

INSTYTUT METEOROLOGII I GOSPODARKI WODNEJ

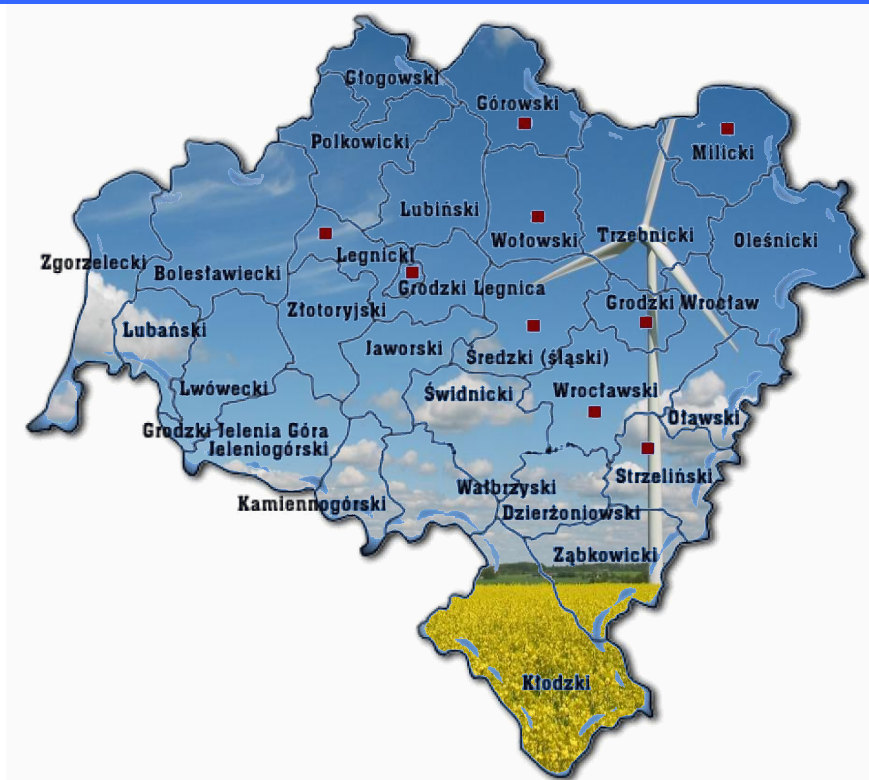
01-673 Warszawa ul. Podleśna 61

ODDZIAŁ WE WROCŁAWIU

ul. Parkowa 30, 51-616 Wrocław

tel. (071) 32 00 100

Zakład Badań Regionalnych



**OCENA WARUNKÓW ŚRODOWISKOWYCH WOJEWÓDZTWA  
DOLNOŚLĄSKIEGO W ASPEKcie ICH WYKORZYSTANIA DLA  
POTRZEB ENERGETYKI WIATROWEJ**

Kierownik Zakładu

Dyrektor Oddziału we Wrocławiu

dr inż. Mariusz Adynkiewicz – Piragas

dr inż. Ryszard Kosierb



Zlecniodawca:

**Wojewódzkie Biuro Urbanistyczne we Wrocławiu**

Wrocław, lipiec 2009 r.

INSTYTUT METEOROLOGII I GOSPODARKI WODNEJ  
01-673 Warszawa ul. Podleśna 61

ODDZIAŁ WE WROCŁAWIU  
ul. Parkowa 30, 51-616 Wrocław  
tel. (071) 32 00 100



## *RAPORT*

# **OCENA WARUNKÓW ŚRODOWISKOWYCH WOJEWÓDZTWA DOLNOŚLĄSKIEGO W ASPEKCIE ICH WYKORZYSTANIA DLA POTRZEB ENERGETYKI WIATROWEJ**

Autorzy opracowania:

Mgr Andrzej Dancewicz  
Dr Irena Otop  
Dr inż. Wiwiana Szalińska

Wrocław, lipiec 2009 r.

## **1. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA WARUNKÓW PRZYRODNICZYCH WOJEWÓDZTWA DOLNOŚLĄSKIEGO**

Obszar województwa dolnośląskiego charakteryzuje się znacznym zróżnicowaniem warunków przyrodniczych. Zróżnicowanie fizjograficzne wynika z położenia Dolnego Śląska na pograniczu dwóch prowincji fizycznogeograficznych Europy: Niżu Środkowoeuropejskiego oraz Masywu Czeskiego. Obszar województwa dolnośląskiego według regionalizacji J. Kondrackiego [1988] położony jest w obrębie pięciu makroregionów fizycznogeograficznych Niżu Środkowoeuropejskiego: Niziny Południowowielkopolskiej, Obniżenia Milicko-Głogowskiego, Wału Trzebnickiego, Niziny Śląskiej i Niziny Śląsko-Łużyckiej oraz pięciu makroregionów Masywu Czeskiego: Przedgórze Sudeckiego, Pogórze Zachodniosudeckiego, Sudetów Zachodnich, Sudetów Środkowych i Sudetów Wschodnich (Rys. 1.1).

Znaczne zróżnicowanie fizjograficzne znajduje odzwierciedlenie w wyraźnie zaznaczającym się strefowym układzie krajobrazu Dolnego Śląska. Na obszarze województwa dolnośląskiego, w układzie z południa na północ, P. Migoń [2005] wyróżnia następujące strefy krajobrazu: (1) Sudety wraz z pogórzami, reprezentujące typ gór średnich, (2) Przedgórze Sudeckie, łączące cechy rzeźby gór średnich i wyżyn, (3) równiny Niziny Śląskiej na wschodzie i Niziny Śląsko-Łużyckiej na zachodzie o cechach rzeźby staroglacjalnej, (4) pas wzgórz morenowych Wału Trzebnickiego oraz (5) nizinne Obniżenie Milicko-Głogowskie o charakterze częściowo pradolinny. Wszystkie wyróżnione strefy różnią się nie tylko rzeźbą, ale również budową geologiczną, cechami klimatu, siecią rzeczną oraz przyrodą ożywioną.

Sudety są typowymi górami średnimi o budowie zrębowej. Znaczne zróżnicowanie budowy geologicznej i obecność licznych uskoków sprawiły, że górotwór sudecki składa się z wielu pasm i masywów górskich, oddzielonych kotlinami i zapadliskami o różnej genezie. Przedgórze Sudeckie to przylegający do Sudetów od północnego-wschodu pas izolowanych wzniesień i grzbietów, oddzielony od gór progiem pochodzenia tektonicznego. Pogórze Zachodniosudeckie na zachodzie oraz Przedgórze Sudeckie na wschodzie przechodzi w pas nizin o równinnej, monotonnej rzeźbie i wysokościach 100-200 m n.p.m., które od północy ograniczone są pasem wzgórz morenowych Wału Trzebnickiego. W części wschodniej osią tej nizinnej strefy jest dolina Odry. Wał Trzebnicki to wyraźnie

wyodrębniający się pas wzniesień przekraczających 200 m n.p.m i 100 m wysokości względnej [Migoń, 2005].

Prawie cały obszar województwa dolnośląskiego położony jest w dorzeczu środkowej Odry, jedynie niewielka część Sudetów należy do dorzecza Łaby. Najważniejsze rzeki województwa to Odra i jej dopływy: Nysa Kłodzka, Oława, Ślęza, Bystrzyca, Widawa, Kaczawa, Barycz, Bóbr i Nysa Łużycka.

Najwyższym punktem województwa dolnośląskiego jest Śnieżka 1602 m n.p.m., a w dolinie Odry (koło Głogowa) teren obniża się do ok. 70 m n.p.m.

Klimat jest jednym z głównych elementów środowiska przyrodniczego. Warunki klimatyczne województwa dolnośląskiego kształtowane są przede wszystkim przez czynniki geograficzne, radiacyjne i cyrkulacyjne. Na klimat województwa dolnośląskiego, tak jak całej Polski, mają wpływ takie czynniki geograficzne jak: ukształtowanie powierzchni, wysokość nad poziomem morza, odległość od Oceanu Atlantyckiego i Morza Bałtyckiego. Ważnym czynnikiem klimatotwórczym jest także rodzaj pokrycia terenu, które decyduje o zróżnicowaniu warunków pogodowych w skali topoklimatycznej.

Czynnikiem determinującym kształtowanie parametrów meteorologicznych oraz głównym źródłem energii procesów zachodzących w atmosferze i na powierzchni ziemi jest promieniowanie słoneczne. Dopływ promieniowania słonecznego do powierzchni ziemi jest uzależniony od: szerokości geograficznej (wraz z szerokością geograficzną zmienia się długość dnia i kąt padania promieni słonecznych) oraz zachmurzenia i przejrzystości atmosfery. W przypadku województwa dolnośląskiego wpływ szerokości geograficznej jest nieznaczny, z uwagi na niewielką rozciągłość południkowa województwa, co powoduje stosunkowo małe zróżnicowanie wielkości dopływu promieniowania słonecznego. Natomiast najważniejszym czynnikiem różnicującym dopływ promieniowania słonecznego jest zachmurzenie. Suma roczna usłonecznienia, rozumiana jako czas, w którym do powierzchni ziemi dociera promieniowanie bezpośrednie, wynosi we Wrocławiu oraz podobnie na całej Nizinie Śląskiej około 1500 godzin [Dubicki i in., 2002]. Natomiast w Sudetach sumy usłonecznienia zmniejszają się wraz ze wzrostem wysokości, osiągając na Śnieżce 1356 godzin, co jest regionalnym minimum [Głowicki, 1995].

Na warunki klimatyczne Dolnego Śląska tak jak całej Polski, w znacznym stopniu wywierają wpływ napływające masy powietrza. Położenie geograficzne w strefie umiarkowanej decyduje o dużej zmienności warunków pogodowych oraz

przewadze adwekcji mas powietrza z sektora zachodniego (SW+W+NW). Z tego sektora ma miejsce w 47 % przypadków przemieszczanie się powietrza nad Dolnym Śląskiem [Głowicki i in., 2004].

Obszar Polski i Dolnego Śląska znajduje się w zasięgu napływu trzech mas powietrza: polarnej, które dominuje w ciągu całego roku oraz arktycznej i zwrotnikowej. Napływające masy powietrza odznaczają się określonymi właściwościami termiczno-wilgotnościowymi, związanymi z obszarami źródłowymi. Częste wędrówki mas powietrza powodują dużą zmienność typów pogody, a klimatowi nadają charakter przejściowy, posiadający zarówno cechy klimatu morskiego, jak i kontynentalnego.

Najczęściej nad obszar Polski i Dolnego Śląska napływają masy powietrza polarno-morskiego o znacznym stopniu przetransformowania. Powietrze polarno-morskie w czasie przemieszczania się z zachodu na wschód nad obszarem Europy przejmuje coraz więcej cech fizycznych od podłoża lądowego. Średnio w roku, z częstością około 16%, napływają masy powietrza polarno-morskiego, określane jako świeże, a frekwencja mas powietrza polarno-morskiego o znacznym stopniu przetransformowania wynosi około 49%. Zimą powietrze polarno-morskie powoduje ocieplenie, wzrost zachmurzenia oraz opady, a latem ochłodzenie i występowanie opadów. Masy powietrza polarno-kontynentalnego napływające z sektora wschodniego, znad Europy Wschodniej i kontynentu azjatyckiego, występują z częstością około 30% dni w roku. Zimą adwekcje tych mas powietrza powodują znaczne spadki temperatury, a latem pogodę słoneczną i suchą. Masy powietrza arktycznego, które napływają z częstością około 4% w roku powodują znaczne ochłodzenie i silne mrozy zimą oraz występowania późnych przymrozków wiosennych oraz wczesnych przymrozków jesiennych. Najrzadziej, bo przez około 2% dni w roku, napływają masy powietrza zwrotnikowego, które powodują gwałtowne ocieplenia zimą oraz fale upałów latem [Woś, 1999].

Istotny wpływ na zróżnicowanie warunków klimatycznych Dolnego Śląska wywiera urozmaicona rzeźba terenu, a zwłaszcza wysokość bezwzględna oraz cechy morfometryczne rzeźby: jak nachylenie i ekspozycja. W obszarach górskich zróżnicowanie klimatu przejawia się występowaniem pięter klimatycznych. Charakterystyczną cechą piętrowego układu warunków klimatycznych jest postępujący z wysokością spadek temperatury powietrza, któremu towarzyszą

zmiany wysokościowe innych elementów klimatu oraz zróżnicowanie zależnych od nich elementów środowiska przyrodniczego, a przede wszystkim szaty roślinnej.

Na Dolnym Śląsku średnia roczna temperatura powietrza obniża się przeciętnie o  $0,55^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ , a pionowy gradient opadów rocznych wyznaczony z okresu 1971-2000 wynosi  $66\text{mm}/100\text{m}$ . Odpowiednio wzrasta także liczba dni z opadem, średnio o  $5,9\text{ dni}/100\text{m}$  [Głowicki i in., 2004].

W Sudetach A. Schmuck [1960] wydzielił pięć regionów klimatycznych z piętrowym układem stref termiczno-opadowych (Rys. 1.2). Wydzielone piętra klimatycznych położone są w następujących strefach wysokościowych Sudetów:

- piętro a – ciepłe (do 400-450 m n.p.m.)
- piętro b – umiarkowanie ciepłe (od 400-450 do 600 m n.p.m.)
- piętro c – umiarkowanie chłodne (od 600 do 800 m n.p.m.)
- piętro d – chłodne (od 800 do 1000 m n.p.m.)
- piętro e – bardzo chłodne (powyżej 1000 m n.p.m.)

Natomiast obszar nizinny województwa dolnośląskiego, według regionalizacji klimatycznej Polski A. Wosia [1999], położony jest w obrębie trzech regionów: Południowowielkopolskiego, Dolnośląskiego Zachodniego i Dolnośląskiego Środkowego (Rys. 1.2). Region Południowowielkopolski obejmuje Wał Trzebnicki, Obniżenie Milicko-Głogowskie i Nizinę Południowowielkopolską. Najczęściej w roku występuje tu pogoda umiarkowanie ciepła (132 dni) i pogoda bardzo ciepła (88 dni). Ponadto region ten wyróżnia się w stosunku do otaczających obszarów częstą pogodą umiarkowanie ciepłą, pochmurną, bez opadów (49 dni). Region Dolnośląski Zachodni obejmuje Nizinę Śląsko-Łużycką i północną część Pogórza Zachodniosudeckiego. Najczęściej w roku występuje tu pogoda umiarkowanie ciepła (138 dni) i pogoda bardzo ciepła (86 dni) oraz z dużym zachmurzeniem (51 dni). Region Dolnośląski Środkowy obejmuje Nizinę Śląską i Przedgórze Sudeckie. Posiada słabo wyrażoną granicę z regionem Południowowielkopolskim, która biegnie wzdłuż Wału Trzebnickiego. Natomiast wyraźnie zarysowuje się granica klimatyczna z Sudetami. Najczęściej w roku występuje tu pogoda umiarkowanie ciepła (131 dni), bardzo ciepła (87 dni) oraz przymrozkowa (83 dni) [Głowicki i in., 2004 za Woś, 1999].

