-3}), która zależy od temperatury powietrza i ciśnienia atmosferycznego [8].

Posiadany materiał źródłowy nie pozwolił na dokonanie prostych przeliczeń (nie korzystano tu ze średniej prędkości wiatru, lecz z procentowego udziału poszczególnych przedziałów prędkości wiatru). Należało więc znaleźć inną drogę do wyliczenia wielkości energii użytecznej wiatru. Przyjęta metoda pozwala na wyliczenie (ze wzoru (1)) średniej miesięcznej energii użytecznej wiatru dla każdej prędkości wiatru (o skoku co $0,1 \text{ m s}^{-1}$), który trwałby nieprzerwanie przez cały miesiąc. Gęstość powietrza ρ przyjęto dla średniej temperatury miesięcznej powietrza panującej na Lubelszczyźnie (Tabela 1). Następnie obliczono średnią wartość energii dla poszczególnych przedziałów prędkości wiatru ($5-7$; $7-10$; $10-15 \text{ m s}^{-1}$) uwzględnionych w „Atlasie... ” [14]. Do przedziału $10,1-15,0 \text{ m s}^{-1}$ włączono również przypadki prędkości wiatru powyżej $15,1 \text{ m s}^{-1}$.

Następnie dla każdej stacji wyliczono wielkość energii użytecznej wiatru z iloczynu wartości zawartych w Tabeli 2 i udziału procentowego poszczególnych przedziałów prędkości wiatru (powyżej 5 m s^{-1}) wg danych z „Atlasu... ” [14]. Sumując wyliczone wartości otrzymano zbliżoną wielkość energii użytecznej na wysokości wiatromierza (Tabela 3).

Tabela 1. Gęstość powietrza (kg m^{-3} , wartości dla suchego powietrza przy ciśnieniu 1000 mb) [6]
Table 1. Air density (kg m^{-3} , values for dry air with 1000 mb pressure) [6]

T	-20 °C/253 °K	-10 °C/263 °K	0 °C/273 °K	10 °C/283 °K	20 °C/293 °K	30 °C/303 °K
ρ	1,37	1,32	1,28	1,23	1,19	1,15

Tabela 2. Średnia wartość energii wiatru dla poszczególnych przedziałów prędkości wiatru (kWh)
Table 2. Average wind energy value in given wind speed sections (kWh)

v (m s^{-1})	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
> 5,1-7,0	110,0	98,6	108,3	101,5	102,4	98,3	101,5	101,5	99,1	104,9	103,2	109,2
> 7,1-10,0	311,6	279,3	306,8	287,6	290,0	278,3	287,6	287,6	280,6	297,2	292,2	309,2
> 10,1-15,0	993,8	890,9	978,6	917,4	925,2	887,8	917,4	917,4	895,2	948,0	932,2	986,2

Tabela 3. Energia użyteczna wiatru (kWh) na wysokości wiatromierza dla stacji Lubelszczyzny przy I klasie szorstkości terenu

Table 3. Wind useful energy (kWh) at the anemometer level for Lubelszczyzna stations with I roughness terrain class

Stacja meteorologiczna	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Suma roczna
Biała Podl.	57,2	45,1	55,5	37,5	26,9	13,2	14,2	16,4	19,5	30,2	59,0	52,1	426,9
Lublin	49,1	37,6	28,6	21,3	18,6	8,0	9,9	12,4	18,8	22,1	30,6	42,4	299,4
Puławy	30,4	18,6	13,7	8,3	4,7	1,9	1,8	2,6	5,2	5,8	12,3	18,0	123,4
Sandomierz	46,7	33,8	30,8	23,7	14,6	8,0	9,9	9,8	16,0	16,9	27,1	38,3	275,8
Tomaszów L.	7,7	5,8	7,0	4,3	2,6	1,3	1,1	1,4	3,8	3,3	6,9	9,8	55,1
Wisznice	98,9	62,5	62,2	39,9	40,1	23,6	23,0	27,7	27,4	34,4	52,0	62,8	554,5
Włodawa	50,3	31,6	31,4	22,1	10,4	6,0	3,9	7,3	11,8	13,1	35,4	29,4	252,7
Zamość	82,8	51,2	35,7	25,6	17,6	10,3	8,9	10,9	20,0	26,8	44,9	70,7	405,2

Aby wielkości te były porównywalne, należało przeliczyć je do umownej wysokości 30 m n.p.g. przy I klasie szorstkości terenu. Do tego celu użyto wzoru potęgowego, o postaci:

$$\frac{E_1}{E_2} = \left(\frac{z_1}{z_2} \right)^{3\alpha} \quad (2)$$

gdzie: E_1 i E_2 - energia wiatru ($\text{kWh m}^{-2} \text{rok}^{-1}$), odpowiednio na wysokościach z_1 i z_2 ; α - wykładnik potęgowy zależny od szorstkości podłoża, prędkości wiatru i czasu uśredniania jego prędkości [8] (Tabela 4).

