



AKADEMICKIE CENTRUM CZYSTEJ ENERGII

MAPA WIETRZNOŚCI POLSKI

Projekt Czysta Energia

Dygulska Anna

Perłańska Elwira Ochrona

Środowiska III

Słupsk, 2015

Projekt POKL.04.01.02-00-046/11-00

„Kierunki matematyczno-przyrodnicze drogą do zawodów z przyszłością”

jest współfinansowany przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego



1. CEL PRACY

Celem niniejszej pracy było opracowanie map wietrzności w Polsce w skali roku oraz jego poszczególnych kwartałach (wiosna, lato, jesień zima). Dane użyte do obliczeń wykorzystane zostały ze strony internetowej Ministerstwa Infrastruktury i Rozwoju dotyczących 61 stacji meteorologicznych w Polsce. Wygenerowane zbiory zawierały dane źródłowe z okresu trzydziestu lat począwszy od roku 1971, a skończywszy na roku 2000.

2. WSTĘP TEORETYCZNY

2.1. Odnawialne źródła energii

W ustawie Prawo Energetyczne, Odnawialne Źródła Energii zdefiniowano jako: *„źródła wykorzystujące w procesie przetwarzania energię wiatru, promieniowania słonecznego, geotermalną, fal, prądów i pływów morskich, spadku rzek oraz energię pozyskiwaną z biomasy, biogazu wysypiskowego, a także z biogazu powstałego w procesach odprowadzania lub oczyszczania ścieków albo rozkładu składowanych szczątków roślinnych i zwierzęcych”*.

Tak więc Odnawialne Źródła Energii to takie, których używanie nie wiąże się z długotrwałym ich deficytem, zasób odnawia się w krótkim czasie.

Szczególny nacisk na rozwój energetyki odnawialnej kładą państwa członkowskie Unii Europejskiej. Wspólnie postanowiły do 2020 r. zwiększyć udział energii z OZE do poziomu 20% całkowitego zużycia energii w UE. Zielona Energia znajduje także wsparcie w prawodawstwie krajowym - zgodnie z Polityką Energetyczną Polski do 2030 r. udział źródeł odnawialnych w finalnym zużyciu energii w 2020 r. ma wzrosnąć co najmniej do poziomu 15%.

2.2. Energia wiatrowa

- **Lokalizacja**

Turbiny wiatrowe mogą być budowane na lądzie i na wodzie tzw. off-shore, przy czym większy zysk energii jest możliwy na farmach morskich. Ich lokalizacja jest mniej kłopotliwa dla skupisk ludzkich, jednak przyłączenie takiej elektrowni do sieci elektrycznej jest bardziej skomplikowane.

Wybór lokalizacji jest kluczowy dla powodzenia inwestycji, dlatego należy



szczegółowo przeanalizować, czy spełnia ona podstawowe wymogi. Dla elektrowni wiatrowych w Polsce są one następujące:

- wykluczenie obszarów objętych formami przyrody i krajobrazu;
- zapewnienie odpowiedniej odległości od m.in., lotnisk, dróg, torów kolejowych, linii wysokiego napięcia, ropo- i gazociągów;
- zachowanie odpowiedniej odległości między turbinami;
- zapewniony dostęp do sieci energetycznej.

- **Zalety**

- Wiatr stanowi niewyczerpalne i odnawialne źródło energii, której wykorzystanie powoduje zmniejszenie zużycia paliw kopalnych;
- energia elektryczna pozyskana z wiatru jest ekologicznie czysta, gdyż w procesie jej wytwarzania nie dochodzi do spalania paliwa;
- wiatr jest za darmo, nie występuje ryzyko wzrostu cen;
- następuje obniżenie emisji gazów cieplarnianych oraz poprawa jakości powietrza poprzez uniknięcie emisji SO_x, NO_x oraz pyłów do atmosfery;
- wykorzystanie wiatru powoduje dywersyfikację źródeł energii.

- **Wady**

- Elektrownie wiatrowe pociągają za sobą duże koszty inwestycyjne; obecnie jednak cena zbudowania siłowni wiatrowych ciągle maleje, dzięki nowym osiągnięciom w dziedzinie technologii; co za tym idzie cena energii pozyskiwanej z wiatru ciągle spada;
- oddziałują na krajobraz (fauna, szata roślinna, dobra materialne i kulturowe, warunki estetyczne);
- stwarzają zagrożenie dla klimatu akustycznego, co związane jest z emisją hałasu wytwarzanego głównie przez obracające się łopaty wirnika (opór aerodynamiczny), oraz oddziaływanie pola elektromagnetycznego;
- występuje efekt cienia wieży i przesuwającego się cienia śmigieł, co może powodować u ludzi odczucie zagrożenia i pogorszenia warunków życia;
- elektrownie wiatrowe mogą być zagrożeniem dla ornitofauny i chiropterofauny;
- wiatr jest zmienny, nie można dokładnie przewidzieć z jaką będzie wiał prędkością



i kierunkiem;

- farmy wiatrowe zajmują dużo miejsca i potrzebują terenów niezamieszkałych i odległych od miast;
- wymagane są odpowiednie warunki atmosferyczne do ich budowy, związane z siłą wiatru.