Województwo dolnośląskie jest regionem o wysokich walorach przyrodniczych. Obecnie na terenie województwa ochronie podlega 360 919 ha, co stanowi ok. 18% powierzchni (Rys. 5.2). Parki narodowe i rezerваты, w których ochrona środowiska



naturalnego jest priorytetem stanowią ok. 1% powierzchni województwa. System ochrony przyrody tworzą obszary o zróżnicowanym statusie prawnym i różnych funkcjach. Są to [Rocznik Statystyczny, 2008]:

- 2 parki narodowe (Karkonoski Park Narodowy i Park Narodowy Gór Stołowych),
- 12 parków krajobrazowych,
- 66 rezerwatów przyrody,
- 17 obszarów chronionego krajobrazu,
- 153 użytki ekologiczne,
- 10 zespołów przyrodniczo – krajobrazowych,
- 2680 pomników przyrody
- oraz obszary Natura 2000,

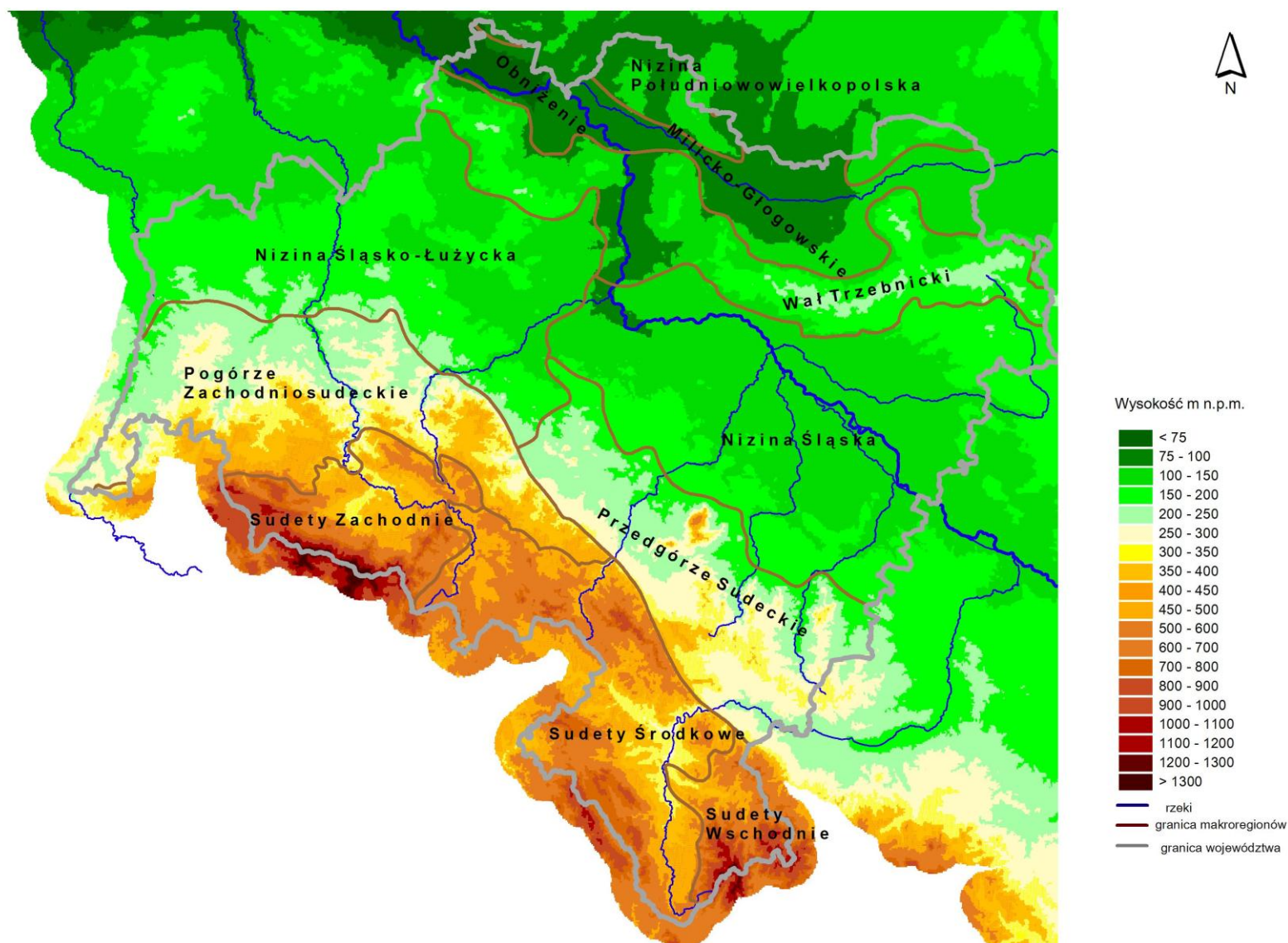
Natura 2000 to spójna Europejska Sieć Ekologiczna obejmująca:

- specjalne obszary ochrony (SOO) tworzone dla ochrony: siedlisk naturalnych i siedlisk gatunków roślin i zwierząt oraz
- obszary specjalnej ochrony (OSO) tworzone w ramach Dyrektywy Ptasiej dla ochrony siedlisk ptaków.

W województwie dolnośląskim, na mocy rozporządzenia Ministra Środowiska z dn. 14 lipca 2004 roku, utworzono 3 obszary specjalnej ochrony ptaków (OSO) na obszarze: Doliny Baryczy, Grądów Odrzańskich i Stawów Przemkowskich.

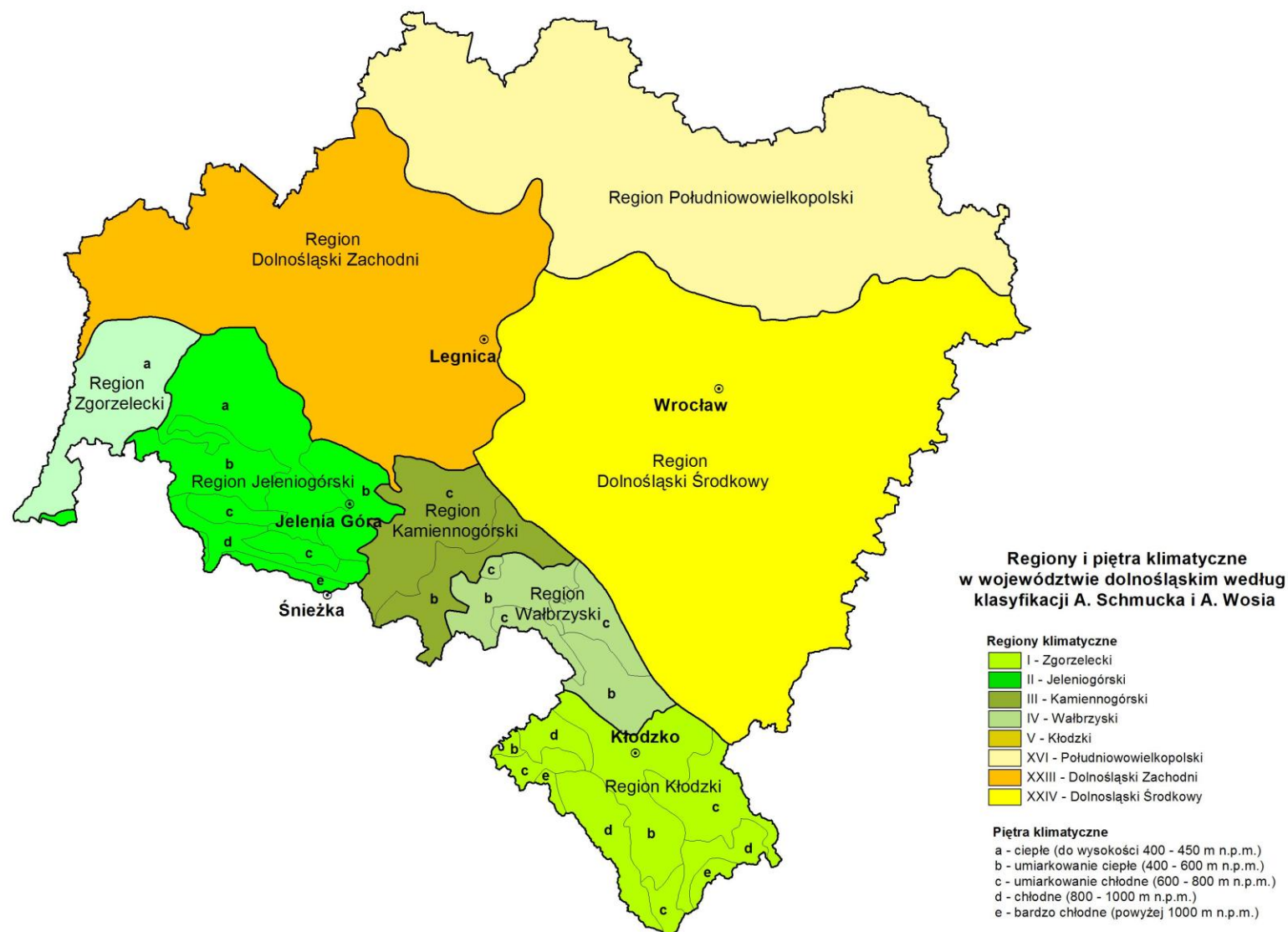
Lasy w województwie dolnośląskim zajmują powierzchnię 603 801 ha, wskaźnik lesistości wynosi ok. 30% i jest zbliżony do średniej dla Polski [Rocznik Statystyczny, 2008].





Rys. 1.1. Makroregiony fizycznogeograficzne w woj. dolnośląskim wg regionalizacji J. Kondrackiego [1988] [Źródło: Opracowanie własne]





Rys. 1.2. Regiony i piętra klimatyczne w woj. dolnośląskim [Źródło: Głowicki i in., 2004]

## **2. SIĘĆ POMIAROWO-OBSERWACYJNA I METODYKA POMIARÓW WIATRU**



O typie klimatu decyduje zespół elementów, z których do najistotniejszych należą: ciśnienie atmosferyczne, temperatura powietrza, kierunek i prędkość wiatru, wilgotność, zachmurzenie, opady atmosferyczne i uśłonecznienie. Wśród nich największe znaczenie dla rozwoju energetyki wiatrowej mają warunki anemometryczne.

Wiatr to poziomy ruch powietrza względem powierzchni Ziemi, spowodowany różnicą ciśnienia atmosferycznego. Określa się dwie jego cechy, prędkość i kierunek.

Prędkość wiatru definiuje drogę, jaką w jednostce czasu powietrze przebywa względem przyrządu pomiarowego i wyraża się ją w metrach na sekundę (m/s). Ze względu na to, że prędkość wiatru ulega szybkim zmianom w czasie, określa się średnią prędkość wiatru w danym przedziale czasu oraz porywy wiatru. Zgodnie z zaleceniami Światowej Organizacji Meteorologicznej (WMO), prędkość wiatru uśredniana jest za okres 10 min przed terminem obserwacji. Jako poryw wiatru

przyjmuje się chwilowy przyrost prędkości wiatru przewyższający, o co najmniej 5 m/s średnią prędkość wiatru z okresu 10-minutowego i trwający nie dłużej niż 2-minuty. Brak ruchu powietrza, gdy prędkość wiatru jest mniejsza niż 0,4 m/s określany jest mianem ciszy.

Kierunek wiatru wyrażany jest w stopniach, mierzonych od kierunku północy geograficznej zgodnie z kierunkiem ruchu wskazówek zegara lub z zastosowaniem oznaczeń geograficznych stron świata.

Instrumentalne pomiary prędkości i kierunku wiatru realizowane są za pomocą anemometrów różniących się między sobą metodyką pomiaru, czułością oraz zakresem pomiarowym. Wymagana dokładność pomiaru prędkości wiatru wynosi 0.5-1 m/s a kierunku 5°.

Na reprezentatywność pomiarów wartości i kierunku wiatru przy powierzchni Ziemi wpływa szorstkość aerodynamiczna, typ powierzchni, otoczenie stacji pomiarowej oraz wysokość, na której wykonany jest pomiar. W celu uzyskania reprezentatywnych wartości, pomiar powinien być wykonywany nad płaskim otwartym terenem, dla którego odległość między przyrządem pomiarowym i jakąkolwiek przeszkodą jest przynajmniej 10 razy większa od wysokości przeszkody. Standardowa wysokość, na jakiej dokonuje się pomiaru wiatru przy powierzchni Ziemi wynosi co najmniej 10 m nad powierzchnią gruntu.

Główna sieć pomiarowo-obszernyjna parametrów meteorologicznych i hydrologicznych w Polsce została rozwinięta przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW). Pomiary prędkości i kierunków wiatru prowadzone są na stacjach meteorologicznych zgodnie z zaleceniami WMO. Program pomiarowy prędkości wiatru jest uzależniony od rzędu stacji. Podstawowym źródłem informacji jest zespół stacji synoptycznych stanowiących sieć meteorologiczną I i II rzędu. Na obszarze Dolnego Śląska zlokalizowanych jest 5 stacji synoptycznych I rzędu:

- Lotniskowa Stacja Meteorologiczna we Wrocławiu
- Wysokogórskie Obserwatorium Meteorologiczne im. Tadeusza Hołdysa na Śnieżce
- Stacja Hydrologiczno-Meteorologiczna w Jeleniej Górze
- Stacja Hydrologiczno-Meteorologiczna w Kłodzku
- Stacja Hydrologiczno-Meteorologiczna w Legnicy

Stacje synoptyczne przekazują dane w trybie operacyjnym, wyposażone są w aparaturę automatyczną i nieautomatyczną, na których pomiary oraz obserwacje są wykonywane, rejestrowane i przekazywane w ciągu całej doby w trybie godzinowym. Program pomiarowy realizowany na stacjach synoptycznych podlega określonym procedurom i w przypadku prędkości i kierunku wiatru rejestrowana jest średnia prędkość i kierunek wiatru oraz porywy. Odczyt prędkości i kierunku wiatru dla danej godziny jest uśredniany za okres 10 minut. Zgodnie z zaleceniami WMO archiwizowane są dane dla 8 głównych terminów obserwacyjnych o godz.: 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21 UTC.

III rząd sieci meteorologicznej to stacje klimatologiczne wykonujące terminowe pomiary i obserwacje przy wykorzystaniu aparatury standardowej i automatycznej. Na obszarze Dolnego Śląska funkcjonują 4 takie stacje realizujące pomiar prędkości i kierunku wiatru: Długopole Zdrój, Polkowice Dolne, Szklarska Poręba i Zgorzelec, który od 1/01/2008 roku Zgorzelec jest stacją pomiarową I rzędu.

Również na wybranych stacjach klimatologicznych IV rzędu wykonywane i rejestrowane są terminowe pomiary prędkości i kierunku wiatru. Na obszarze Dolnego Śląska jest to Świeradów Zdrój i Karpacz. Standardowo na stacjach klimatycznych wykonywane i rejestrowane są pomiary o godzinie 06, 12 i 18 UTC.

Ponadto na obszarze Dolnego Śląska od roku 2003 funkcjonuje w ramach sieci pomiarowo-obserwacyjnej 14 automatycznych, telemetrycznych stacji klimatycznych wyposażonych w elektroniczne czujniki kierunku i prędkości wiatru zainstalowanych na stacjach klimatologicznych III i IV rzędu (Rys. 2.1.). Wyniki pomiarów rejestrowane są z rozdzielczością czasową 10 minut w postaci średniego 10-minutowego kierunku wiatru, średniej 10-minutowej prędkości wiatru oraz maksymalnej prędkości wiatru w ciągu ostatnich 10 minut. Prędkość wiatru mierzona jest z dokładnością  $\pm 0,1$  m/s przy maksymalnej mierzonej prędkości 65 m/s a próg czułości początkowej pomiaru wynosi poniżej 0,5 m/s. Kierunek wiatru wyrażony jako wartość od 0 do 360° mierzony jest z dokładnością  $\pm 5^\circ$ .