Przy braku danych o klasie szorstkości terenu w otoczeniu poszczególnych stacji, za trafne rozwiązanie uznano przyjęcie średniej klasy szorstkości z trzech pierwszych przedziałów, tj. klasy I. Wyliczenia dla I klasy niewiele różnią się od wyliczeń dla klasy 0 lub klasy 2, a wyższe klasy szorstkości opisują warunki występujące prawdopodobnie rzadziej w otoczeniu uwzględnionych w opracowaniu stacji (Tabela 5).

Tabela 4. Wartość wykładnika α we wzorze potęgowym w zależności od współczynnika szorstkości K i od czasu uśredniania prędkości wiatru [8]

Table 4. Exponent α value in the power law profile model depends on roughness coefficient K and interval time wind speed [8]

Klasa szorstkości terenu	0	1	2	3	4	5
Współczynnik szorstkości K	0,005	0,007	0,010	0,015	0,025	0,050
α dla czasu uśredniania prędkości (2 min)	0,115	0,120	0,125	0,135	0,150	0,175

Tabela 5. Klasy szorstkości terenu [8]

Table 5. Roughness terrain classes [8]

Klasa szorstkości	Opis terenu
0	Płaski teren otwarty, na którym średnia wysokość jakichkolwiek obiektów jest mniejsza niż 0,5 m.
1	Teren otwarty z nielicznymi, niskimi przeszkodami, może być nieznacznie pofalowany. Mogą znajdować się luźne, niskie zabudowania lub pojedyncze drzewa w dużych odległościach od siebie.
2	Teren z dużymi otwartymi przestrzeniami, płaski lub pofalowany. Mogą znajdować się drzewa lub grupy drzew, lecz w znacznej od siebie odległości oraz luźna niska zabudowa.
3	Teren z przeszkodami. Należą tu tereny zalesione, przedmieścia dużych miast, małe miasta i tereny podmiejskie, a także tereny przemysłowe luźno zabudowane.
4	Teren z licznymi przeszkodami położonymi blisko siebie, skupiska drzew lub budynków, lecz w odległości co najmniej 300 m od miejsca obserwacji.
5	Teren z licznymi, dużymi przeszkodami położonymi blisko siebie, obszary leśne, śródmieścia dużych miast i obszary zurbanizowane.

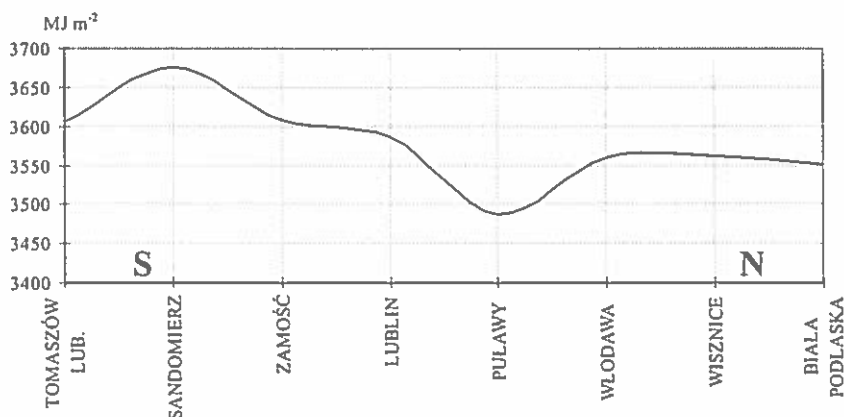
WYNIKI I DYSKUSJA

Średnie napromienienie całkowite na Lubelszczyźnie (1951-1960)

Przebieg napromienienia w ciągu roku charakteryzuje się najwyższymi maksymalnymi wartościami napromienienia w maju, czerwcu i lipcu, natomiast najniższe wartości notowane są w listopadzie, grudniu i styczniu. Związane jest to przede wszystkim z długością dnia. Rozpiętość wartości największych i najmniejszych jest duża i wynosi od 33 MJ m^{-2} w grudniu do 578 MJ m^{-2} w czerwcu, czyli różnica jest niemal osiemnastokrotna. Natomiast sumy roczne zawierają się w przedziale od 3487 MJ m^{-2} w Puławach do 3676 MJ m^{-2} w Sandomierzu.