3. METODY

3.1. Opracowanie wyników

Na podstawie informacji zebranych z 61 stacji, dotyczących prędkości wiatru (WS) w m/s, opracowano dane średniej rocznej wietrzności dla każdej ze stacji meteorologicznej w Polsce oraz 4 wartości średniej kwartalnej (wiosna, lato, jesień, zima) odpowiednio dla każdej z nich, gdzie:

- Wiosna- 01.03-31.05 (92 dni);
- Lato- 01.06- 31.08 (92 dni);
- Jesień- 01.09-30.11 (91 dni);
- Zima- 01.12-28.02 (90 dni).

Prędkość wiatru mierzona była każdego dnia miesiąca, co godzinę, przez 365 dni.

Do opracowania wyników średnich rocznych i kwartalnych użyto programu Microsoft Office Excel 2007.

Mapa wietrzności na podstawie w/w danych wykonano za pomocą programu Surfer 8. Służy on do tworzenia barwnych map konturowych oraz pozwala na prezentację wszelkich możliwości fizycznych charakteryzowanych za pomocą izolinii. Spośród 12 metod zaproponowanych przez program, wybrano metodę Kriging (metoda geostatyczna), która pozwala na wyrażanie trendów sugerowanych w danych źródłowych. Punkty przedstawione na mapie połączone są w taki sposób, aby nie przedstawiać odrębnych pików.

4. WYNIKI I DYSKUSJA

Polska jest krajem, który na mapie Europy zlokalizowany jest w jego centralnej części. Od północy naturalną granicą kraju jest akwen Morza Bałtyckiego, natomiast od południa pasma górskie, kolejno od zachodu Sudety i Karpaty.

Jako kraj środkowoeuropejski znajduje się na granicy ścierania mas powietrza



morskiego znad Oceanu Atlantyckiego i kontynentalnego znad Azji. Klimat morski charakteryzuje się chłodnym i wilgotnym latem, natomiast zimy są ciepłe i obfitują w opady. Masy te docierają od zachodniej granicy kraju. Klimat kontynentalny, będący latem gorący i suchy, a zimą mroźny i nie wykazujący znacznej wilgotności, charakterystyczny jest dla mas powietrza napływających z zachodniej granicy. Od północy docierają do Polski wilgotne masy powietrza znad Bałtyku, a dopływ gorącego i suchego powietrza z południowej części Europy hamowany jest przez pasma górskie.

Kierunki wiatru w Polsce związane są z ogólną cyrkulacją atmosferyczną średnich szerokościach geograficznych. Dla Polski charakterystyczny jest rozkład równoleżnikowy, gdzie wraz ze zbliżaniem się do Zwrotnika Raka wzrasta wysokość n.p.m.

Polska, która znajdująca się w klimacie umiarkowanym charakteryzuje się 4 porami roku. Są one zróżnicowane ze względu na region kraju i dopływ mas powietrza, które również mogą tworzyć się lokalnie (bryza morska, bryza jeziorna, wiatry górskie i dolinne). Udział poszczególnych kierunków wiatru nie jest jednakowy w ciągu roku. W lecie przeważają wiatry o kierunku zachodnim i północno- zachodnim. Jesienią rośnie udział wiatrów przybierających kierunek wschodni i południowo- wschodni. Zimą przeważają wiatry wiejące z południowego- zachodu. Wiosną cechuje się względnie równomiernym rozkładem kierunków wiatru. Dominującym kierunkiem jest jednak zawsze kierunek zachodni.

Średnia roczna prędkość wiatru wynosi przeważnie w granicach 3- 4 m/s. Największe prędkości występują późną jesienią zimą i wczesną wiosną, najmniejsze natomiast latem i wczesną jesienią. Najwyższe prędkości wiatru odnotowuje się na Śnieżce w Karkonoszach (12 m/s), na Kasprowym Wierchu (6,5 m/s). Duże prędkości wiatru występują także na wybrzeżu oraz na obszarach nizinnych w środkowej Polsce. Najmniejszą prędkością wiatru cechują się kotliny położone pomiędzy pasmami góorskimi.