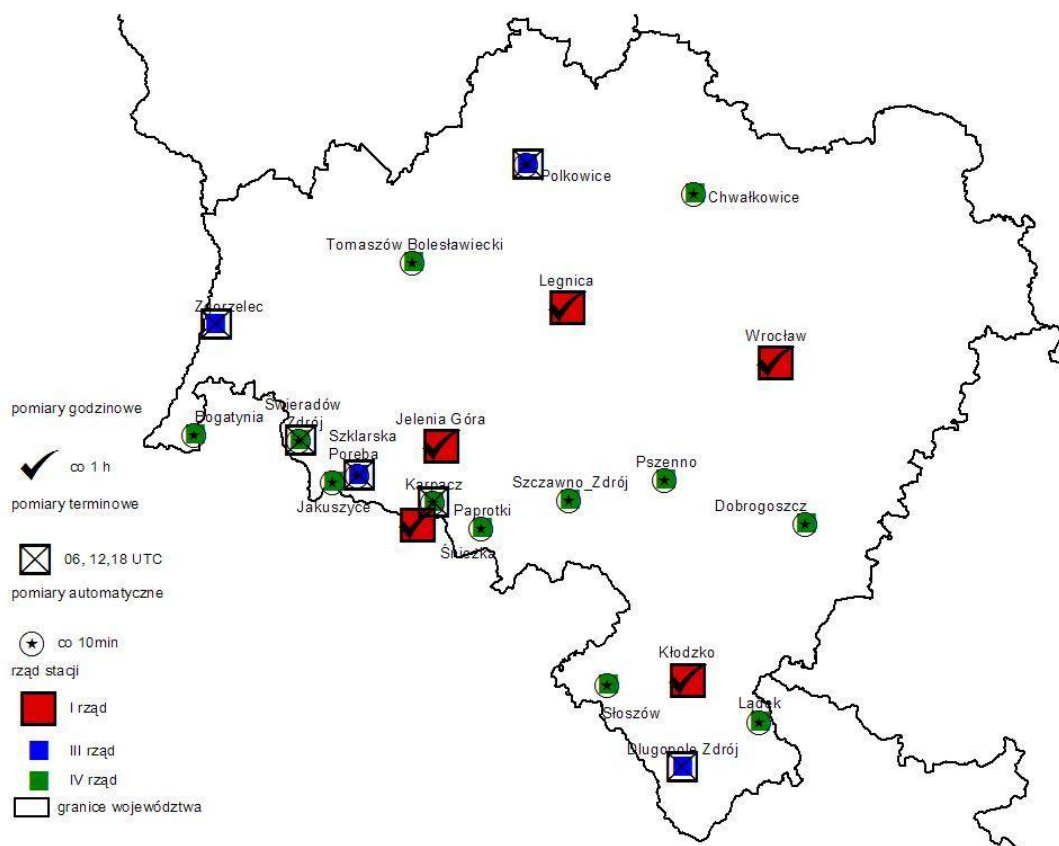
W tabeli 2.1. zestawiono wykaz stacji pomiarowych, na których aktualnie wykonywane są pomiary prędkości i kierunku wiatru w ramach sieci pomiarowo-obserwacyjnej IMGW.

Tabela 2.1. Wykaz stacji pomiarowych IMGW na obszarze Dolnego Śląska, na których wykonywane są pomiary prędkości i kierunku

nazwa stacji	rząd stacji	położenie			wys. anemo- metru [m]	dostępne pomiary		
		szer. geogr. [° , ']	dł. geogr. [° , ']	wys. [m n.p.m.]		cogodzinne 24 na dobę	terminowe 3 na dobę	z automatu co 10 minut
Bogatynia	IV	50 54	14 59	295	12			x
Chwałkowice	IV	51 27	16 37	175	11			x
Dobrogoszcz	IV	50 46	17 01	175	12			x
Długopole Zdrój	III	50 15	16 38	365	10		x	
Jakuszyce	IV	50 49	15 27	860	12			x
<b>Jelenia Góra</b>	I	50 54	15 48	341	16	x		
Karpacz	IV	50 47	15 47	575	12		x	x
<b>Kłodzko</b>	I	50 26	16 39	356	10	x		
Lądek Zdrój	IV	50 21	16 53	461	11			x
<b>Legnica</b>	I	51 12	16 12	122	12	x		
Paprotki	IV	50 44	15 57	535	12			x
Polkowice Dolne	III	51 30	16 03	165	12		x	x
Pszemno	IV	50 51	16 33	220	13			x
Słuszów	IV	50 25	16 23	555	13			x
Szczawno Zdrój	IV	50 48	16 14	420	13			x
Szklarska Poręba	III	50 50	15 32	645	10		x	x
<b>Śnieżka</b>	I	50 44	15 44	1603	6	x		
Świeradów Zdrój	IV	50 54	15 20	547	11		x	x
Tomaszów Bolesławiecki	IV	51 17	15 41	185	12			x
<b>Wrocław Strachowice</b>	I	51 06	16 54	120	12	x		
Zgorzelec*	III	51 08	15 02	205	12		x	

\* - od 1/01/2008 stacja pomiarowa I rzędu





Rys. 2.1. Rozmieszczenie stacji synoptycznych oraz klimatycznych IMGW, na których wykonywany jest pomiar prędkości i kierunku wiatru

### 3. KLIMATYCZNA CHARAKTERYSTYKA WARUNKÓW WIETRZNYCH NA DOLNYM ŚLĄSKU

Informacje o stosunkach wietrznych na obszarze Dolnego Śląska są dostępne w wielu publikacjach z zakresu klimatologii, wśród których na szczególną uwagę zasługują wydawnictwa o charakterze przeglądowym [Atlas Klimatyczny Polski, 1973; Atlas Śląska Dolnego i Opolskiego, 1997; Atlas Klimatu Polski, 2005; Głowicki i in, 2004]. Materiały te mają wysoką wartość merytoryczną, pozwalają na dokonanie oceny warunków wietrznych w skali regionalnej.

Przedmiotowe opracowanie obejmuje charakterystykę warunków wietrznych na obszarze Dolnego Śląska, z wykorzystaniem danych pomiarowo-obszaryjnych obejmujących 10-letni okres pomiarów 1996-2005. Podstawę opracowania stanowiły dane obserwacyjne z 8 pomiarów w ciągu doby (00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21 UTC), wykonywanych na 5 stacjach synoptycznych IMGW (Jelenia Góra, Kłodzko, Legnica, Wrocław i Śnieżka) oraz dane z 3 terminów pomiarowych (06, 12 i 18 UTC) ze stacji w Zgorzelcu. Materiały pomiarowe można uznać jako reprezentatywne do

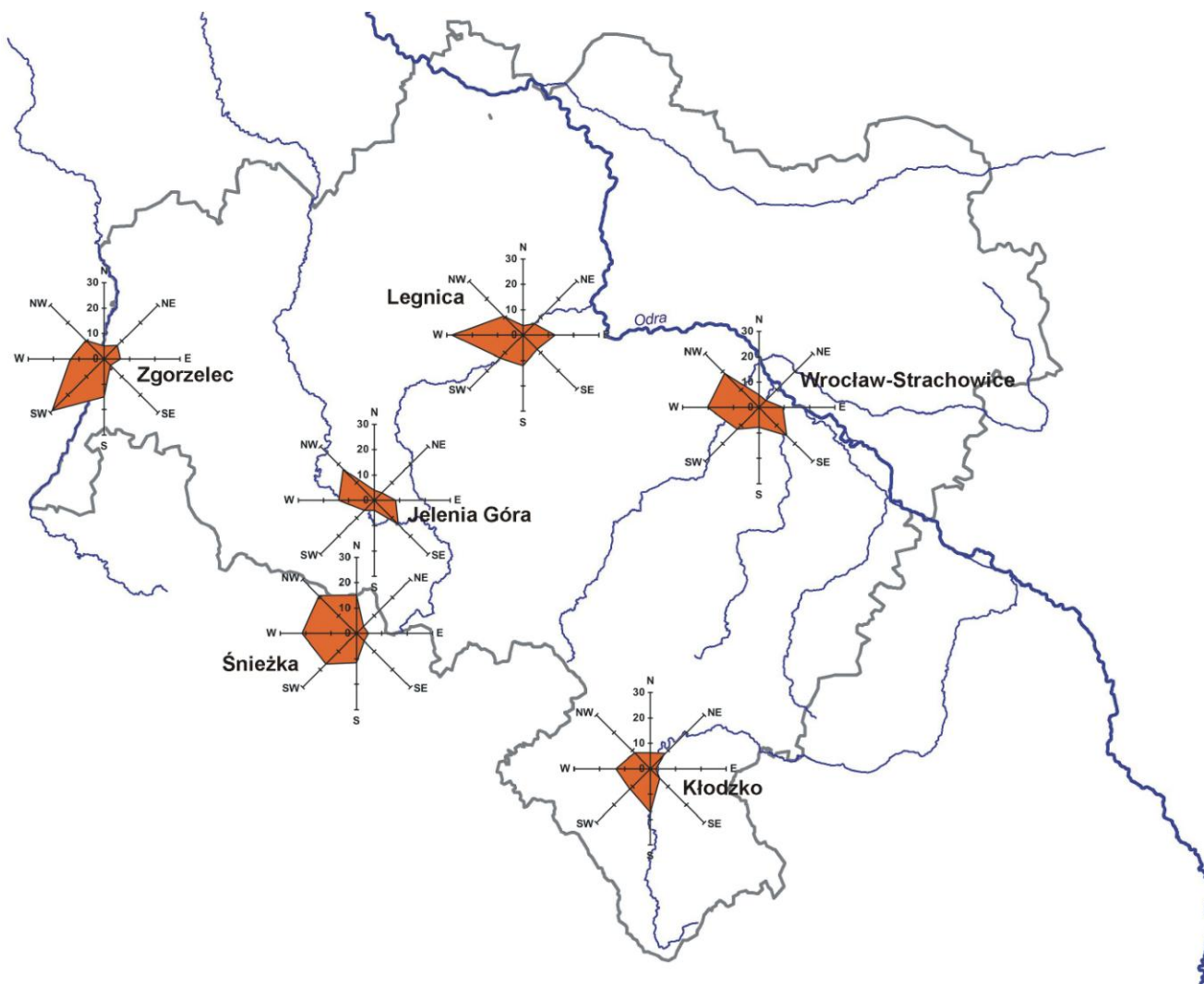
przeglądowej oceny pola wiatru w warstwie przyziemnej nad obszarem województwa dolnośląskiego. Wykorzystane w niniejszym studium materiały opracowane zostały zgodnie z metodyką stosowaną w meteorologii i klimatologii [Pruchnicki, 1987].

### **3.1. Rozkład kierunków wiatru na Dolnym Śląsku**

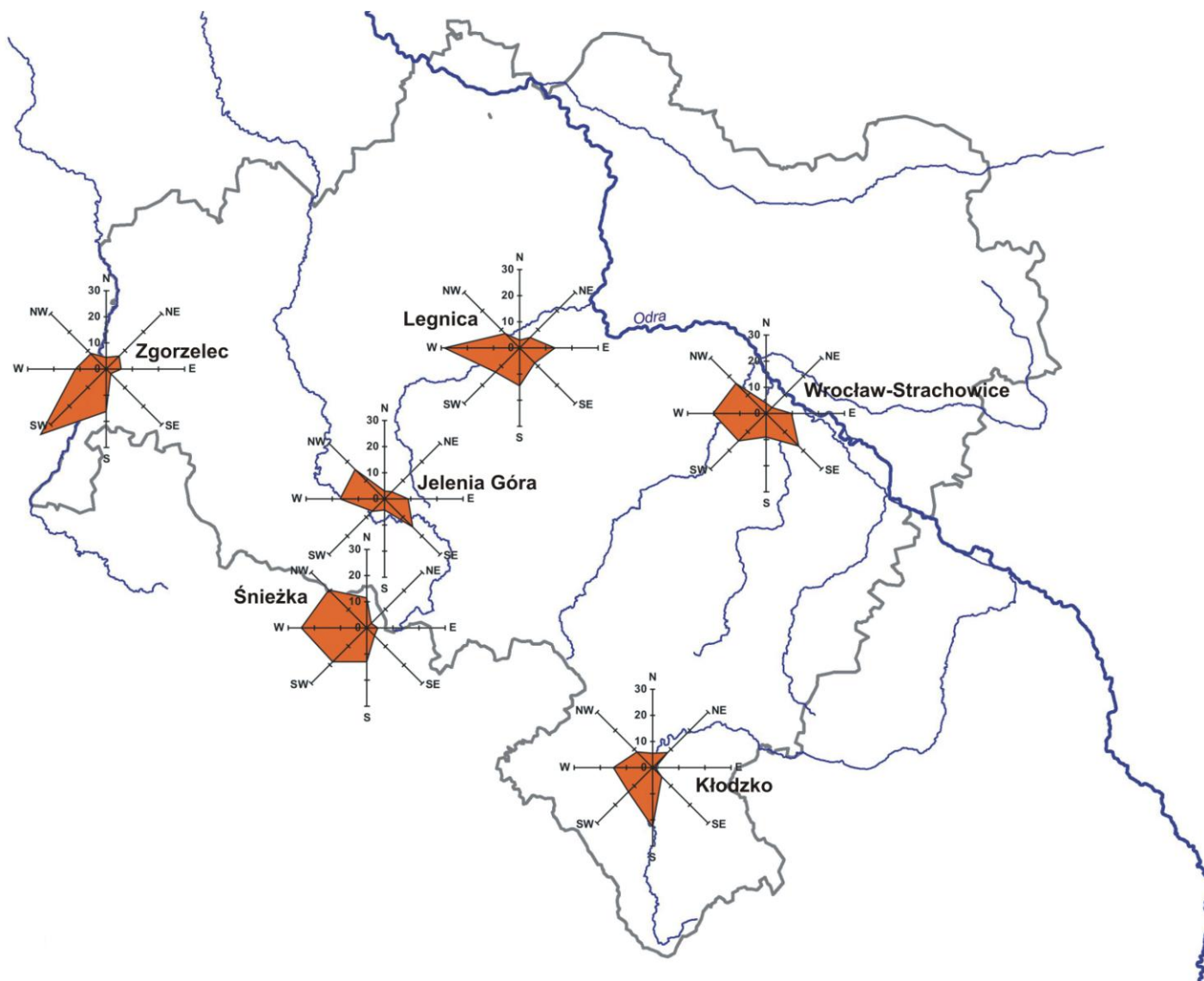
Rozkład kierunków wiatru na terenie Dolnego Śląska uwarunkowany jest ogólną cyrkulacją atmosfery, z dominacją napływu mas powietrza z sektora zachodniego. Jest to dość wyraźnie widoczne na przykładzie stacji zlokalizowanej na Śnieżce. Dla obszarów niżej położonych lokalne stosunki wietrzne, zarówno w zakresie rozkładu kierunków, jak i prędkości wiatru modyfikowane są silnym wpływem ukształtowania powierzchni terenu. Na kolejnych rysunkach (Rys. 3.1, 3.2, 3.3) zamieszczono róże wiatrów dla wybranych stacji, opracowane dla całego roku oraz dla okresów półrocznych – chłodnego (X-III) i ciepłego (IV-IX).

W badanym wieloleciu 1996-2005 dominujący i drugorzędny kierunek rocznej róży wiatrów zawiera się w sektorach od południowego do północno-zachodniego (Tabela 3.1, 3.2, 3.3). Występujące dla poszczególnych stacji zróżnicowanie kierunku dominującego i drugorzędnego uzależnione jest warunkami morfologicznymi regionu i miejscowej lokalizacji stacji meteorologicznej.