Analizując średnie wartości miesięcznych i rocznych sum napromienienia całkowitego zauważamy, że wielkości napromienienia zmniejszają się z południa na północ (Rys. 1). Na południu występują najwyższe wielkości: w Sandomierzu, Tomaszowie Lubelskim i Zamościu. W części środkowej wartości średnie - Lublin, i w części północnej wartości najniższe: w Białej Podlaskiej, Wisznicy i Włodawie. I chociaż w Puławach notuje się minimalne wartości sum to jednak tendencja spadkowa w kierunku północnym jest zauważalna.

Taki rozkład napromienienia może być powodowany m. in. tym, że Roztocze i południowa część Lubelszczyzny jest jednym z najmniej zachmurzonych obszarów Polski [12].



Rys. 1. Rozkład sum średniej słonecznej energii napromienienia z południa na północ Lubelszczyzny (1951-1960).

Fig. 1. Average solar energy of radiation sums disposition, from south to north part of the Lubelszczyzna region (1951-1960).

Rozkład sum średniej energii słonecznej na Lubelszczyźnie w latach 1951-1960

Spostrzeżenia związane z analizą rozkładu napromienienia są aktualne także przy analizie sum średniej energii słonecznej. Zmieniły się tu tylko wartości jednostek.

Maksymalne miesięczne wartości sum średniej energii słonecznej występują w czerwcu i zawierają się od 150,0 kWh w Puławach do 160,5 kWh w Sandomierzu, minimalne natomiast w grudniu od 9,3 kWh w Białej Podlaskiej do 12,8 kWh w Sandomierzu. Sumy roczne energii słonecznej maleją z południa na północ i wynoszą m.in. w Sandomierzu 1021,1 kWh, w Zamościu 1002,5 kWh, w Lublinie 992,0 kWh i w Białej Podlaskiej 986,2 kWh. Najniższe wartości, jak już wynikało z poprzednich obliczeń, notuje się w Puławach - 964,1 kWh (Tabela 6).

Porównanie średniego napromienienia słonecznego w Puławach (dla lat 1951-1960 i 1966-1990)

Jak wiadomo wartości napromienienia słonecznego zawarte w „Atlasie bilansu promieniowania w Polsce” [11] były wyliczane ze wzorów empirycznych, nie zawsze oddających dostatecznie dokładnie rzeczywiste wartości zjawiska. Stąd spróbowano wykazać czy wyliczone wielkości słonecznej energii napromienienia są większe, mniejsze lub takie same jak rzeczywiste, ewentualnie jaki błąd popełniono przy ich obliczaniu. W tym celu przeprowadzono analizę porównawczą przebiegu rzeczywistego napromienienia całkowitego notowanego w Puławach w latach 1966-1990 [2], z przebiegiem średniego napromienienia całkowitego z lat

T a b e l a 6. Sumy średniej miesięcznej energii słonecznej (kWh) na Lubelszczyźnie (1951-1960)
T a b l e 6. Average monthly solar energy sums (kWh) in the Lubelszczyzna region (1951-1960)

Stacja meteorologiczna	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Suma roczna
Biała Podl.	15,1	33,7	76,8	109,3	145,4	157,0	148,9	130,3	91,9	51,2	17,4	9,3	986,2
Lublin	16,3	36,1	76,8	111,6	136,1	153,5	152,4	130,3	94,2	54,7	18,6	11,6	992,0
Puławy	16,3	36,1	74,4	105,8	136,1	150,0	144,2	127,9	89,6	53,5	18,6	11,6	964,1
Sandomierz	17,4	38,4	77,9	115,1	139,6	160,5	152,4	133,7	95,4	57,0	22,1	11,6	1021,1
Tomaszów L.	17,4	36,1	76,8	111,6	137,2	157,0	151,2	131,4	94,2	54,7	20,9	12,8	1001,3
Wisznice	16,3	34,9	76,8	109,3	143,0	155,8	150,0	131,4	91,9	51,2	18,6	10,5	989,7
Włodawa	16,3	34,9	76,8	109,3	141,9	155,8	150,0	131,4	91,9	51,2	18,6	10,5	988,6
Zamość	17,4	36,1	75,6	110,5	139,6	158,2	152,4	131,4	95,4	53,5	20,9	11,6	1002,5