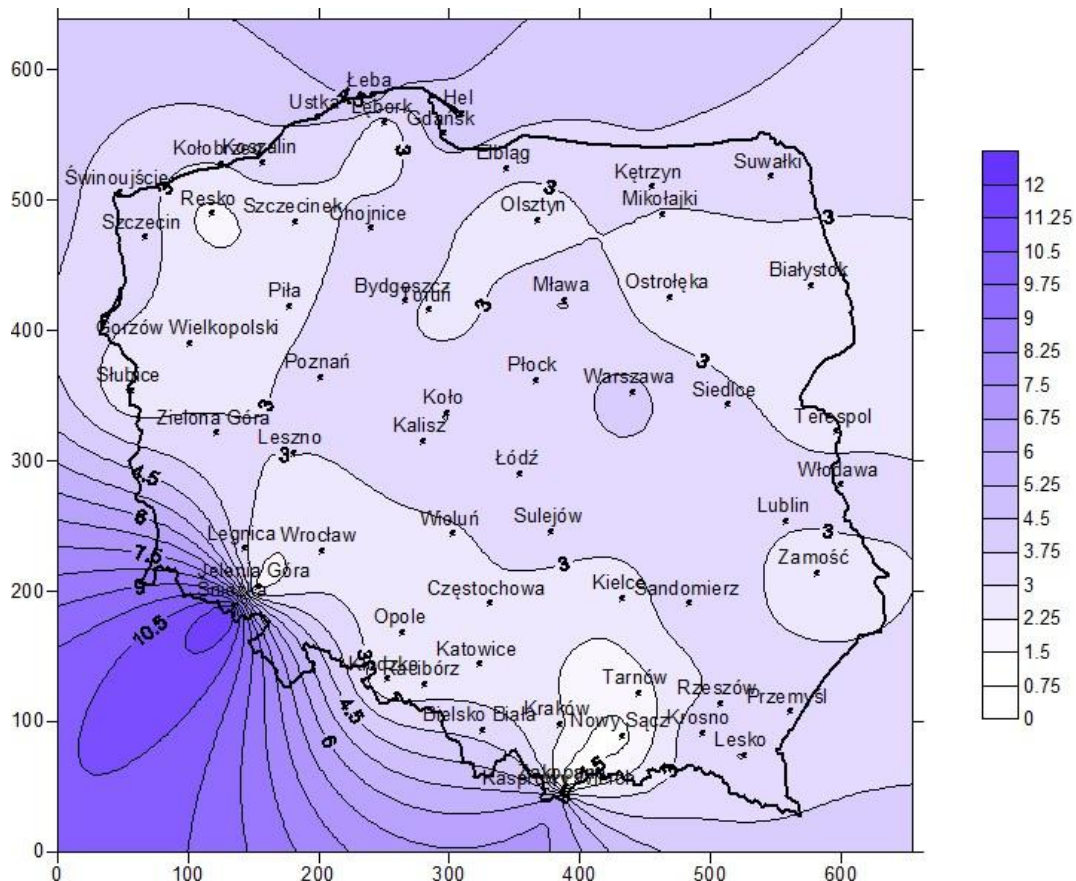
4.1. Mapa roczna wietrzności Polski

W skali roku prędkość wiatru waha się od 1,16 m/s (Zakopane) do 12,09 m/s (Śnieżka) i średnio wynosi ok. 3,24 m/s. Najniższe wartości zaobserwowane są w regionie Podgórze Karpackiego (Tarnów- 1,80 m/s) i okolicach Pojezierza Drawskiego (Resko- 1,92 m/s), najwyższe zaś na obszarach górskich: Kasprowy Wierch (6,62 m/s) i Śnieżka.

Optymalne warunki wietrzności (ok. 3 m/s) wyróżnić można na północy kraju, na Wybrzeżu i Mazurach, co związane jest ze zbiornikami wodnymi, i w partiach górskich.



Dodatkowo wiatr o takiej sile wyodrębnia się w obszarze centralnej i południowo- wschodniej Polski oraz na Lubelszczyźnie. Wiatr poniżej średniej rocznej prędkości notuje się na wschodniej i zachodniej terenie naszego kraju oraz na przedgórzach, w obrębie kotlin. Można zaobserwować równoleżnikowy charakter rozkładu wietrzności w Polsce. Zakłócenie tego systemu wyróżnia się w okolicach Bydgoszczy i Sandomierza, które stanowią swoisty tunel łączący wyższe prędkości wiatru.



Ryc. 2 Mapa roczna wietrzności Polski.

Mapy kwartalne wietrzności Polski

- **Wiosna**

Wiosną na obszarze Polski prędkość wiatru waha się od 1,40 m/s (Nowy Sącz) do 11,69 m/s (Śnieżka) i średnio wynosi ok. 3,32 m/s. Najniższe wartości zaobserwowane są w regionie Podgórze Karpackiego (Zakopane- 1,42 m/s), najwyższe w okolicach szczytów gór: Kasprowy Wierch (6,29 m/s) i Śnieżka oraz na Pobrzeżu Słowińskim (Łeba- 5,10 m/s).

- **Lato**

Latem prędkość wiatru na obszarze Polski przyjmuje najniższe wartości. Siła ta waha się między 0,89 m/s (Zakopane) do 8,47 m/s (Śnieżka) i średnio wynosi ok. 2,62 m/s.