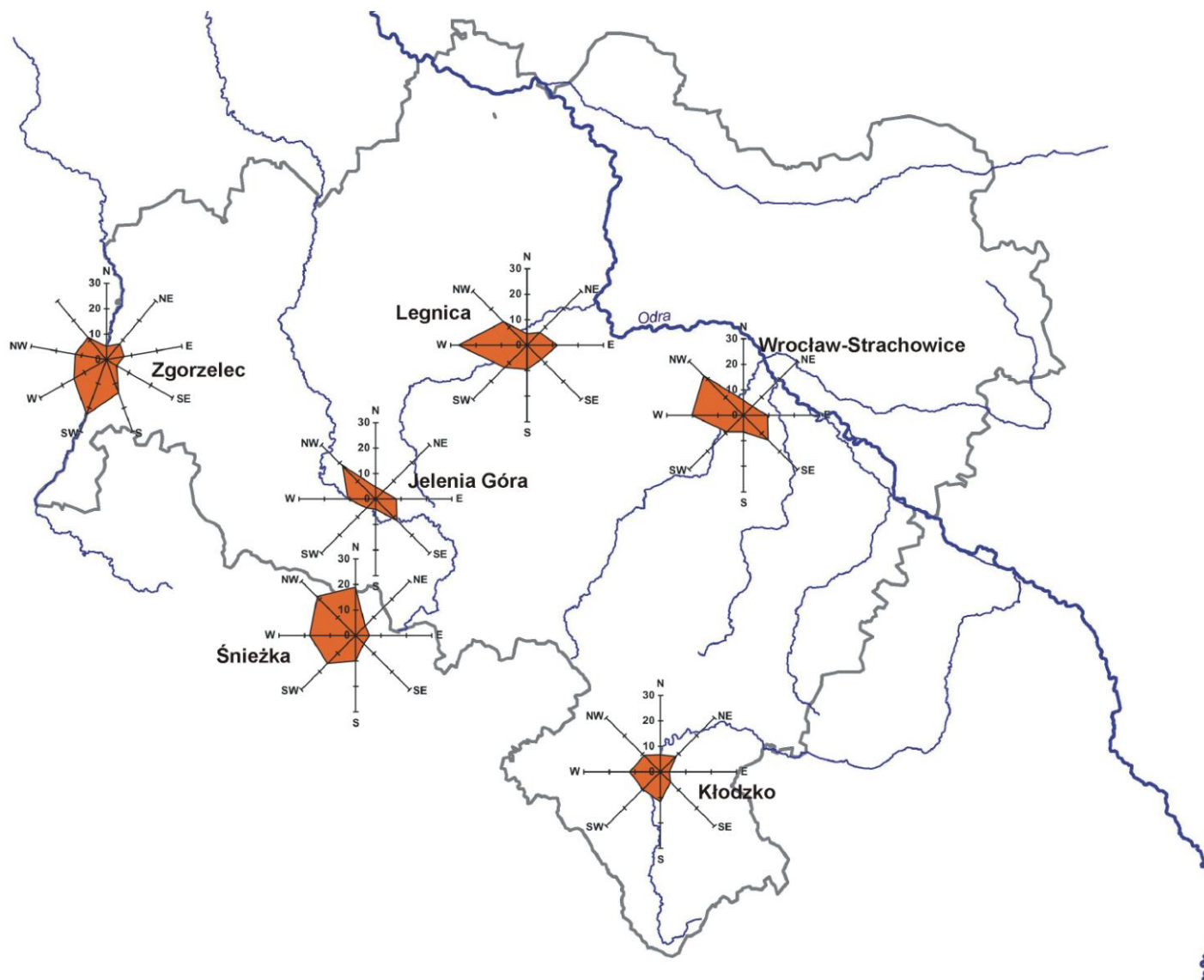
Udział dominującego kierunku w rocznej róży wiatrów zawiera się w zakresie od 17 do blisko 30%. Dla stacji położonych na nizinnej części Dolnego Śląska – Wrocław i Legnica oraz dla stacji wysokogórskiej (Śnieżka) dominującym jest kierunek zachodni, natomiast dla pozostałych stacji dominują kierunki: południowy, południowo-zachodni i północno-zachodni. Kierunek drugorzędny dla wszystkich stacji przypada na sektory od S do NW. Łączny udział obu kierunków wiatru dla roku wynosi od około 30 (Jelenia Góra i Kłodzko) do nieco poniżej 45% w Zgorzelcu. Niski udział najczęściej występujących kierunków wiatrów dla stacji położonych w kotlinach śródgórskich jest wynikiem zwiększonej frekwencji cisz atmosferycznych, osiągającej 27-29% w skali roku.



Rys. 3.1. Roczna częstość [%] kierunków wiatru w woj. dolnośląskim (1996-2005) [Źródło: Opracowanie własne]



Rys. 3.2. Częstość [%] kierunków wiatru w półroczu chłodnym (X-III) w woj. dolnośląskim (1996-2005) [Źródło: Opracowanie własne]



Rys. 3.3. Częstość [%] kierunków wiatru w półroczu ciepłym (IV-IX) w woj. dolnośląskim (1996-2005) [Źródło: Opracowanie własne]



**Tabela 3.1. Częstość [%] występowania dominujących i drugorzędnych kierunków wiatru dla obszaru Dolnego Śląska w latach 1996-2005 – wartości roczne**

lp.	stacja	kierunek dominujący	częstość [%]	kierunek drugorzędny	częstość [%]	kierunki łącznie	częstość [%]
1	Jelenia Góra	NW	17,2	W	13,9	NW + W	31,1
2	Kłodzko	S	17,2	W	13,5	S + W	30,7
3	Legnica	W	27,9	SW	12,7	W + SW	40,6
4	Śnieżka	W	21,5	NW	21,0	W + NW	42,5
5	Wrocław	W	20,3	NW	19,2	W + NW	39,5
6	Zgorzelec	SW	29,0	S	14,9	SW + S	43,9

**Tabela 3.2. Częstość [%] występowania dominujących i drugorzędnych kierunków wiatru dla obszaru Dolnego Śląska w latach 1996-2005 – wartości dla okresu X-III.**

lp.	stacja	kierunek dominujący	częstość [%]	kierunek drugorzędny	częstość [%]	kierunki łącznie	częstość [%]
1	Jelenia Góra	W	17,0	NW	15,9	W + NW	32,9
2	Kłodzko	S	22,7	W	15,0	S + W	37,5
3	Legnica	W	28,6	E	13,5	W + E	42,1
4	Śnieżka	W	25,0	NW	20,6	W + NW	45,6
5	Wrocław	W	20,3	SE	17,7	W + SE	38,0
6	Zgorzelec	SW	35,4	S	16,2	SW + S	51,6

**Tabela 3.3. Częstość [%] występowania dominujących i drugorzędnych kierunków wiatru dla obszaru Dolnego Śląska w latach 1996-2005 – wartości dla okresu IV-IX.**

lp.	stacja	kierunek dominujący	częstość [%]	kierunek drugorzędny	częstość [%]	kierunki łącznie	częstość [%]
1	Jelenia Góra	NW	18,6	W	10,9	NW + W	29,5
2	Kłodzko	W	12,1	S	11,6	W + S	23,7
3	Legnica	W	27,1	NW	13,1	W + NW	40,2
4	Śnieżka	NW	21,4	N	18,8	NW + N	40,2
5	Wrocław	NW	22,0	W	20,4	NW + W	42,4
6	Zgorzelec	SW	22,8	W	14,7	SW + W	37,5

Dla okresów półrocza chłodnego (X-III) i ciepłego (IV-IX) dla badanych stacji także bardzo wyraźny jest udział wiatru z sektorów od S do N. W półroczu chłodnym dla stacji nizinnych Dolnego Śląska zauważa się zwiększenie częstości występowania, jako drugorzędnego kierunku południowo-wschodniego (Wrocław) i wschodniego (Legnica). Łączny udział głównych kierunków wiatru w okresie X-III zawiera się od 33 do 52%, natomiast w okresie IV-IX od 24 do blisko 43%.

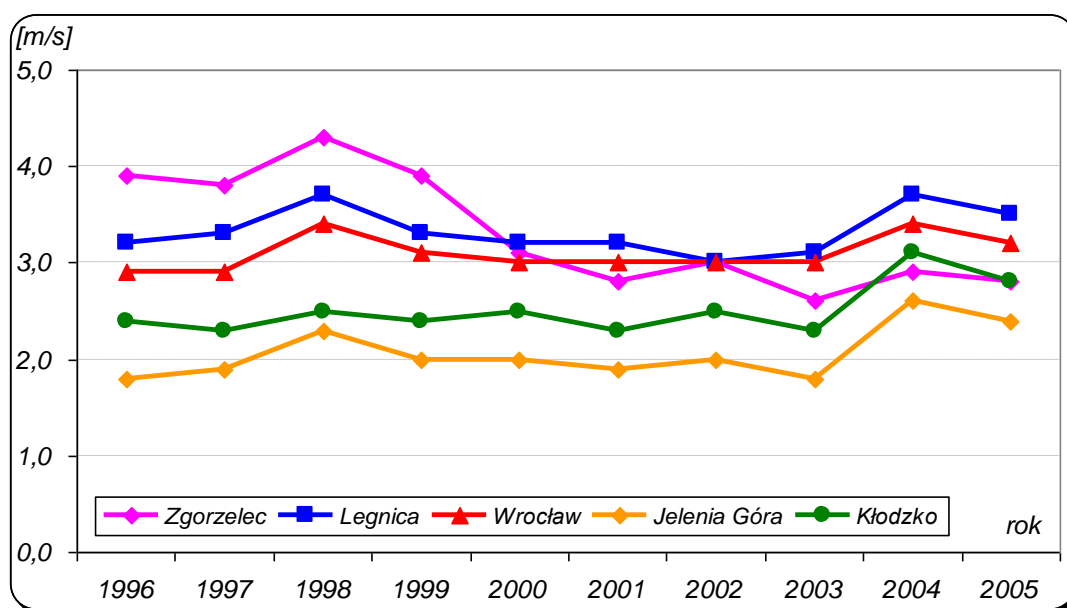
W półroczu chłodnym, obok przeważającego w regionie sudeckim kierunku W, notowane są często kierunki z sektora południowego. Wiatr o składowej południowej (SE+S+SW) stwarza potencjalne warunki do powstawania zjawisk fenowych (fenu), związanych z przepływem masy powietrznej przez niemal równoleżnikowo usytuowane masywy górskie Sudetów. Efektem procesu fenowego, zachodzącego podczas opadania masy powietrza po północnych (zawietrznych) zboczach Sudetów

jest jego adiabatyczne ogrzewanie się o  $1^{\circ}\text{C}$  na każde 100 m różnicy wysokości oraz spadek wilgotności względnej powietrza, wzrost prędkości i porywistości wiatru. Wystąpienie fenu identyfikuje się na podstawie kryterium prędkości i kierunku wiatru (SW, S i SE), zachmurzenia (wał fenowy, fala orograficzna) a także przebiegu efektów termicznych i wilgotnościowych [Głowicki i in., 2004 za Kwiatkowski, 1979].

### 3.2 Średnia roczna prędkość wiatru oraz częstość cisz atmosferycznych

Podstawową charakterystyką wiatru jest jego średnia prędkość za określoną jednostkę czasu (doba, rok). W przypadku wielkości rocznych parametr ten jest wypadkową wszystkich zanotowanych prędkości wiatru z uwzględnieniem występujących cisz atmosferycznych. Wyższy udział cisz atmosferycznych odzwierciedla się spadkiem średniej prędkości wiatru.

Dla badanych dolnośląskich stacji, z wyłączeniem Śnieżki, średnia roczna prędkość wiatru kształtuje się w zakresie  $2,1 \div 3,3$  m/s. W poszczególnych latach (1996-2005) najwyższa roczna prędkość wiatru wyniosła 4,3 m/s w Zgorzelcu (1998 r.), a najniższa 1,8 m/s w Jeleniej Górze (1996 i 2003 r.). Na Śnieżce średnia roczna prędkość w badanym okresie wyniosła 12,6 m/s, przy zakresie prędkości w poszczególnych latach od 11,3 do 14,5 m/s. Przebieg średnich rocznych prędkości wiatru w kolejnych latach okresu 1996-2005 zamieszczono na poniższym wykresie (Rys. 3.4 ).



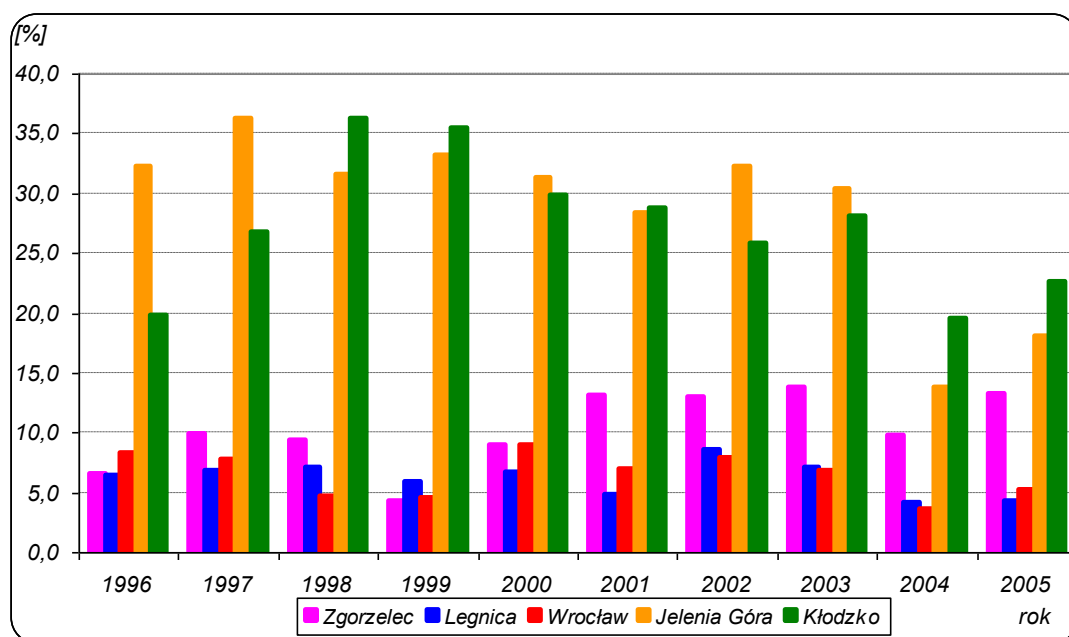
Rys. 3.4. Średnia roczna prędkość wiatru [m/s] w kolejnych latach okresu 1996-2005 dla wybranych stacji z obszaru Dolnego Śląska

W przypadku średnich prędkości wiatru występującego przy dominujących i drugorzędnych kierunkach, to z reguły są one wyższe niż średnie dla całego roku. Poza Śnieżką, średnie prędkości wiatru dla kierunku głównego wynoszą od 3,1 m/s w Jeleniej Górze (kierunek W) do 4,6 m/s w Legnicy (W) i Kłodzku (S).

**Tabela 3.4. Średnia prędkość wiatru [%] dla dominujących i drugorzędnych kierunków wiatru dla obszaru Dolnego Śląska w latach 1996-2005 – wartości roczne**

lp.	stacja	kierunek dominujący	prędkość średnia [ m/s]	kierunek drugorzędny	prędkość średnia [ m/s]
1	Jelenia Góra	NW	3,1	W	3,7
2	Kłodzko	S	4,6	W	4,0
3	Legnica	W	4,6	SW	3,6
4	Śnieżka	W	14,7	NW	14,1
5	Wrocław	W	3,8	NW	3,2
6	Zgorzelec	SW	4,1	S	3,5

Najwyższą częstością sytuacji bezwietrznych charakteryzują się, z racji swego ukształtowania morfologicznego, kotliny śródgórskie. W badanym wieloleciu na terenie najbardziej zacisznej Kotliny Jeleniogórskiej średnia roczna częstość cisz kształtowała się od około 14% do ponad 36%. Odpowiednio na terenach nizinnych częstość cisz wynosiła w Legnicy od 3,6% do 13,8%, czyli była 2 – 3 –krotnie niższa. Dla szczytowych partii gór okresy bezwietrzne nie przekraczają 2% w roku (od 0,3 do 1,7% na Śnieżce). Przebieg częstości cisz atmosferycznych w kolejnych latach badanego 10-lecia na obszarze Dolnego Śląska zamieszczono na Rys. 3.5.