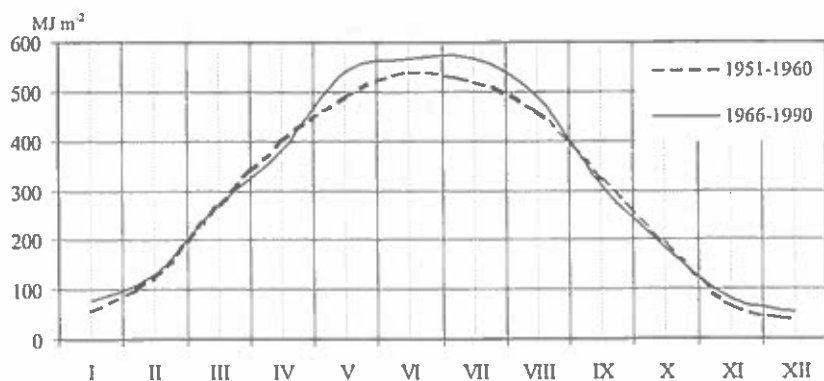
1951-1960. Za taką analizą przemawia to, że Puławy leżące na Lubelszczyźnie są jedną z niewielu stacji w Polsce, w której wykonuje się pomiary napromienienia.

W obu analizowanych seriach średnie sumy roczne wynoszą: dla 10-lecia - 3487 MJ m⁻², a dla 25-lecia - 3655 MJ m⁻² (Tabela 7, Rys. 2). Minimalne wartości przypadają w grudniu, odpowiednio: 42 MJ m⁻² dla 10-lecia i 52 MJ m⁻² dla 25-lecia, maksymalne natomiast w czerwcu, odpowiednio: 540 i 567 MJ m⁻². Przez cztery miesiące (V-VIII) różnice w średnich sumach miesięcznych napromienienia są większe na korzyść 25-lecia, natomiast przez resztę miesięcy wielkości napromienienia są zbliżone do siebie. Różnice jakie wystąpiły w średnim napromienieniu całkowitym mogły być spowodowane tym, że dla obu

Tabela 7. Wartości średnich miesięcznych i rocznych sum napromienienia całkowitego w Puławach z lat 1951-1960 i 1966-1990 (MJ m⁻²)

Table 7. Average monthly and annual values of total radiation sums in Puławy for the periods: 1951-1960 and 1966-1990 (MJ m⁻²)

Lata	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Suma roczna
1951-1960	59	125	272	398	490	540	519	461	322	193	67	42	3487
1966-1990	77	131	271	383	539	567	566	490	312	186	81	52	3655



Rys. 2. Porównanie średnich miesięcznych sum napromienienia całkowitego w Puławach z lat 1951-1960 i 1966-1990.

Fig. 2. Comparison of average monthly total radiation sums in Puławy for the periods: 1951-1960 and 1966-1990.

analizowanych okresów badawczych materiał był pozyskiwany w różny sposób. Ponadto długość tych okresów jest różna, co automatycznie pociągać może za sobą rozbieżności w otrzymanych wynikach. Jednak różnice pomiędzy sumami rocznymi dochodzące do ok. 5 %, nie są tak wielkie i można przyjąć, że otrzymane wyniki z lat 1951-1960 są adekwatne do warunków rzeczywistych.

Energia użyteczna wiatru na Lubelszczyźnie w latach 1951-1960, na wysokości 30 m n.p.g., przy I klasie szorstkości terenu

Dysponując danymi w postaci procentowych udziałów poszczególnych przedziałów prędkości wiatru, wyliczono energię użyteczną wiatru na poziomie 30 m nad gruntem (przy I klasie szorstkości terenu) dla analizowanych miejscowości (Tabela 8). Jako dolną graniczną wartość określającą energię użyteczną przyjęto średnią prędkość wiatru $\geq 5,0 \text{ m s}^{-1}$, zatem wielkość energii użytecznej zależy od długości czasu jego trwania.