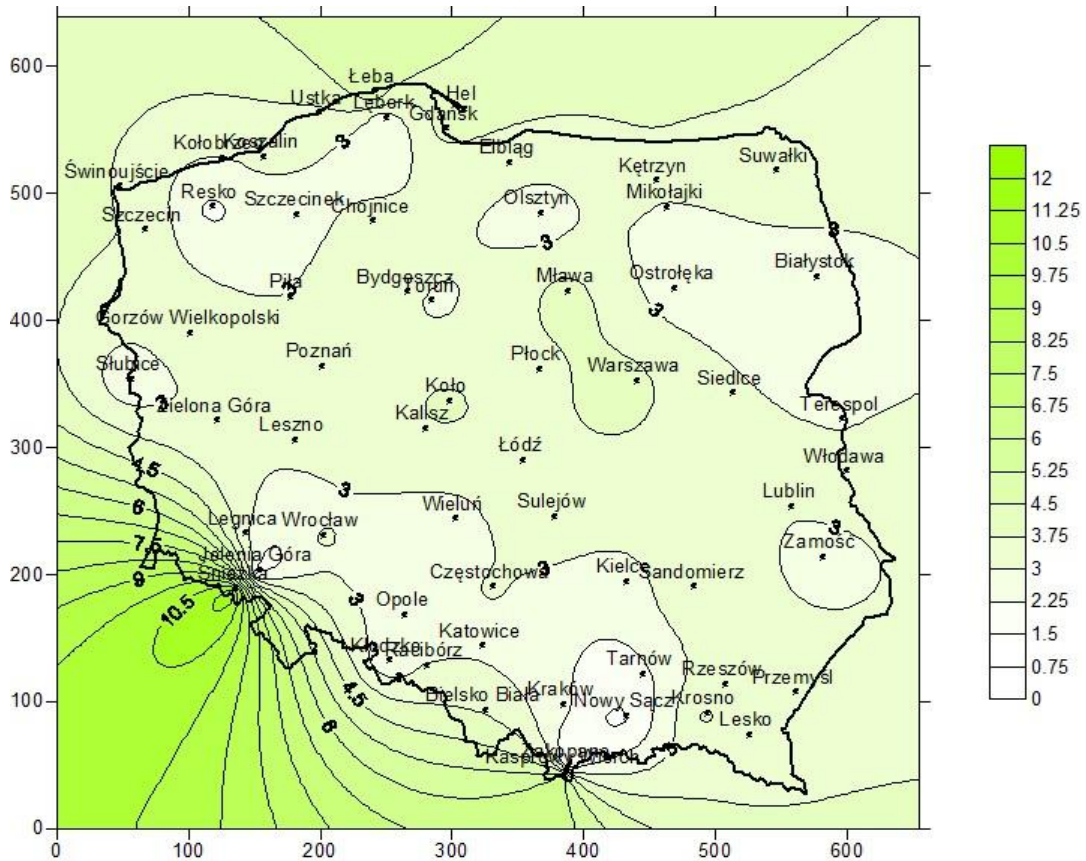
Najniższe wartości zaobserwowane są w regionie Podgórze Karpackiego (Tarnów- 1,29 m/s), Pojezierza Zachodniopomorskiego w okolicy Reska (1,38 m/s), Niziny Podlaskiej (Białystok- 1,80 m/s) i Wysoczyzny Kolneńskiej (Ostrołęka- 1,70 m/s). Dodatkowo na obszarze Przedgórze Sudeckiego (Jelenia Góra- 1,54 m/s) i w okolicy Zamościa na wschodzie kraju (1,71 m/s)