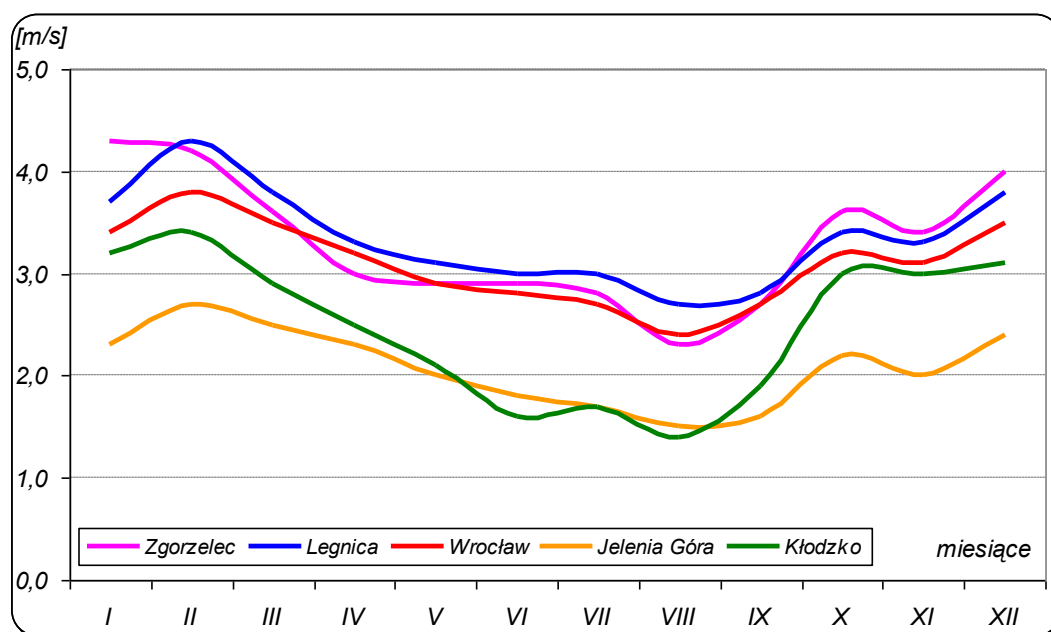


**Rys. 3.5. Średnia roczna częstość [%] cisz atmosferycznych w kolejnych latach okresu 1996-2005 dla wybranych stacji z obszaru Dolnego Śląska**

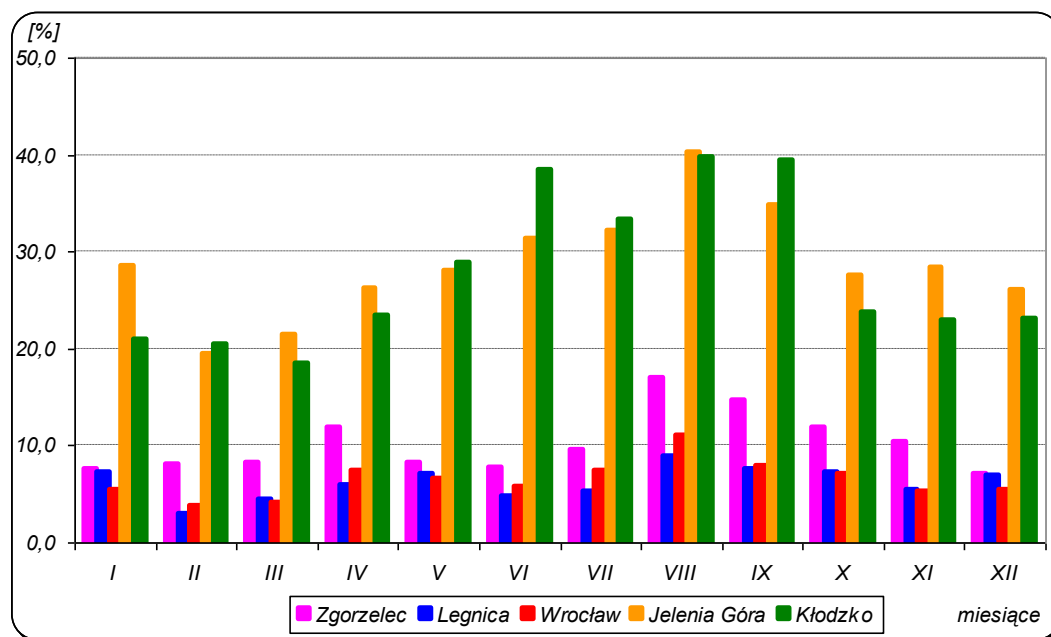
### 3.3. Średnia miesięczna prędkość wiatru oraz częstość cisz atmosferycznych

W przebiegu rocznym prędkość wiatru na Dolnym Śląsku podlega dość dużemu zróżnicowaniu (Rys. 3.6). Najwyższe prędkości średnie notowane są w chłodnej części roku z maksimum w styczniu i lutym, najniższe natomiast w sezonie letnim (VI-VIII). W poszczególnych miesiącach średnie miesięczne prędkości wiatru wynoszą od 1,4 m/s w Kłodzku (sierpień) do 4,3 m/s w Zgorzelcu (styczeń) i Legnicy (luty). Na Śnieżce najwyższa średnia prędkość wiatru w lutym przewyższa 17 m/s, zaś najniższa występuje w sierpniu – 8,9 m/s.

W przebiegu rocznym na obszarze Dolnego Śląska (Rys. 3.7) najwyższym udziałem bezwietrznych sytuacji pogodowych charakteryzuje się sezon letni, na terenach obniżeń śródgórskich częstość cisz w miesiącach letnich osiąga 40% (Jelenia Góra – 40,2% w sierpniu). Najniższy udział cisz występuje w lutym – Legnica (3,0%).



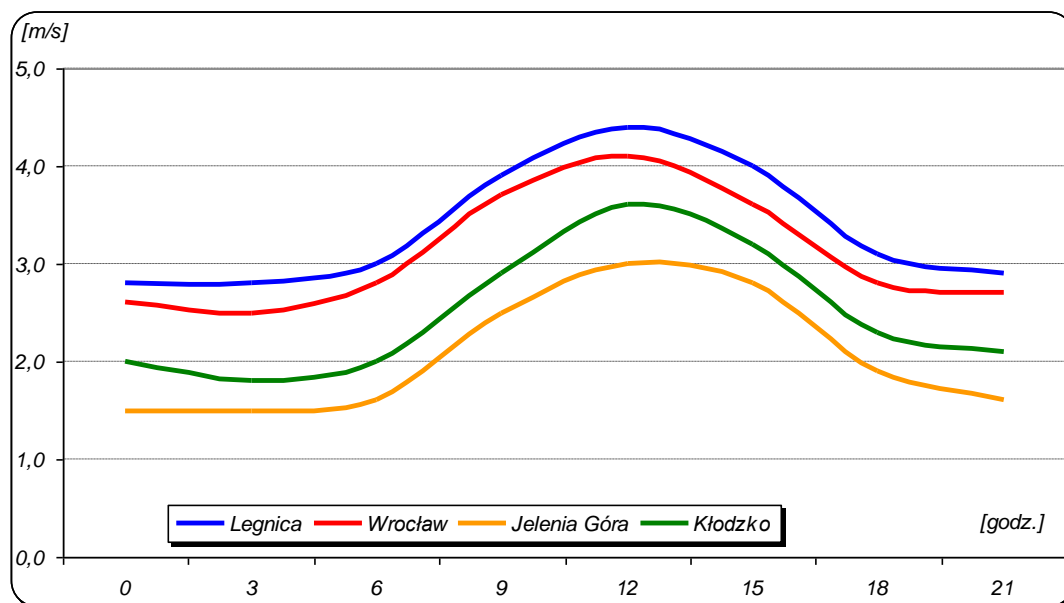
Rys. 3.6. Średnia miesięczna prędkość wiatru [m/s] w latach okresu 1996-2005 dla wybranych stacji z obszaru Dolnego Śląska



Rys. 3.7. Średnia miesięczna częstość [%] cisz atmosferycznych w latach okresu 1996-2005 dla wybranych stacji z obszaru Dolnego Śląska

### 3.4. Dobowy przebieg średniej prędkości wiatru

Parametr prędkości wiatru cechuje się zróżnicowanym przebiegiem w okresie dobowym. Maksimum prędkości wiatru notuje się w dziennej części doby (godziny południowe), natomiast minimalne prędkości występują w godzinach nocnych. W badanym okresie 1996-2005 najwyższe średnie prędkości wiatru na przestrzeni całej doby wynosiły od 4,4 m/s (Legnica) do 3,0 m/s (Jelenia Góra). Przebieg dobowy prędkości wiatru dla poszczególnych stacji zamieszczono na rysunku 3.8.



Rys. 3.8. Dobowy przebieg średniej prędkości wiatru [m/s] w latach 1996-2005 dla wybranych stacji z obszaru Dolnego Śląska



### 3.5. Maksymalna prędkość wiatru

Wiatr o często zmieniającej się prędkości, turbulentny i porywisty nie jest korzystny dla produkcji energii elektrycznej. Przyjmuje się, że przy porywach wiatru osiągających prędkość powyżej 25 m/s (90 km/godz.) praca siłowni wiatrowych powinna być wstrzymywana z uwagi na występujące zagrożenie ich uszkodzenia. Na obszarze Dolnego Śląska wiatr osiągający w porywach prędkość  $>25$  m/s nie jest zjawiskiem częstym, aczkolwiek występującym kilkakrotnie w każdym roku. Praktycznie podczas każdej burzy atmosferycznej występują warunki do pojawienia się porywów wiatru o prędkości 20-25 m/s. Przeciętnie na terenie Dolnego Śląska występuje około 30 dni z burzami. Dodatkowo dochodzą sytuacje pogodowe związane z przemieszczaniem się frontów atmosferycznych, podczas których występujące różnice właściwości fizycznych stykających się mas powietrza powodują występowanie silnego i porywistego wiatru. Szczególnie niebezpieczne są sytuacje pogodowe, kiedy przy dużym nagrzaniu podłoża powstają warunki do tworzenia się małych wirów pyłowych, a w skrajnych przypadkach trąb powietrznych. Według badań H. Lorenc [1996] zagrożenie przez trąby powietrzne występuje w ciepłej porze roku, w godzinach popołudniowych. Statystycznie, trąby powietrzne mogą wystąpić kilka razy w roku. Zjawisko to najczęściej obserwuje się w nizinnej części województwa dolnośląskiego. Prędkość wiatru w wirze trąby szacuje się na 50-100 m/s, a prędkość przemieszczania się na 30-40 km/godz.

Maksymalne wartości standardowego wskaźnika 10-minutowej prędkość wiatru na obszarach nizinnych Dolnego Śląska osiągają 18-20 m/s [Głowicki i in, 2004]. Najwyższe 10-minutowej prędkości obserwowane są w półroczu chłodnym, które jest bardziej dynamiczne (Tab. 3.5.).

**Tabela 3.5. Najwyższe średnie (10-minutowe) prędkości wiatru [m/s] na obszarze Dolnego Śląska dla półroczu chłodnego (X-III) i ciepłego (IV-IX) w latach 1996-2005**

<i>Stacja</i>	<i>Półrocze chłodne (X-III)</i>	<i>Półrocze ciepłe (IV-IX)</i>
<i>Legnica</i>	17	13
<i>Wrocław</i>	15	11
<i>Jelenia Góra</i>	14	12
<i>Kłodzko</i>	19	13

Notowane na przestrzeni poprzedzającego 50-lecia maksymalne prędkości porywów wiatru z wyłączeniem szczytowych partii gór osiągały prędkość 37 m/s (133 km/godz.) we Wrocławiu i Legnicy. Wielokrotnie notowano prędkości powyżej 30 m/s.

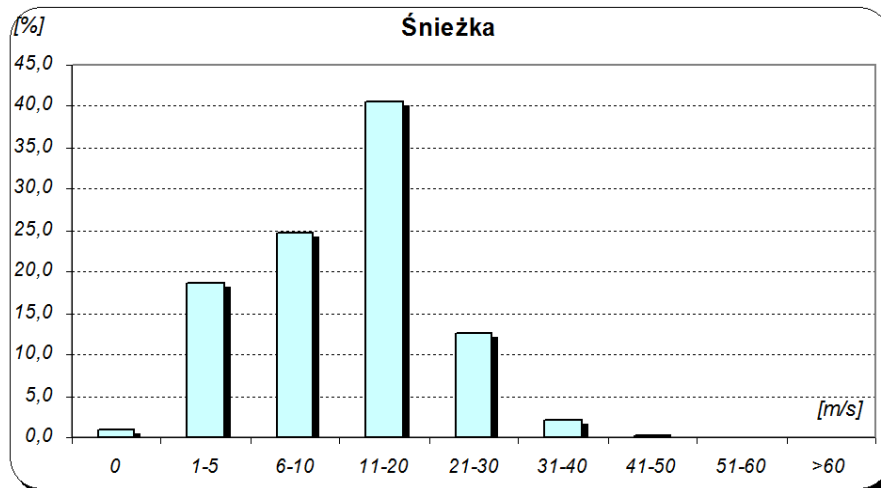
Ekstremalnie wysokie prędkości porywów wiatru występują w szczytowych partiach gór. Na Śnieżce najwyższa zmierzona 10-minutowa prędkość wiatru wyniosła 64 m/s (230 km/godz.), a szacowana prędkość porywów wynosi 80-90 m/s (> 300 km/godz.) [Głowicki, 2004].

#### 4. ANALIZA PROBABILISTYCZNA PRĘDKOŚCI WIATRU

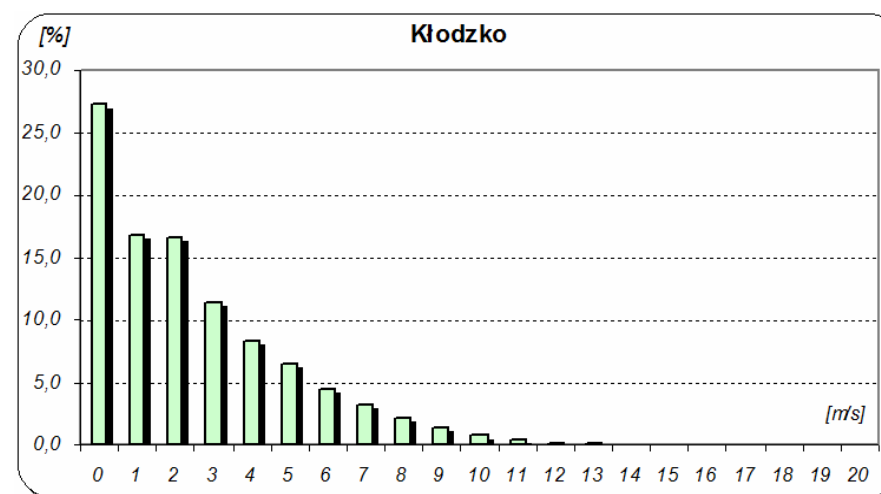
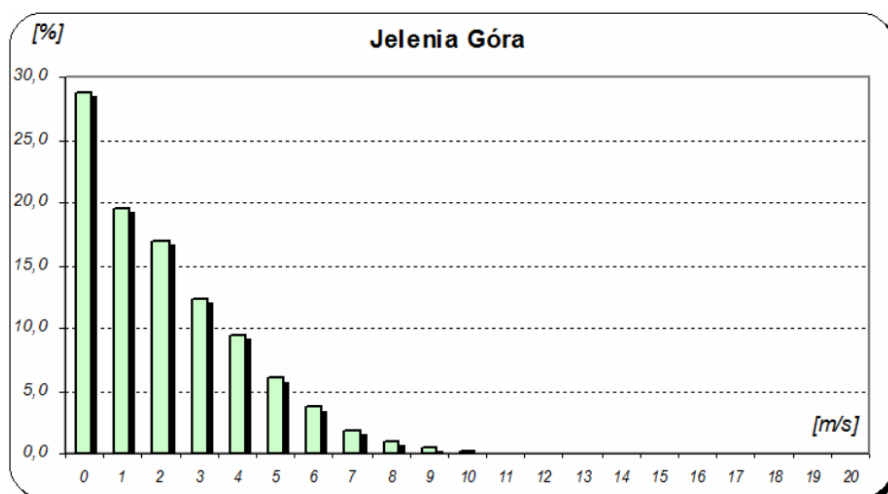
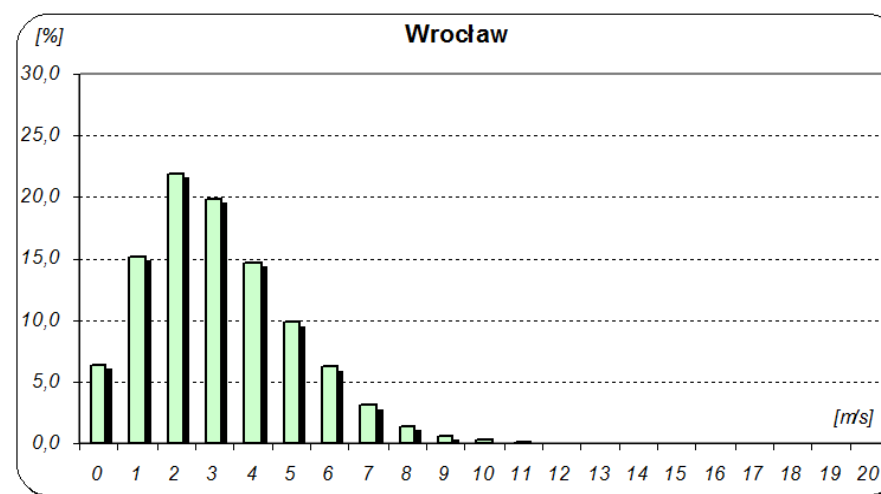
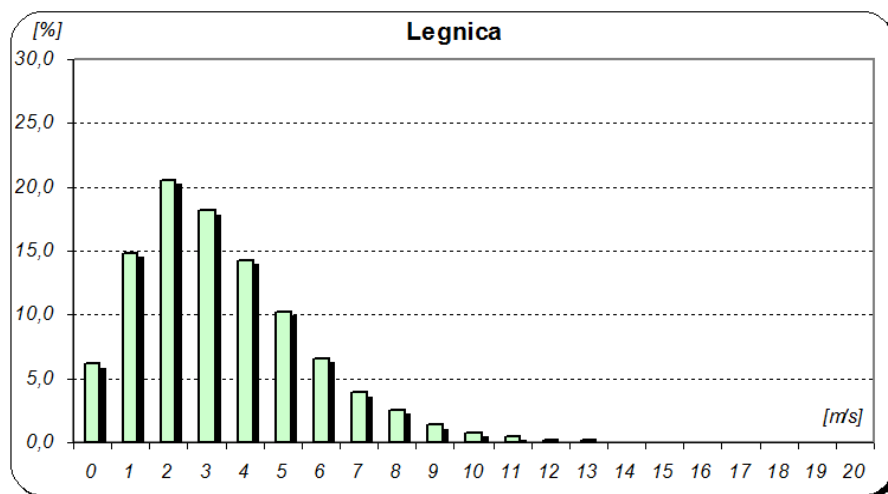
Do oceny potencjału energetycznego wiatru na podstawie standardowo mierzonych średnich 10-minutowych prędkości (z 8 terminów) na wysokości 10 metrów nad gruntem, stosowane są wybrane metody analizy danych. Metody te pozwalają na oszacowanie częstości występowania wiatru o danej prędkości oraz na oszacowanie prędkości wiatru na wysokościach do 100-150 m.n.p.g.