Najwyższe wartości na poziomie 30 m n.p.g. notowane były w Wisznicach przez 10 miesięcy - od stycznia do października - z maksimum w styczniu (142 kWh mies.⁻¹), minimum w lipcu (33,0 kWh mies.⁻¹) i roczną wartością 795,7 kWh. Największy skok ilości energii użytecznej z miesiąca na miesiąc występował też w Wisznicach (styczeń / luty; 52,3 kWh). W listopadzie najwyższą wartość energii użytecznej na analizowanych stacjach notowano w Białej Podlaskiej (82,0 kWh mies.⁻¹), a w grudniu w Zamościu (93,0 kWh mies.⁻¹). W obu tych

T a b e l a 8. Energia użyteczna wiatru (kWh) na Lubelszczyźnie na wysokości 30 m n.p.g., przy I klasie szorstkości terenu

T a b l e 8. Wind useful energy (kWh) in the Lubelszczyzna region at 30 m above ground level with I roughness terrain class

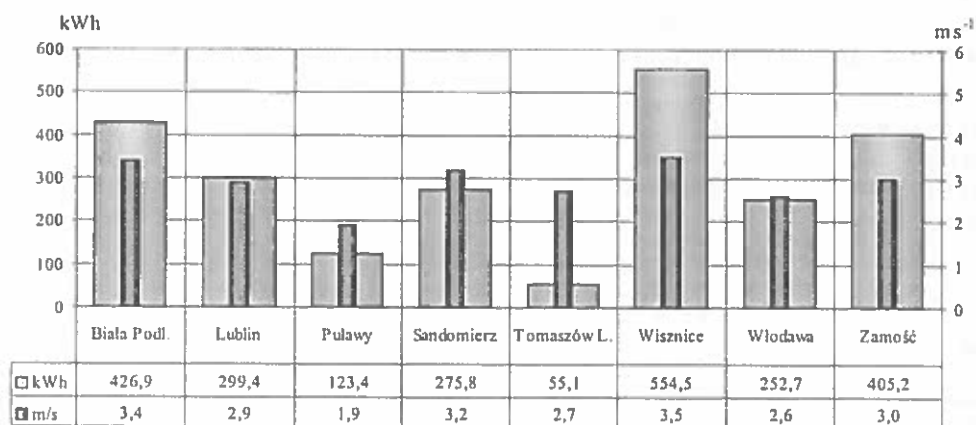
Stacja meteo-logiczna	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Suma roczna
Biała Podl.	79,5	62,8	77,2	52,1	37,5	18,3	19,8	22,8	27,2	42,0	82,0	72,5	593,7
Lublin	72,9	55,9	42,4	31,6	27,7	11,9	14,7	18,5	27,9	32,8	45,4	63,0	444,7
Puławy	42,3	25,9	19,0	11,6	6,5	2,6	2,5	3,7	7,2	8,0	17,1	25,1	171,6
Sandomierz	54,0	39,0	35,6	27,4	16,9	9,3	11,5	11,3	18,5	19,5	31,3	44,3	318,6
Tomaszów L.	10,7	8,1	9,8	6,0	3,6	1,8	1,6	2,0	5,3	4,6	9,6	13,6	76,6
Wisznice	142,0	89,7	89,2	57,3	57,5	33,8	33,0	39,7	39,4	49,4	74,6	90,1	795,7
Włodawa	74,6	46,9	46,6	32,8	15,5	8,9	5,8	10,9	17,6	19,5	52,6	43,6	375,3
Zamość	108,9	67,3	46,9	33,7	23,2	13,5	11,6	14,3	26,3	35,3	59,1	93,0	533,1

miejsowościach roczna wielkość energii użytecznej przekraczała 500 kWh; w Zamościu - 533,1 kWh i w Białej Podlaskiej - 593,7 kWh.

Najniższą energią użyteczną wiatru na poziomie 30 m odznaczał się Tomaszów Lubelski z roczną wartością wynoszącą jedynie 76,6 kWh, z maksimum w grudniu (13,6 kWh mies.⁻¹) i minimum w lipcu (1,6 kWh mies.⁻¹). Średnio zasobnymi w energię użyteczną były rejony Lublina (444,7 kWh), Sandomierza (318,6 kWh) i Włodawy (375,3 kWh).