- **Jesień**

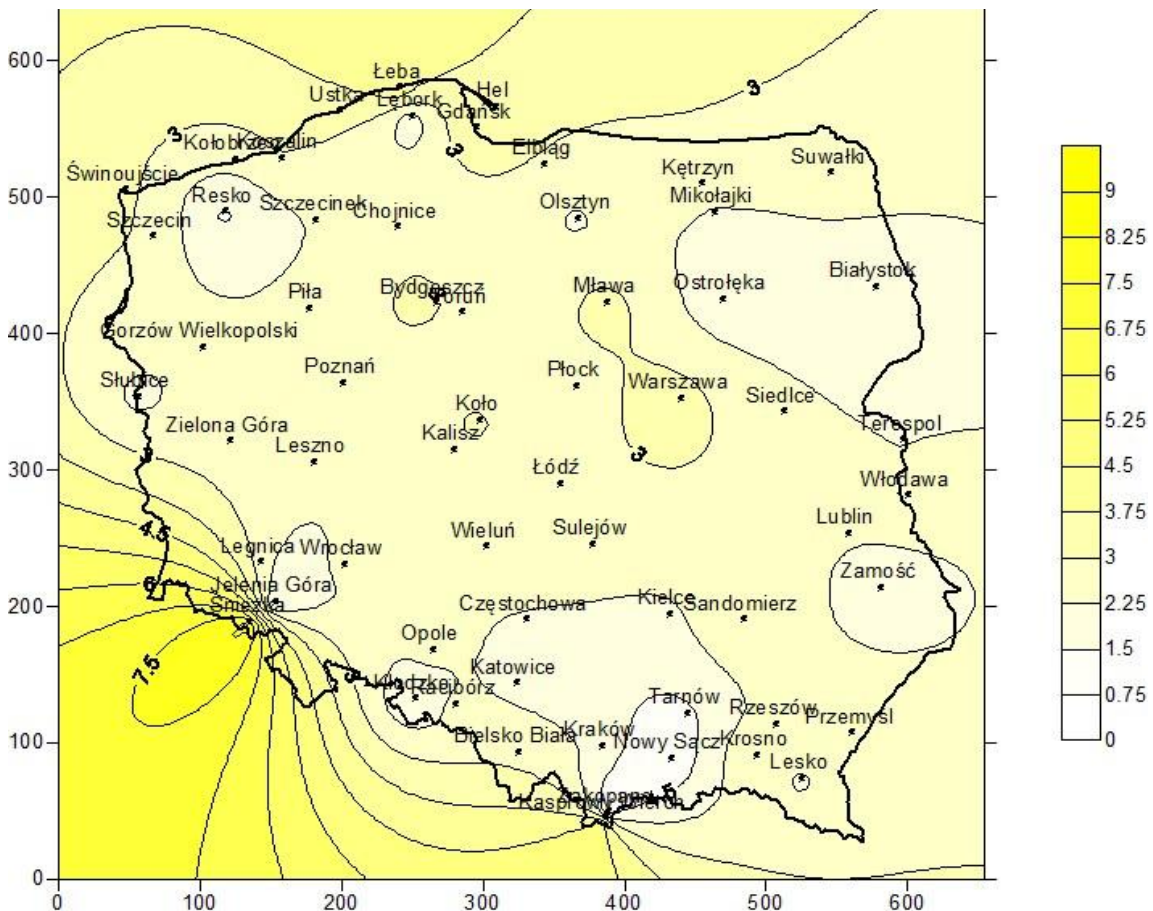
Jesienią na obszarze Polski prędkość wiatru wynosi od 1,08 m/s (Zakopane) do 13,18 m/s (Śnieżka) i średnio wynosi ok. 3,26 m/s. Najniższe wartości zaobserwowane są w rejonie Podgórze Karpackiego (Tarnów- 1,67 m/s) i Sudeckiego (Kłodzko- 1,43 m/s), najwyższe w okolicach szczytów gór: Kasprowy Wierch (6,96 m/s) i Śnieżka.

- **Zima**

Zimą na obszarze Polski prędkość wiatru waha się od 1,27 m/s (Zakopane) do 15,05 m/s (Śnieżka) i średnio wynosi ok. 3,76 m/s. W tej porze roku występuje największa różnica między minimalną a maksymalną prędkością wiatru oraz notowana jest jej najwyższa siła na większości badanych stacji. Najniższe wartości zaobserwowano w regionach Podgórze Karpackiego (Nowy Sącz- 1,52 m/s), najwyższe w okolicach szczytów gór: Kasprowy Wierch (8,36 m/s) i Śnieżka, a także na Pobrzeżu Słowińskim (Łeba- 5,80 m/s) i na Helu (5,01 m/s).