##### 4.1. Struktura prędkości wiatru

Empiryczną częstość występowania średnich (10-minutowych) prędkości wiatru dla roku, w klasach co 1 m/s zamieszczono na rysunku 4.1. (dla Śnieżki przyjęto inne przedziały prędkości rys. 4.1.A).



Rys. 4.1. A. Częstość [%] roczna występowania średnich (10-minutowych) prędkości wiatru dla Śnieżki w latach 1996-2005



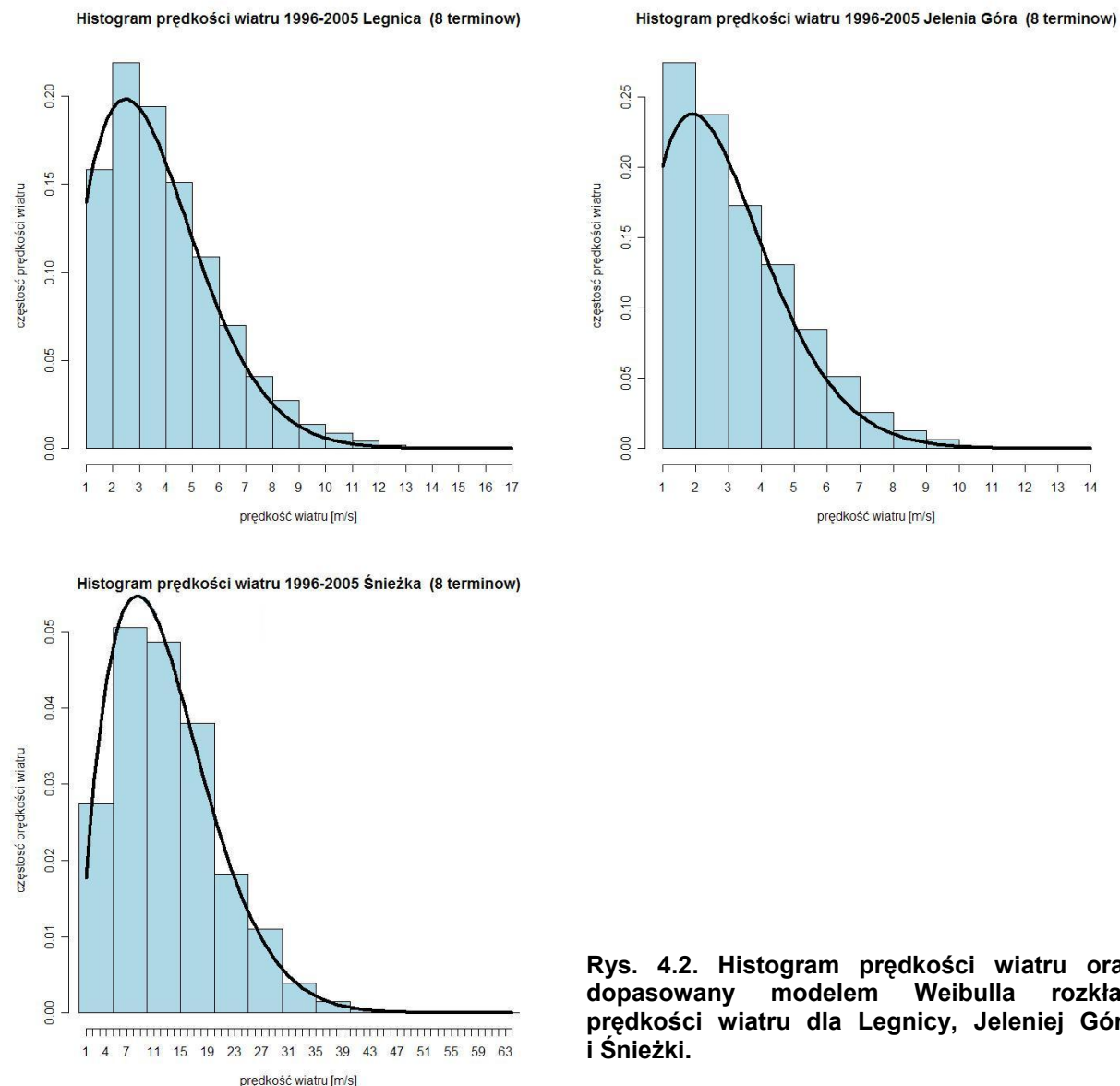
Rys. 4.1. Częstość [%] roczna występowania średnich (10-minutowych) prędkości wiatru dla obszaru Dolnego Śląska w latach 1996-2005

Dla stacji z obszaru nizinnej części Dolnego Śląska względem stacji położonych w Kotlinie Jeleniogórskiej i Kłodzkiej zauważalna jest wyraźnie odmienna struktura rozkładu prędkości wiatru. Głównym czynnikiem mającym decydujący wpływ na rozkład struktury wiatru jest wysoki odsetek sytuacji bezwietrznych występujących w kotlinach śródgórskich sięgający blisko 30% ogółu notowań. Także wyraźnie odmiennie przedstawia się struktura prędkości wiatru dla stacji na szczycie Śnieżki, gdzie cisze atmosferyczne nie przekraczają 2% częstości występowania w roku, a maksymalne prędkości wiatru sięgają 50-60 m/s.

Charakterystyki czasowe wiatru określające częstość występowania poszczególnych prędkości wiatru mogą być opisane są za pomocą funkcji rozkładu prawdopodobieństwa. Najczęściej stosowanym modelem jest 2-parametryczny rozkład Weibulla. Rozkład z parametrem skali  $\lambda > 0$  i parametrem kształtu  $k > 0$ , ma następująca postać (4.1):

$$f(v) = \frac{k}{\lambda} \cdot \left(\frac{v}{\lambda}\right)^{k-1} \cdot \exp\left(-\left(\frac{v}{\lambda}\right)^k\right) \quad (4.1)$$

Parametry rozkładu Weibulla wyznaczane są na podstawie danych pomiarowych. Na rysunku 4.2 przedstawiono rozkład prędkości wiatru dla Legnicy, Jeleniej Góry i Śnieżki w wieloleciu 1996-2005 z dopasowanym rozkładem Weibulla.



**Rys. 4.2. Histogram prędkości wiatru oraz dopasowany modelem Weibulla rozkład prędkości wiatru dla Legnicy, Jeleniej Góry i Śnieżki.**



W tabeli 4.2. przedstawione są częstości występowania wiatru o danej prędkości dla poszczególnych stacji synoptycznych obliczone z rozkładu Weibulla.

**Tabela 4.2. Częstość [%] występowania poszczególnych klas prędkości wiatru z rozkładu Weibulla dla wybranych stacji pomiarowych**

prędkość wiatru [m/s]	częstość [%] występowania z rozkładu Weibulla			
	KŁODZKO	LEGNICA	WROCŁAW	JELENIA GÓRA
1	17.27	13.99	14.38	20.08
2	19.61	19.28	21.36	23.79
3	17.69	19.33	21.54	20.41
4	14.07	16.20	17.27	14.47
5	10.23	11.89	11.58	8.88
6	6.93	7.81	6.66	4.82
7	4.42	4.66	3.32	2.35
8	2.67	2.54	1.45	1.04
9	1.54	1.28	0.56	0.42
10	0.85	0.59	0.19	0.16
11	0.45	0.26	0.06	0.05
12	0.23	0.10	0.02	0.02
13	0.11	0.04	0.00	0.00
14	0.05	0.01	0.00	0.00
15	0.02	0.00	0.00	
16	0.01	0.00		
17	0.00	0.00		
18	0.00			
19	0.00			

#### 4.2. Zróżnicowanie średniej prędkości wiatru z wysokością

W ramach sieci pomiarowo-obserwacyjnej IMGW pomiary kierunku i prędkości wiatru wykonywane są na wysokości 10-20 m/s. Wraz ze wzrostem wysokości nad powierzchnią gruntu, prędkość wiatru na ogół wzrasta, a wielkość tego przyrostu jest zależna od wielu czynników, w tym ukształtowania i pokrycia terenu, stanu atmosfery, nasilenia ruchów konwekcyjnych oraz prędkości wiatru.

Wpływ podłoża na pionowy profil prędkości wiatru określany jest przez parametr szorstkości reprezentujący aerodynamiczną cechę podłoża. Cechy podłoża decydują o możliwości wystąpienia mikroturbulencji i oddziałują na prędkość wiatru w postaci siły tarcia [Trepieńska, 2005]. Wartości parametru szorstkości dla różnych klas pokrycia terenu zestawione są w tabeli 4.3.

**Tabela 4.3. Klasy szorstkości terenu i wartości parametru szorstkości  $z_0$  odpowiadające danej klasie wg J. Wieringa za H. Lorenc (1999)**

Klasa szorstkości terenu	Opis terenu	$z_0$ (m)
1	Otwarte morze, teren otwarty na odległości $\geq 3\text{km}$	0,0002
2	Obszary bagienne, śnieg, teren bez roślinności i zabudowy	0,005
3	Płaski teren otwarty, trawa, pojedyncze budynki	0,03
4	Niskie uprawy, pojedyncze budynki o parametrach $[x/h]>20$ m	0,10
5	Wysokie uprawy, zabudowa „rozrzucona” o parametrach $15 < [x/h] < 20$ m	0,25
6	Parki, krzaki, zarośla, budynki o parametrach $[x/h] \approx 10$ m	0,50
7	Przedmieścia, lasy	1,00
8	Centra dużych miast	$\geq 2,00$

Ruchy pionowe w atmosferze, w tym ruchy konwekcyjne, które nasilają się wraz ze wzrostem chwiejności atmosfery, wpływają na wzrost turbulencji termicznej a w efekcie na wzrost porywistości wiatru. Dlatego też analizując cykl dobowy prędkości wiatru najwyższe prędkości przy powierzchni ziemi rejestrowane są w ciągu dnia gdy ruchy konwekcyjne osiągają maksimum (patrz rys. 3.4). Jednocześnie silne ruchy konwekcyjne powodują mieszanie się mas powietrza i zmniejszanie się pionowego gradientu wiatru. W sytuacji równowagi stałej obserwuje się ograniczenie ruchów pionowych i zmniejszanie się prędkości wiatru w pobliżu podłoża. Wraz z wysokością rośnie natomiast gradient prędkości wiatru. Przyrost gradientu prędkości wiatru jest również zależny od prędkości wiatru i wzrasta wolniej dla dużych prędkości. Dokładne oszacowanie pionowego profilu wiatru na podstawie pomiarów naziemnych jest zatem utrudnione ze względu na złożoność procesów wpływających na prędkość wiatru i ograniczenia w możliwości ich parametryzacji.

Dla dokładnego scharakteryzowania wiatru występującego na wyższych wysokościach konieczne jest, zatem wykonanie pomiarów. W przypadku braku takich możliwości, stosuje się dwa modele empiryczne pozwalające na przybliżone szacowanie zależności pomiędzy prędkością wiatru a wysokością nad poziomem terenu: model logarytmiczny i potęgowy.

Wzór potęgowy znajduje częstsze zastosowanie [Trepieńska, 2005] szczególnie w badaniach dotyczących energetyki wiatrowej. Postać zależności potęgowej jest następująca:

$$v_2(z_2) = v_1(z_1) \left( \frac{z_2}{z_1} \right)^\alpha \quad [\text{m/s}] \quad (4.2)$$

gdzie  $z_1$  oznacza wysokość standardową, na której dokonano pomiaru,  $v_1(z_1)$  zmierzona na tej wysokości prędkość wiatru,  $v_2$  poszukiwaną wartość prędkości wiatru na wysokości  $z_2$ . Współczynnik  $\alpha$  jest zależny zarówno od szorstkości podłoża ( $z_0$ ) jak i prędkości wiatru. Zależność wartości wykładnika  $\alpha$  od szorstkości wyraża zależność 4.3 [Trepńska, 2005]:

$$\alpha = 0.24 + 0.096 \log(z_0) + 0.16 \cdot [\log(z_0)]^2 \quad (4.3)$$

Natomiast w zależności od prędkości wiatru wartość wykładnika  $\alpha$  zmienia się następująco [Trepńska, 2005]:

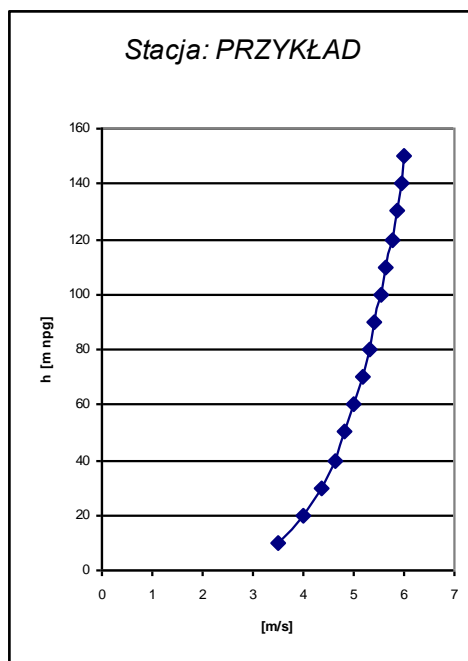
$$\begin{aligned} \text{dla } v \leq 2 \text{ m/s} \quad \alpha &= 0.4 \\ \text{dla } 2 < v \leq 10 \text{ m/s} \quad \alpha &= 0.17 \\ \text{dla } v > 10 \text{ m/s} \quad \alpha &= 0.14 \end{aligned} \quad (4.4)$$

Wzór potęgowy najpowszechniej stosowany jest w postaci formuły Sutton'a, dzięki której szacuje się prędkość wiatru na wysokości do 250 m. nad poziomem terenu. Poniżej zamieszczono wyznaczone średnie prędkości wiatru do wysokości 150 m. nad gruntem (Tab. 4.4).