Czas trwania wiatru w ustalonych przedziałach prędkości (1951-1960)

Jak ważnym elementem przy omawianiu zasobów energetycznych wiatru jest długość jego trwania w poszczególnych przedziałach prędkości niech posłuży przykład Włodawy i Tomaszowa Lubelskiego (Rys. 3). I tak na pierwszej stacji przy średniej prędkości wiatru 2,6 m s⁻¹, wiatr powyżej 5 m s⁻¹ notowano przez 9,9 % czasu, natomiast na drugiej - przy średniej prędkości 2,7 m s⁻¹, tylko przez 3,8 % czasu; co też ma bezpośrednie przełożenie w wielkości energii użytecznej - we Włodawie 252,7 kWh, w Tomaszowie Lubelskim tylko 55,1 kWh. Najkorzystniej na tym tle wyróżniają się Biała Podlaska, Wisznice i Zamość, gdzie dłużej wiały wiatry o dużych prędkościach (powyżej 5 m s⁻¹) (Tabela 9). Może mieć to swoje odbicie w wielkości zasobów energetycznych wiatru i możliwościach ich zagospodarowania.



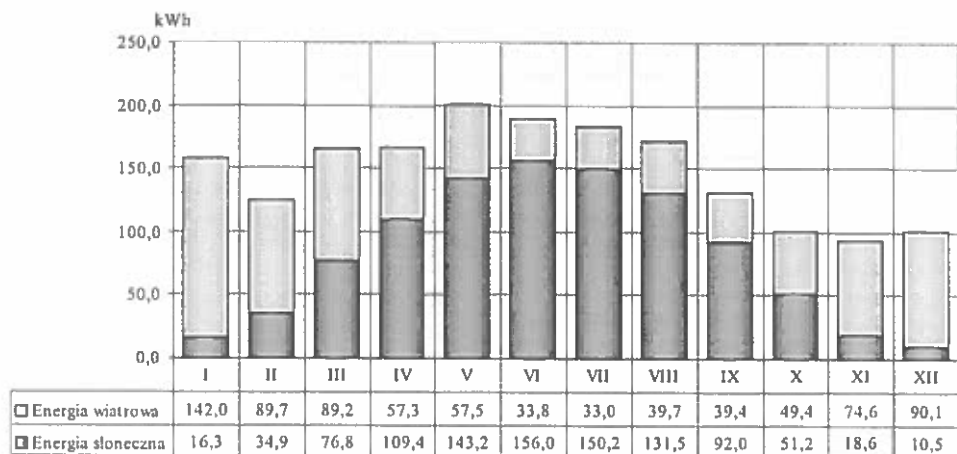
Rys. 3. Porównanie średniej prędkości wiatru z energią użyteczną wiatru (obliczoną na podstawie udziału procentowego poszczególnych przedziałów prędkości wiatru) na wysokości wiatromierza (wartości dla roku).

Fig. 3. Comparison of mean wind speed with wind useful energy (estimated on the base of percentage of particular wind speed sections) at the anemometer level (annual values).

T a b e l a 9. Czas trwania wiatru w ustalonych przedziałach prędkości wiatru (%), średnia prędkość wiatru (v) i energia użyteczna wiatru (E) na wysokości wiatromierza (wartości dla roku)

T a b l e 9. Wind occurrence time in settled wind speed sections (%), mean wind speed and wind useful energy at the anemometer level (annual values)

Przedział prędkości wiatru (%)	Stacja meteorologiczna							
	Biała Podl.	Lublin	Puławy	Sandomierz	Tomaszów Lub.	Wisznice	Włodawa	Zamość
> 0 - 2	30,3	40,0	63,9	37,8	35,3	29,8	44,2	42,0
> 2 - 5	44,3	36,8	22,0	46,5	49,8	44,0	34,7	36,0
> 5 - 7	11,8	7,4	3,1	8,3	3,5	8,2	6,6	7,0
> 7 - 10	3,9	3,5	1,2	3,3	0,3	6,4	2,6	4,8
>10 - 15	1,0	0,5	0,3	0,4	0,0	1,9	0,6	1,2
>15	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,3
Cisza	8,5	11,6	9,5	3,7	11,1	9,6	11,2	8,7
Śr. v ($m s^{-1}$)	3,4	2,9	1,9	3,2	2,7	3,5	2,6	3,0
E (kWh)	426,9	299,4	123,4	275,8	55,1	554,5	252,7	405,2



Rys. 4. Średnie miesięczne sumy energii słonecznej i energii wiatrowej w Wisznicach (kWh) (1951-1960).