Ryc. 3



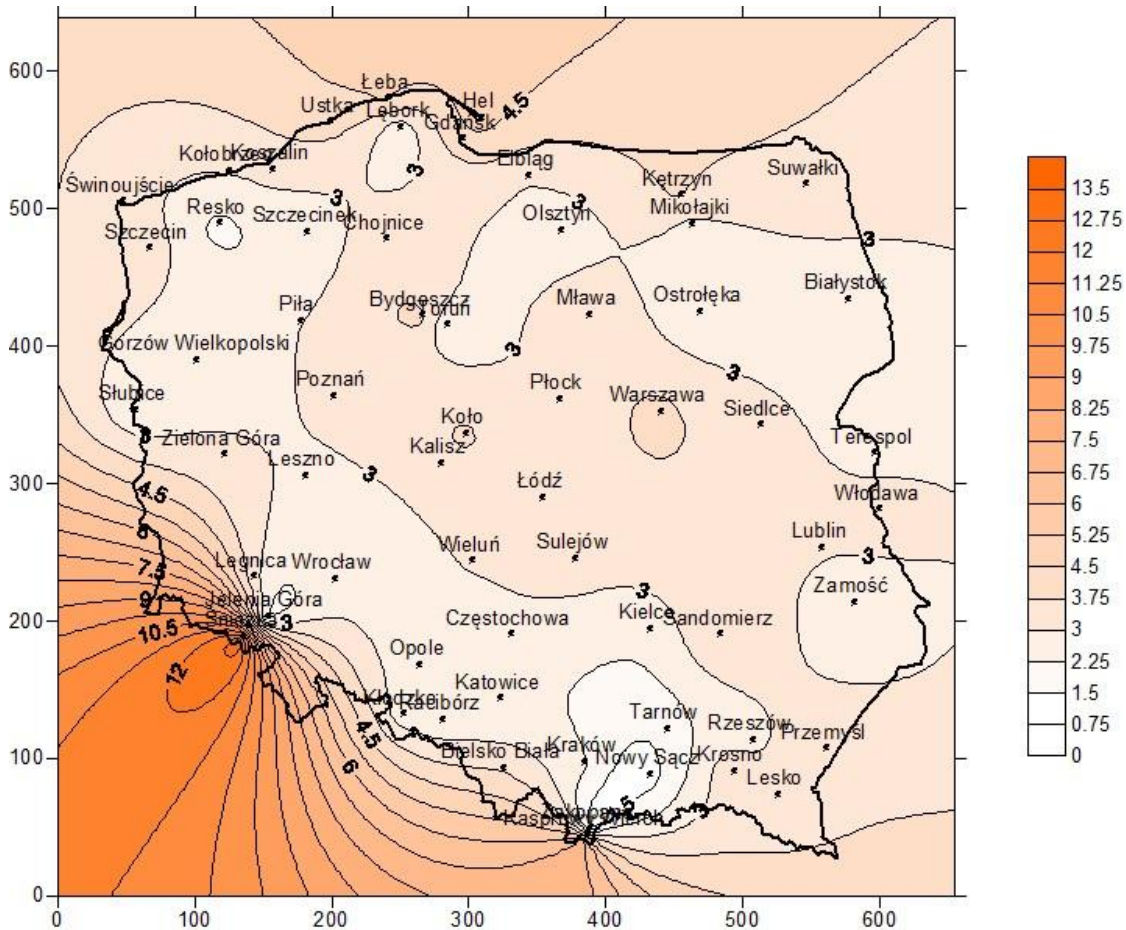


Ryc. 4 Lato

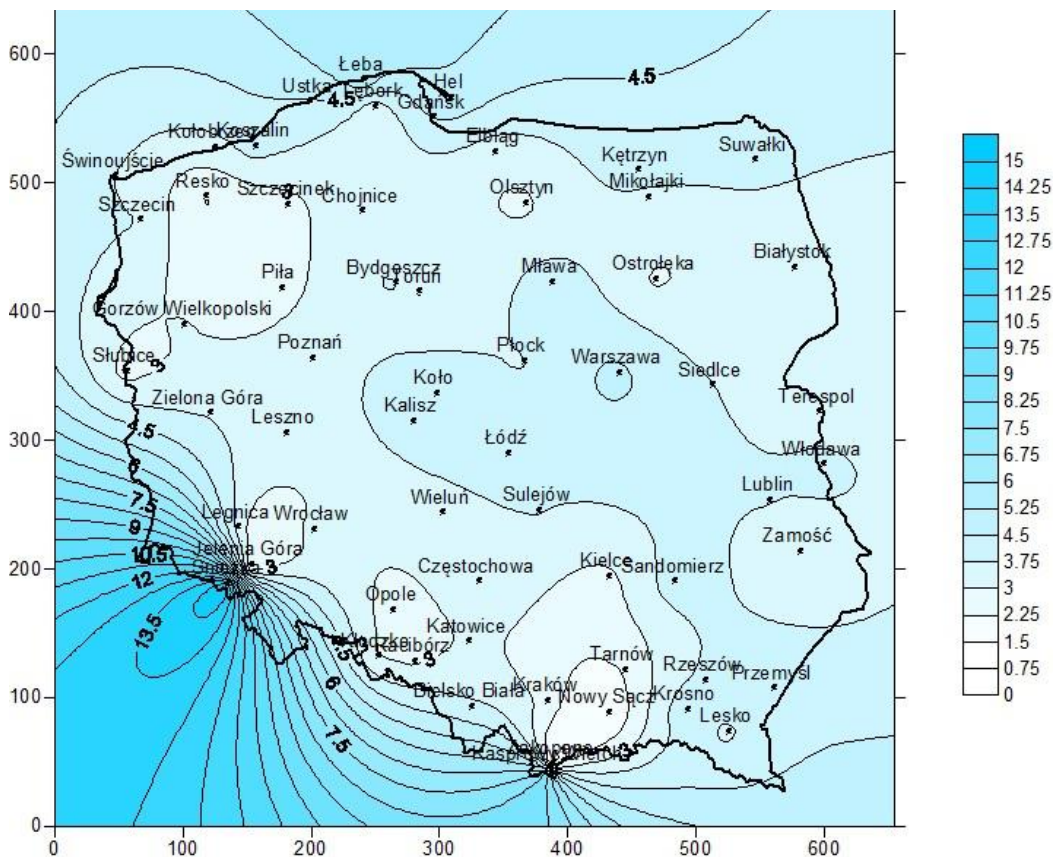
Struktura rozkładu wietrzności w Polsce wiosną i latem przybiera podobny charakter, który zróżnicowany jest jedynie lokalnie. Mimo iż wizualnie wietrzność kształtuje się na podobnym poziomie, to różnią się one zakresem maksymalnych wartości (dla wiosny 11, 69 m/s, latem 8,46 m/s). Zarówno w sezonie wiosennym i letnim obserwowano największe prędkości w północnym i południowym pasie Polski. W centrum kraju i jego południowo-wschodniej części również występują dogodne warunki wietrzności oscylujące między 3-4 m/s. Dodatkowo wyróżnia się obszary powyżej 3 m/s. Jest to m. in. Mazowsze i okolice Kalisza. Pomimo że Bydgoszcz i Toruń położone są w niedalekiej odległości od siebie, to zaobserwowano, iż w Toruniu średnie wielkości kwartalnego przekraczają 3 m/s, zaś w Bydgoszczy prędkość wiatru wynosi około 3,5 m/s. Na poniższych wykresach przedstawiono kwartalną wietrzność dla Torunia i Bydgoszczy.