**Tabela 4.4. Średnia prędkość wiatru [m/s] do wysokości 150 m. nad poziomem gruntu dla wybranych stacji Dolnego Śląska w latach 1996-2005**

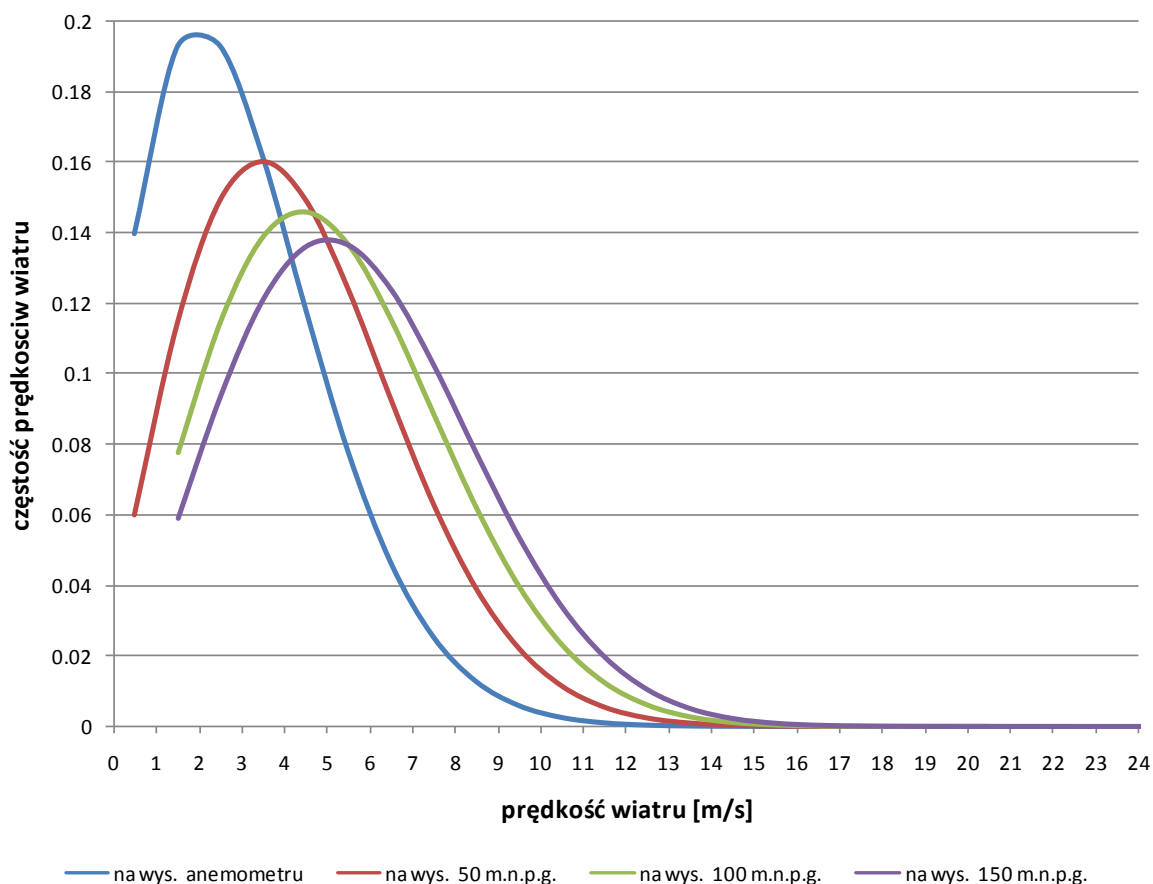
Stacja / Wysokość m. npg	Legnica 12 m. npg/	Wrocław /12 m. npg/	Jelenia Góra /16 m. npg/	Kłodzko /10 m. npg/	Zgorzelec /12 m. npg/
Poziom pomiaru	3,3	3,1	2,1	2,5	3,3
20	3,7	3,4	2,2	2,9	3,7
30	4,0	3,7	2,4	3,1	4,0
40	4,2	3,9	2,5	3,3	4,2
50	4,4	4,1	2,6	3,4	4,4
60	4,6	4,3	2,7	3,6	4,6
70	4,7	4,4	2,8	3,7	4,7
80	4,8	4,5	2,9	3,8	4,8
90	4,9	4,6	3,0	3,9	4,9
100	5,0	4,7	3,0	4,0	5,0
110	5,1	4,8	3,1	4,0	5,1
120	5,2	4,9	3,1	4,1	5,2
130	5,3	5,0	3,2	4,2	5,3
140	5,4	5,1	3,2	4,2	5,4
150	5,5	5,1	3,3	4,3	5,5

Na podstawie pomiarów wykonanych we Wrocławiu podczas kilkumiesięcznej serii pomiarowej na wysokości ok. 100 m nad poziomem gruntu średnia prędkość wiatru wyniosła 4,5 m/s [Dancewicz, 2007].



Rys. 4.3- Średnia prędkość wiatru [m/s] do wysokości 150 m. nad poziomem gruntu

Zmiana struktury prędkości wiatru wraz z wysokością wpływa również na zmianę rozkładu prędkości wiatru na poszczególnych wysokościach nad poziomem terenu. Poniżej przedstawiono porównanie rozkładów prędkości wiatru uzyskanych dla różnych wysokości nad poziomem gruntu oszacowanych modelem potęgowym na podstawie danych empirycznych z wielolecia 1996-2005 a następnie dopasowanych rozkładem Weibulla. Im wyżej nad powierzchnią gruntu, tym większa jest wartość mediany prędkości wiatru. I tak przykładowo dla Legnicy wartość mediany na wysokości anemometru wynosi ok. 2 m/s, dla 50 m.n.p.g. jest to 3 m/s, 100 m.n.p.g. pow. 4 m/s a dla 150 m.n.p.g. najczęściej wiatr szacowany jest na 5-6 m/s (Rys. 4.4.).



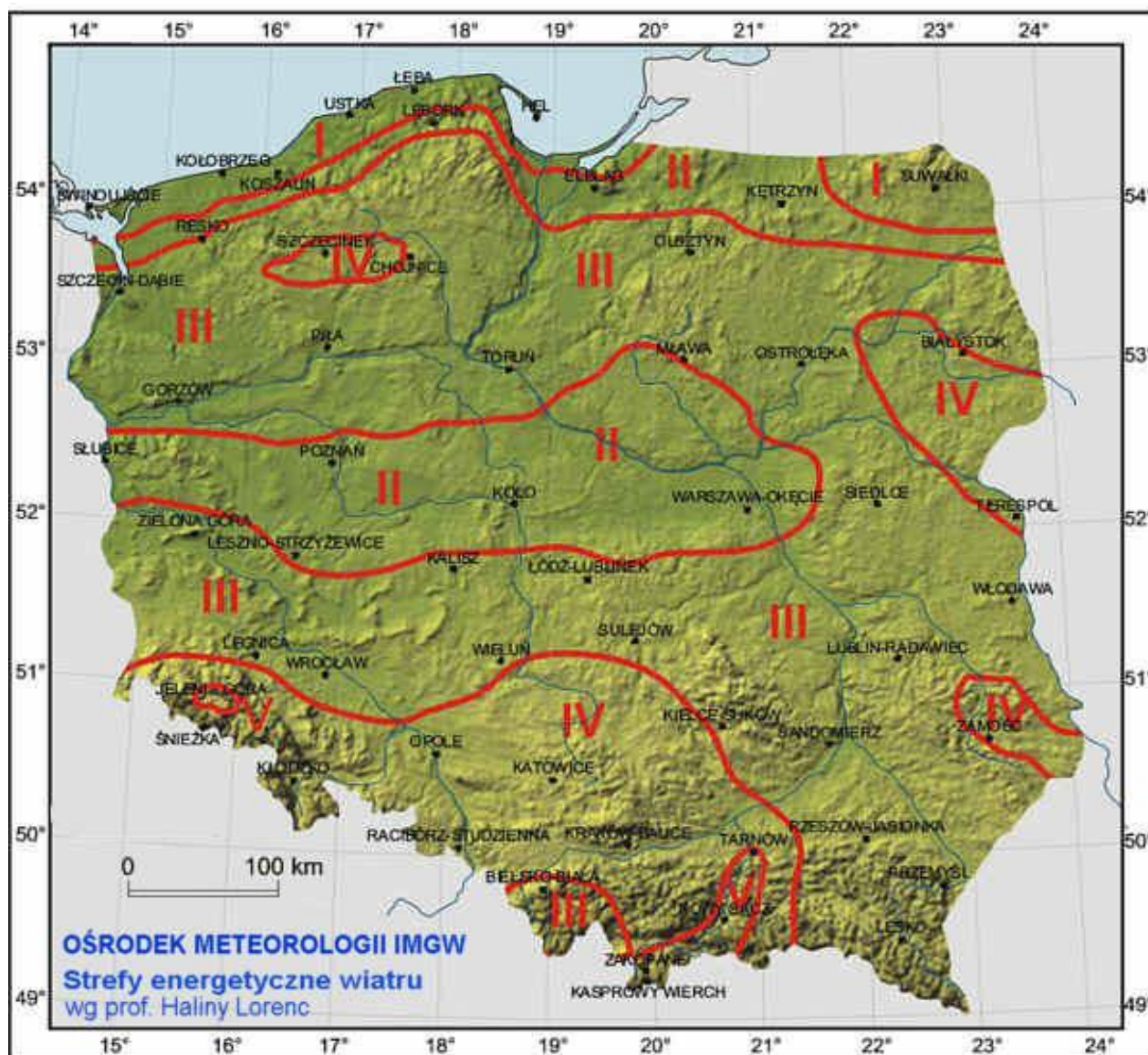
Rys. 4.4. Przykład zmian rozkładu prędkości wiatru z wysokością nad poziomem gruntu dopasowanych rozkładem Weibulla (Legnica)

## 5. ANALIZA PRZESTRZENNA UWARUNKOWAŃ FIZJOGRAFICZNYCH WOJEWÓDZTWA DOLNOŚLĄSKIEGO POD KĄTEM LOKALIZACJI ELEKTROWNI WIATROWYCH

Uwarunkowania fizjograficzne związane są z abiotycznymi komponentami środowiska, które wpływają na wielkość generowanej energii (wietrzność) a także możliwość posadowienia obiektów (bariery środowiskowe) [Niecikowski i Kistowski, 2008].

Regionalizacja obszaru Polski pod względem zasobów energii wiatru opracowana przez H. Lorenc [1996] wykazała, że Dolny Śląsk poza częścią nizinną województwa, która została zakwalifikowana jako korzystna, znalazł się w strefie warunków mało korzystnych (Rys. 5.1). Należy pamiętać, że jest to ocena zasobów energii wiatru wykonana w mezoskali. W przypadku oceny zasobów energii wiatru w skali lokalnej uwzględnia się warunki topograficzne miejsca lokalizacji, w tym osłonięcie terenu oraz szorstkość.





Rys. 5.1. Strefy energetyczne wiatru w Polsce wg H. Lorenc [1996]. Nazwy stref: I – wybitnie korzystna, II – bardzo korzystna, III – korzystna, IV – mało korzystna, V – niekorzystna

Obszary górskie zarówno ze względów klimatycznych (występowanie wiatrów fenowych, oblodzenie) jak i z uwagi na występowanie obszarów chronionych krajobrazowo i przyrodniczo, a także z powodu olbrzymich kosztów ewentualnego przygotowania odpowiedniej infrastruktury technicznej, nie są wskazane do lokalizowania tam elektrowni wiatrowych [Kundera, 2002]. Niemniej jednak, jak podkreślają K. Migała i T. Kapała [2002] na terenach o złożonej topografii, w jakie obfituje Dolny Śląsk, mogą lokalnie występować warunki, które sprzyjają budowie elektrowni wiatrowych. Szczególne znaczenie może mieć tzw. efekt tunelowy, dający zarówno lokalne zwiększenie siły wiatru, jak i dominację określonych kierunków wiatru. W górach szczególnie predysponowane do potencjalnego wykorzystania



energii wiatru są prostopadłe wzniesienia oraz przełęcze o osi równoległej do przeważającego kierunku wiatru [Migała i Kapała, 2002]. Na takich obszarach jednak zróżnicowanie potencjału energetycznego wiatru może zmieniać się znacząco na niewielkich odległościach. Może to dodatkowo wpłynąć na ryzyko inwestycyjne planowanych elektrowni wiatrowych, gdyż stosunkowo niewielki błąd może zaowocować znacznym błędem oszacowania zasobów energii wiatru oraz pojawienie się na takich terenach znacznie wyższych ekstremalnych wartości prędkości wiatru oraz zwiększonej intensywności turbulencji [Michałowska-Knap, 2001].

Z uwagi zatem na znaczną zmienność warunków klimatycznych w obszarach górskich, silnie zależną od czynników lokalnych jak wyniesienie nad poziom morza i forma terenu, właściwy wybór miejsca lokalizacji pomiarów i planowania elektrowni wiatrowych wymaga wcześniejszej analizy rzeźby w topo i mezoskali oraz wiedzy o dynamice granicznej warstwy atmosfery. Natomiast potencjalnie korzystne warunki anemometryczne z punktu widzenia zasobów energii wiatrowej występują na obszarze Niziny Śląsko-Łużyckiej i Przedgórze Zachodniosudeckiego. Udział czasu trwania wiatru o prędkości w przedziale 4-15 m/s, nazywanych „energetycznymi”, wynosi na tym obszarze 44 % wszystkich obserwacji wiatru wykonywanych na stacjach [Dancewicz i Głowicki, 2002].

Obok uwarunkowań fizjograficznych istotną rolę odgrywają również uwarunkowania ekologiczne związane z biotycznymi komponentami środowiska i ekosystemami. W województwie dolnośląskim występują obszary cenne przyrodniczo, która są objęte różnymi formami ochrony przyrody. Takie obszary z uwagi na uwarunkowania prawne, przyrodnicze i krajobrazowe należy uznać za wyłączone dla lokalizowania elektrowni wiatrowych. Rozmieszczenie obszarów objętych różną formą ochrony na terenie Dolnego Śląska przedstawia rysunek 5.2.