Fig. 4. Mean monthly solar and wind energy sums in Wisznice (kWh) (1951-1960).

Roczny przebieg sum energii odnawialnej na Lubelszczyźnie (1951-1960)

Jak wynika z dotychczasowej analizy oba źródła energii charakteryzując nierównomierny przebieg w ciągu roku. Jednak zsumowanie obu źródeł energii niweluje tak duże różnice. Dobrze obrazuje to przykład Wisznicy (Rys. 4).

WNIOSKI

Zgromadzony w pracy materiał, zastosowana procedura przetwarzania danych i analiza wyników pozwoliła na wyciągnięcie następujących wniosków:

- Lubelszczyzna charakteryzuje się ilością energii słonecznej od 964,1 kWh w Puławach do 1021,1 kWh w Sandomierzu.
- W przebiegu rocznym maksymalne wartości energii słonecznej notowane są w czerwcu od 150 kWh w Puławach do 160,5 kWh w Sandomierzu; minimalne natomiast w grudniu od 9,3 kWh w Białej Podlaskiej do 12,8 kWh w Tomaszowie Lubelskim. Tak duże różnice w przebiegu rocznym spowodowane są tym, że w Polsce w lecie dzień jest o ok. 2 razy dłuższy niż w zimie [10].
- Wielkości energii słonecznej generalnie zmniejszają się z południa na północ Lubelszczyzny. Spowodowane jest to zapewne wzrostem szerokości geograficznej (czemu w pewnym stopniu może przeciwstawiać się w lecie rosnąca w kierunku N długość dnia), a być może głównie różnicami w zachmurzeniu.
- Napromienienie jest wielkością stosunkowo mało zmienną z roku na rok w porównaniu z innymi elementami meteorologicznymi. Dlatego też wydaje się, że przeprowadzona analiza z wykorzystaniem materiału badawczego z lat 1951-1960 może odnosić się do warunków panujących obecnie.
- Największe wartości energii użytecznej wiatru na wysokości 30 m n.p.g notowane są w Wisznicach (795,7 kWh), a najmniejsze w Tomaszowie Lubelskim (76,6 kWh), z maksymalnymi w miesiącach zimowych (XI-I) i minimalnymi w miesiącach letnich (VI-VIII). Może to być spowodowane zwiększoną działalnością cyklonalną w porze zimowej i jej osłabieniem w porze letniej.
- Na wielkość energii użytecznej wiatru większy wpływ mają warunki lokalne (ukształtowanie terenu) niż to ma miejsce w przypadku energii słonecznej.
- Płaska i mało urozmaicona rzeźba terenu północnej części Lubelszczyzny (Wisznice, Biała Podlaska) pozwala na swobodny i niezaburzony przepływ powietrza, czego skutkiem jest większa energia użyteczna wiatru niż w południowej części Lubelszczyzny (Tomaszów Lubelski, Zamość).
- Duże zróżnicowanie zasobów energii użytecznej wiatru na Lubelszczyźnie wydaje się dość zaskakujące. Może to być związane przede wszystkim z lokalizacją

- wiatromierza i zmierzonymi tam wartościami prędkości wiatru. Stąd też tak małe wielkości energii użytecznej wiatru w Puławach i Tomaszowie Lubelskim.
- Porównanie średniej prędkości wiatru z energią użyteczną wiatru (obliczoną na podstawie udziału procentowego poszczególnych przedziałów prędkości wiatru), na przykładzie Włodawy i Tomaszowa Lubelskiego wykazało, że przy obliczaniu energii użytecznej wiatru ważna jest nie tylko średnia prędkość wiatru ale również jego struktura (czas trwania poszczególnych prędkości wiatru).
 - Porównując wartości otrzymane z przeprowadzonych obliczeń z obliczeniami m.in. Lorenc [8] można zauważyć, że różnice na poszczególnych stacjach w wielkości energii użytecznej wiatru nie były duże.
 - Wiatr jest bardzo zmiennym elementem meteorologicznym, zarówno w krótkim czasie jak też w wartościach średnich. Dlatego dokładne oszacowanie zasobów energii użytecznej wiatru jest bardzo trudne. Jednak dzięki tego typu analizom można wskazać miejsca bardziej zasobne w energię wiatru, na które oprócz zmiennej prędkości wiatru miały wpływ również stałe czynniki takie jak np. orografia, szorstkość terenu, zjawiska tunelowe.
 - Oba źródła energii mają tę zaletę, że są praktycznie niewyczerpywalne. Także w sprzyjających warunkach mogą się one uzupełniać, np. w zimie występuje minimum energii słonecznej ale maksimum energii wiatrowej, natomiast w lecie jest odwrotnie.
 - W przeszłości na terenie Polski wykorzystywano energię wiatru m.in.: budując wiatraki, które wykorzystywano jako młyny. Obecnie budowa elektrowni wiatrowych lub słonecznych na terenach wiejskich może mieć praktyczne i ekonomiczne uzasadnienie - czego przykładem mogą być takie kraje jak: USA, Dania, Holandia, Izrael, Niemcy a także nieliczne przypadki w Polsce gdzie w gospodarstwach rolnych wykorzystuje się tego typu energię do napędu różnego rodzaju urządzeń lub do ogrzewania wody i pomieszczeń.