Mniejsze wartości niż 3 m/s notuje się na wschodzie i zachodzie kraju oraz w okolicach Lubelszczyzny. Najniższe prędkości wiatru występują u podnóży gór.

Jesienią obserwowany jest pasowy rozkład wietrzności od północnego- zachodu do południowego- wschodu, gdzie wartości kształtują się powyżej 3,5 m/s. Obszar o wyższych prędkościach wiatru okalane są niższym natężeniem wiejącego wiatru. Teren ten zajmuje południowo- zachodnie i północno- wschodnie części Polski oraz Lubelszczyznę. Najwyższe wartości kształtują się na wybrzeżu i w górach, a najniższe u podnóży gór. Podobna sytuacja jak ma to miejsce jesienią występuje zimą, jednak w obszarze Kujaw wyodrębnia się wartości niższe niż na Mazowszu (4,5 m/s), przez co przerwany jest „pas” łączący północny- zachód z południowym- wschodem. Z analizy mapy wynika, że zima jest najbardziej wietrznym sezonem w ciągu roku w Polsce.



Ryc. 5



Ryc. 6 Zima



Zestawienie otrzymanych wartości

Tabela przedstawia najwyższe i najniższe prędkości wiatru w m/s dla danej pory roku oraz ich średnie wielkości. Dodatkowo wyróżnić można najwyższe i najniższe wartości roczne jak i roczną średnią prędkości wiatru w Polsce.

	WARTOŚĆ MIN	WARTOŚĆ MAX	WARTOŚĆ ŚR
	(m/s)	(m/s)	(m/s)
WIOSNA	1,42	11,69	3,32
LATO	0,89	8,47	2,62
JESIEŃ	1,08	13,18	3,26
ZIMA	1,27	15,05	3,76
ROK	0,89	15,05	3,24

5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przeciętna elektrownia wiatrowa potrzebuje zasilania wiatrem o prędkości minimum 2,5-3 m/s, jednak najkorzystniejsze prędkości wyrażone są w przedziale 6-8 m/s. W tym miejscu trzeba podkreślić, że zbyt duża prędkość wiatru, tj. powyżej 25 m/s, wbrew pozorom wcale nie jest korzystna, ponieważ jeśli wiatr wieje zbyt silnie, wiatrak wyłącza się i ustawia łopaty w pozycji zapewniającej minimalny opór względem powietrza.

Warunki wietrzności dla celów energetycznych w Polsce określa się jako średnie, ale na tyle duże, że stanowią potencjalnie wydajne źródło energii odnawialnej. Dla całego kraju średnioroczne prędkości wiatru wahają się od 2,6 m/s do 3,8 m/s.

Najbardziej atrakcyjne tereny pod lokalizację elektrowni wiatrowej pod względem średnich rocznych prędkości wiatru to:

- wybrzeże Morza Bałtyckiego, a dokładnie Wybrzeże Słowińskie i Pobrzeże Gdańskie;
- region wyspy Uznam i Wolin (Pobrzeże Szczecińskie);
- Suwalszczyzna;
- Mazowsze i środkowa część Pojezierza Wielkopolskiego;
- Beskid Śląski i Żywiecki i Bieszczady;
- Dolina Sanu od granic państwa po Sandomierz (Kotlina Sandomierska).



Oprócz wyróżnionych wyżej obszarów można wyróżnić mniejsze obszary kraju, gdzie panują lokalne warunki klimatyczne i terenowe, szczególnie sprzyjające rozwojowi energetyki wiatrowej:

- Okolice Kielc (Wyżyna Kielecko- Sandomierska);
- Wyżyna Krakowsko- Częstochowska;
- Wschodnia część Pogórza Sudeckiego (Wyżyna Śląska);
- Wyżyna Lubelska.

Zagadnienie wietrzności można także analizować poprzez długość cisz energetycznych. Mianem takim określa się okres, w którym prędkość wiatru nie przekracza 3 m/s. Im w skali roku mniej dni o charakterze ciszy energetycznej, tym większa sprawność elektrowni.

Obszary o mniej korzystnych warunkach wietrzności charakteryzujące się znacznym udziałem cisz energetycznych:

- Pojezierze Drawskie;
- Nizina Podlaska.

Obejmują one swoim zasięgiem również część Polski położoną powyżej 300 m n.p.m., zwłaszcza obniżenia terenu, które znajdują się w cieniu aerodynamicznym otaczających je wysoczyzn:

- Rostocze;
- Obszary wyżyn z wyłączeniem terenów, gdzie panują lokalnie dogodne warunki.