PIŚMIENNICTWO

1. Atlas zasobów, walorów i zagrożeń środowiska geograficznego Polski. PAN, Warszawa, 1994.
2. Górski K., Podogrocki J.: Całkowite napromienienie słoneczne w Puławach. Gleby i klimat Lubelszczyzny, Środowisko przyrodnicze Lubelszczyzny. Materiały z konferencji naukowej LTN, Lublin 25 kwietnia 1994.
3. Kaszewski B.M., Mrugała S., Warakowski W.: Środowisko przyrodnicze Lubelszczyzny. Klimat, T.1, LTN, 1995.
4. Koczorowska R., Zawadzki T.: Wykorzystanie energii wiatru w Wielkopolsce w przeszłości a możliwości współczesne. Gazeta Obserwatora IMGW, I, 1991.
5. Kopcewicz T.: Fizyka atmosfery. T.: I, II, III. PWN, Warszawa, 1956 i 1959.
6. Kriczak O.G.: Meteorologia synoptyczna - podręcznik. cz. I. Wyd. MON, Warszawa, 1958.

7. Lorenc H.: Wiatr jako alternatywne źródło energii w Polsce. Meteorologia i Hydrologia a ochrona środowiska. Mat. konferencji PTG - Przesieka k/ Jeleniej Góry, 25-28 września 1990.
8. Lorenc H.: Struktura i zasoby energetyczne wiatru w Polsce. Materiały badawcze. Seria: Meteorologia - 25, IMGW, Warszawa, 1996.
9. Niedziałek H.: Charakterystyka promieniowania słonecznego w roku 1980 w Puławach. Biuletyn LTN, Lublin, Geografia, 28, 1, 1986.
10. Opolski A.: Astronomiczne Podstawy Geografii. PWN, Warszawa, 1964.
11. Paszyński J.: Atlas Bilansu Promieniowania w Polsce. Dokumentacja Geograficzna, Instytut Geografii PAN, 4, 1966.
12. Schmuck A.: Zarys Klimatu Polski. PWN, Warszawa, 1959.
13. Troen I., Petersen E.L.: European Wind Atlas. Riso National Laboratory, Roskilde, Denmark, 1989.
14. Wiszniewski W.: Atlas Klimatyczny Polski. Z.1. Wiatr. Wartości średnie miesięczne i roczne prędkości i kierunków, 1930-60, 1951-60. Warszawa, 1971.

SOLAR AND WIND ENERGY ON LUBELSZCZYŻNA REGION

K. Dziaduszyński

Department of Meteorology and Climatology, Institute of Earth Sciences
Maria Curie-Skłodowska University, Akademicka 19, 20-033 Lublin, Poland
E-mail: kdziadus@biotop.umcs.lublin.pl

SUMMARY

This paper presents the estimated resources of solar and wind energy in the Lubelszczyzna region, on the ground of the observation findings in the years 1951-1960. Estimating the resources of solar energy it has been made a simple conversion of measured radiation amounts (cal cm^{-2}) into energy amounts (W). While estimating wind energy it has been used pattern for the amount of energy carrying by the air stream, and next it has been applied power law profile model for counting wind energy at the anemometer level into 30 m above ground level. The analysis of the acquired results allows to affirm that the south part of Lubelszczyzna (Sandomierz, Zamość) is the most abundant region in solar energy, whereas the north part (Wisznice) in wind energy.

K e y w o r d s: solar energy, wind energy, Lubelszczyzna region.