Dodatkowo do obszarów o niekorzystnej charakterystyce należy zaliczyć kotliny śródgórskie:

- Jeleniogórska;
- Nowosądecką;
- Tarnowską;
- Raciborską.

Rozkład wietrzności Polski związany jest przede wszystkim ukształtowaniem terenu (wyżyny, niziny, kotliny, góry), a także wpływem akwenu Morza Bałtyckiego, co powoduje powstawanie tzw. lokalnych wiatrów.



Jak widać na wcześniej przedstawionych mapach prędkość wiatru podlega również zmiennością sezonowym, z których można zaobserwować następujące prawidłowości:

- zimą prędkości wiatru są największe, zarówno w pasmach górskich jak i Pobrzeżu Słowińskim osiągając średnio 3,76 m/s, co spowodowane jest spadkiem temperatury, która wpływa na wzrost energii kinetycznej wiatru;
 - najmniejsze wartości siły wiatru notuje się w kwartale letnim, średnio 2,62 m/s, gdyż wraz ze wzrostem temperatury energia kinetyczna wiatru zmniejsza się;
 - w I i III kwartale wyróżnia się podobną prędkość wiatru, jednak różnią się one między sobą lokalnie, ponieważ cechą charakterystyczną energii wiatrowej jest jej duża zmienność o charakterze stochastycznym (zmiennym losowym), nie tylko w przestrzeni, ale również w czasie;
 - do parametrów o charakterze stochastycznym można zaliczyć wartość:
 - temperatury;
 - wilgotności względnej powietrza;
 - ciśnienia atmosferycznego;
 - chwilowej prędkości wiatru;
 - kierunku strumienia powietrza.
 - do parametrów związanych bezpośrednio z lokalizacją turbiny wiatrowej, których wartości są stałe w długim okresie czasu, można zaliczyć:
 - wysokość nad poziomem morza;
 - lokalizacja gondoli;
 - chropowatość terenu.
 - najbardziej wietrznymi regionami Polski są obszary górskie, wybrzeże i jej północno-wschodnie tereny, co związane jest z różnicą ciśnienia atmosferycznego;
 - wysokie wartości dla prędkości wiatru notuje się w centralnej Polsce, co spowodowane jest brakiem naturalnych barier hamujących prędkość, ponieważ obszar ten położony jest na Niżu Europejskim i w/w parametrami;
 - najmniej korzystne warunki wietrzne kształtują się u podnóży gór i tam osiągnięta jest najmniejsza prędkość wiatru (ponieważ najczęstszymi wiatrami wiejącymi w Polsce są masy powietrza z kierunku zachodniego, więc są one osłabiana przez masywy górskie Sudetów i Karpat), w północno-zachodniej części Polski oraz na wschodniej granicy kraju (rejonu charakteryzujące się znaczną lesistością)
6. największe prędkości wiatru notowano w każdej porze roku na Kasprowym Wierchu i



Śnieżce, co związane jest z obecnością tzw. wiatru fenowego. Mimo iż są to tereny mające bardzo korzystne warunki wietrzności, to ze względu na utrudnioną dostępność do infrastruktury komunikacyjnej, jak i przesyłowej oraz prawną ochronę środowiska i krajobrazu uniemożliwia to rozwój tej gałęzi energetyki w tym regionie.

7. BIBLIOGRAFIA

- Boczar T.: Wykorzystanie energii wiatru, Wydawnictwo PAK, Gliwice, 2010;
- Burton T., Sharpe D., Jenkins N., Bossanyi E.: Wind energy: handbook. John Wiley & Sons Ltd, New York, 2009;
- Klugmann- Radziemska E., *Odnawialne źródła energii- przykłady obliczeniowe*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk, 2006;
- Lubośny Z.: Farmy wiatrowe w systemie elektroenergetycznym, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2009;
- Nalepa K., Miąskowski W., Pietkiewicz P., Piechocki J., Bogacz P., *Poradnik małej energetyki wiatrowej*, Olsztyn, 2011;
- Radziejewicz W., *Produkcja energii elektrycznej w elektrowni wiatrowej w zależności od potencjału wiatru na różnych wysokościach*, 2008;
- Stryjecki M. i Mielniczuk K.: *Wytyczne w zakresie prognozowania oddziaływań na środowisko farm wiatrowych*; Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska; Warszawa 2011;
- Synowski R., *Pomiary wiatru*, Akademia Wiatru;
- Szczyrba T., Boczar T., *Badanie efektywności turbin wiatrowych dużej mocy*, 2013;

Strony internetowe:

- www.acce.apsl.edu.pl;
- www.inwestycjawkologii.pl;
- www.ioze.pl;
- www.lubiewiatraki.pl;
- www.pgeeo.pl;
- www.rp.pl/galeria/706160,2,441110.html;
- www.ure.gov.pl;
- www.zasoby1.open.agh.edu.pl;
- www.zielonaenergia.eco.pl;