Ograniczeniem dla lokalizacji elektrowni wiatrowych z punktu widzenia warunków ekologicznymi (przyrodniczymi) stanowią:

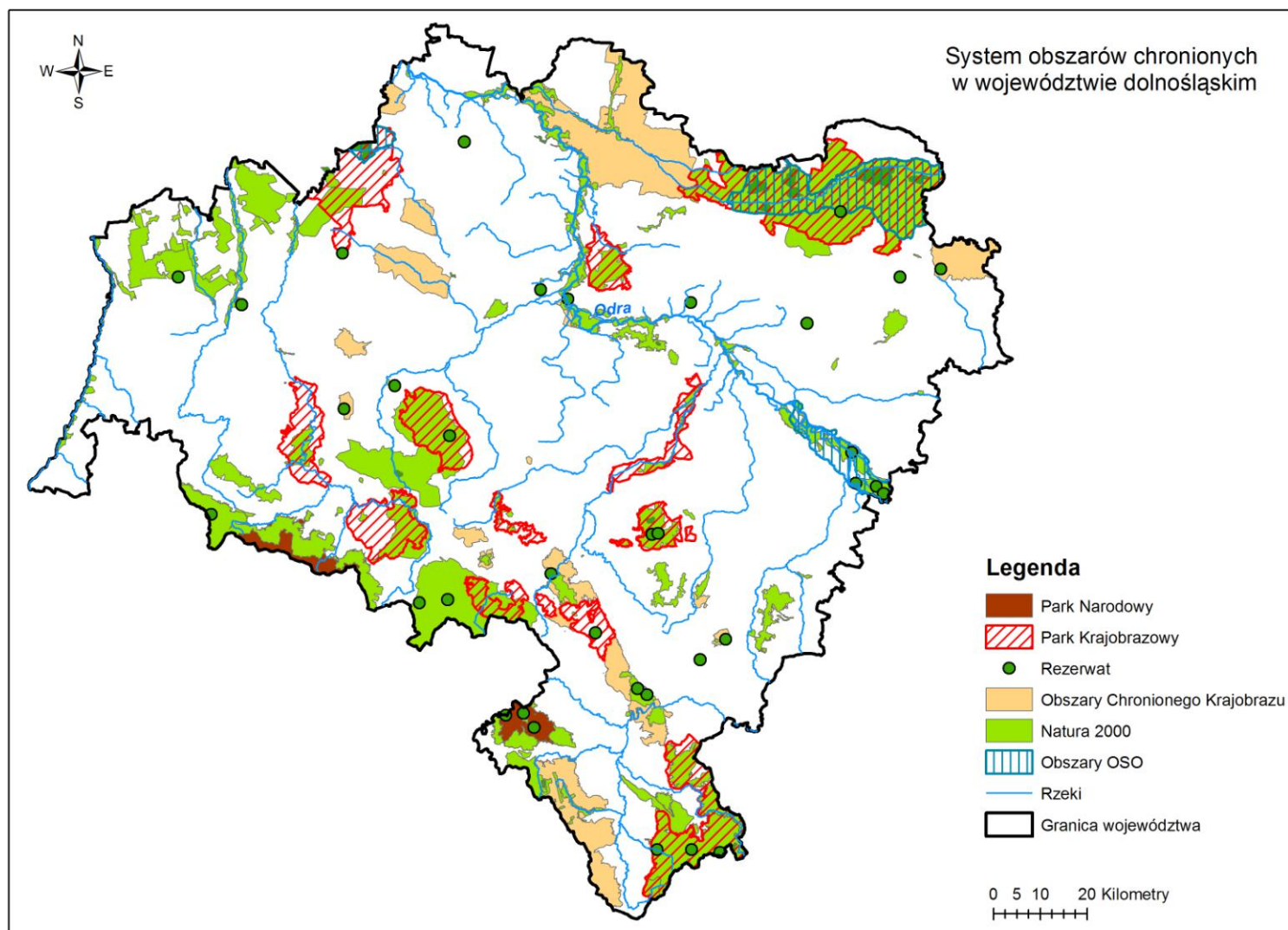
- tereny podmokłe,
- kompleksy leśne,
- zbiorniki wodne,
- miejsca żerowania oraz trasy przelotów wędrowkowych ptaków.

Uwarunkowania społeczne związane z lokalizacją elektrowni wiatrowych w dużej mierze związane są z ograniczaniem uciążliwości powodowanej hałasem. Dlatego z uwagi na dopuszczalny poziom hałasu wyklucza się z lokalizacji elektrowni

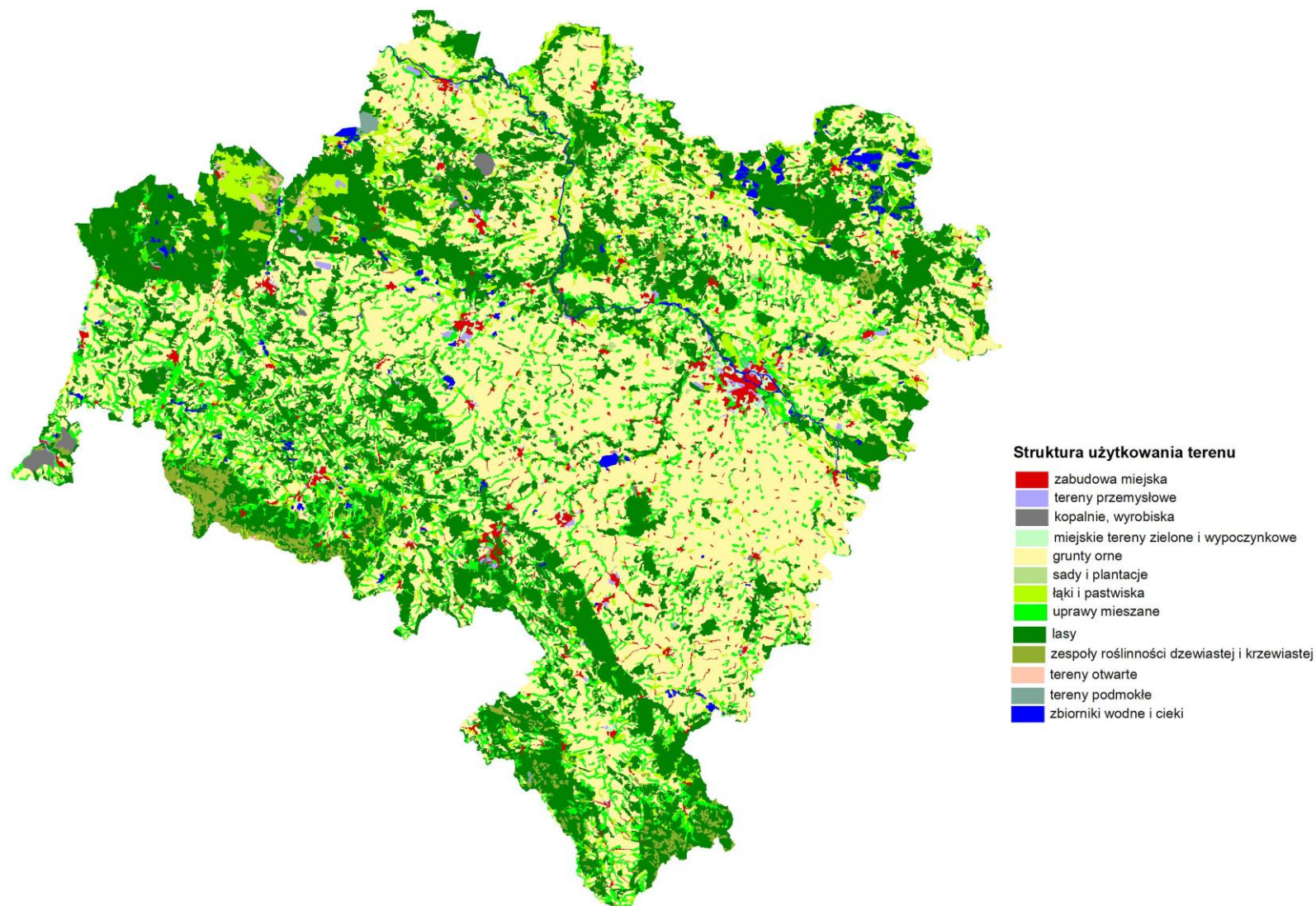


wiatrowych tereny zabudowy mieszkaniowej oraz wypoczynkowo-rekreacyjne ze strefą buforową co najmniej 500 m. (Rys. 5.3.) Oprócz emitowania hałasu elektrownie wiatrowe mogą oddziaływać na ludzi poprzez [Niecikowski i Kistowski, 2008]:

- efekt migotania oraz rzucanie cienia,
- emisję promieniowania elektromagnetycznego,
- wywoływanie drgań,
- emitowanie pulsującego światła w nocy,
- efekt percepcji zmienionego krajobrazu.



Rys. 5.2. System obszarów chronionych w woj. dolnośląskim [Źródło: Opracowanie własne na podstawie [www.biodiv.mos.gov.pl](http://www.biodiv.mos.gov.pl)]



Rys. 5.3. Struktura użytkowania terenu w woj. dolnośląskim [Źródło: Corine Land Cover 2000]



## 6. WSKAZANIA DLA ANALIZY LOKALNYCH UWARUNKOWAŃ POD BUDOWĘ ELEKTROWNI

Warunki anemometryczne są podstawowym czynnikiem wpływającym na lokalizację elektrowni wiatrowych. Niemniej jednak pozostałe elementy środowiska przyrodniczego, takie jak różnorodność biologiczna czy krajobrazowa, stanowią równie istotny czynnik limitujący możliwość lokalizacji elektrowni wiatrowych [Niecikowski i Kistowski, 2008].

W aspekcie wykorzystania opracowanych materiałów z zakresu struktury prędkości wiatru dla celów określenia potencjalnych warunków produkcji energii wiatrowej na Dolnym Śląsku niezwykle ważna jest informacja odnosząca się do częstotliwości występowania prędkości wiatru powyżej określonych progów technologicznych pracujących siłowni wiatrowych. Jeszcze niedawno graniczną prędkością opłacalności produkcji elektrycznej z zasobów wiatrowych była prędkość 4 m/s i wyższa, obecnie postęp technologiczny obniżył ten próg do wartości 2 m/s. Poniżej zamieszczono kumulowane częstości występowania prędkości wiatru powyżej 2, 3 i 4 m/s.

**Tabela 5.1. Częstość [%] roczna występowania średnich (10-minutowych) prędkości wiatru powyżej 2, 3 i 4 m/s na obszarze Dolnego Śląska w latach 1996-2005**

Stacja	Częstość cisz	$\geq 2$ m/s	$\geq 3$ m/s	$\geq 4$ m/s
Legnica	6,2	79,0	58,4	40,2
Wrocław	6,5	78,4	56,4	36,5
Jelenia Góra	28,7	51,7	34,8	22,4
Kłodzko	27,3	55,9	39,3	27,9

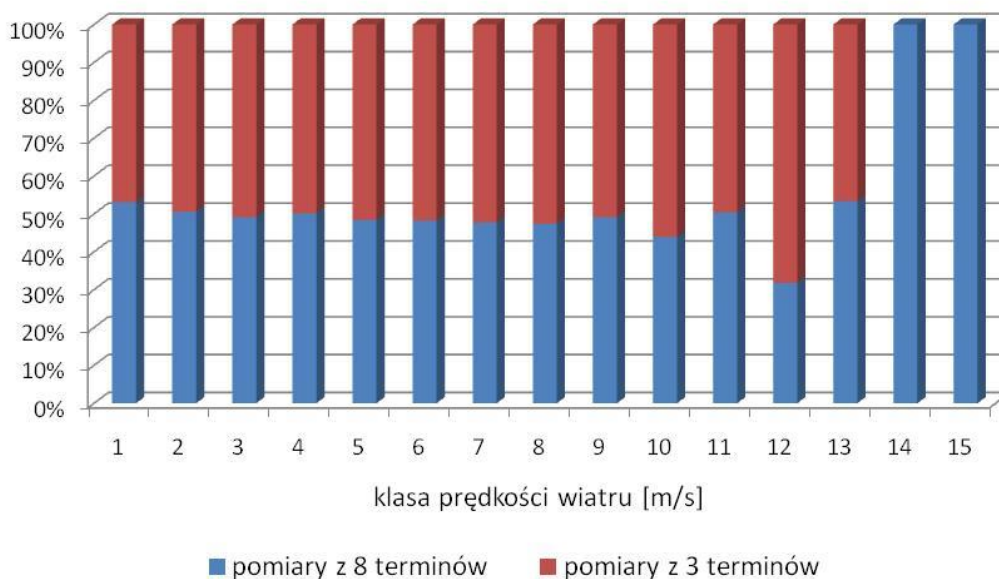
Z powyższego zestawienia wynika, że kotliny i obniżenia śródgórskie, z uwagi na wysoką częstość sytuacji bezwietrznych, są obszarami niekorzystnymi do lokalizacji siłowni wiatrowych. Znacznie korzystniejsze warunki występują na terenach otwartych (nizinnych), gdzie cisze stanowią nieco powyżej 6%. Częstość wiatru o prędkości powyżej 2 m/s na terenach nizinnych sięga 80%, a w kotlinach 50-55%. W przypadku prędkości wiatru  $\geq 4$  m/s, częstość dla stacji nizinnych sięga 40%, a dla terenów śródgórskich spada nawet poniżej 25%.

Ocena szczegółowa wydajności elektrowni wiatrowej powinna być opracowana na podstawie bezpośrednich pomiarów na terenie planowanej lokalizacji. W tym

przypadku, szczególnie krytycznymi aspektami są określenie miejsca pomiaru wiatru, dobór i kalibracja anemometrów oraz montaż czujników na maszcie pomiarowym [Markowicz]. Również ze względu na dużą zmienność warunków anemometrycznych pomiędzy kolejnymi latami, ocena wydajności elektrowni wiatrowej powinna być wykonywana na podstawie wieloletnich serii pomiarowych. Może to stanowić poważne utrudnienie organizacyjne i finansowe. Rozwiązaniem jest wykorzystanie odpowiednich technik statystycznych do analizy krótszych serii pomiarowych w powiązaniu z analizą wieloletnich danych obserwacyjnych zrealizowanych na innych stacjach w danym regionie. Ze względu na unikatową długością okresu obserwacyjnego, jednorodność metodyki wykonywania pomiarów jak również poprawnością lokalizacji stacji pomiarowych, dostępne serie pomiarowe ze stacji synoptycznych IMGW stanowią cenny materiał przy ocenie uwarunkowań środowiskowych dla potrzeb energetyki wiatrowej w skali regionalnej. Należy jednak pamiętać, że wiatr jest elementem bardzo dynamicznym, silnie zależnym od warunków lokalnych, a decydujący wpływ na jego prędkość ma wyniesienie nad poziom morza i forma terenu [Migała i in., 2002]. Dlatego też ma to ograniczone zastosowanie na obszarach górskich Dolnego Śląska, gdzie ukształtowanie terenu silnie modyfikuje pole wiatru. Dodatkowo, potencjał energetyczny wiatru należy oceniać na wysokościach od 20 do 80 metrów nad gruntem. Kluczowym zadaniem jest więc ekstrapolacja pomiarów realizowanych na 10 m do oceny pionowego profilu prędkości wiatru. W takich analizach należy uwzględniać zarówno ukształtowanie terenu, szorstkość podłoża oraz warunki stratyfikacyjne w atmosferze.

Przy wyznaczaniu rozkładu prędkości wiatru nie bez znaczenia pozostaje częstość wykonywania pomiaru. Na rysunku 6.1. przedstawiono jak często obserwowany był wiatr w danej klasie prędkości przy pomiarach realizowanych w 8 terminach w stosunku do pomiarów realizowanych w 3 terminach dla stacji pomiarowej we Wrocławiu. Ma to szczególne znaczenie przy ocenie częstości występowania największych prędkości wiatru, które jeżeli przekraczają 12-15 m/s nie sprzyjają wykorzystaniu energetycznemu wiatru.





**Rys. 6.1. Porównanie częstości obserwacji wiatru w danej klasie prędkości dla pomiarów realizowanych w 8 terminach i w 3 terminach**

Wdrożona w IMGW automatyzacja pomiarów prędkości wiatru oraz schematów archiwizacji wyników pomiarów wpłynie, w miarę rozbudowywania się bazy danych, na dokładność oceny rozkładu prędkości wiatru pozwalając na lepszą ocenę potencjału energetycznego wiatru również w kontekście częstości występowania niekorzystnie wysokich prędkości wiatru.

Wprowadzenie dodatkowych automatycznych stacji pomiarowych na obszarze Dolnego Śląska, w szczególności na obszarze Sudetów, które wykonują ciągły pomiar prędkości i kierunku wiatru pozwoli w przyszłości – przy odpowiednio długich ciągach obserwacyjnych – na zwiększenie dokładności oceny lokalnych warunków meteorologicznych pod kątem energetyki wiatrowej.

Reasumując, odpowiednie zasoby energetyczne wiatru to zasadniczy, ale nie jedyny warunek lokalizacji elektrowni wiatrowej na określonym miejscu. Pozostałe kryteria rzeczowe to [Kundera, 2002]: bliskość sieci energoelektrycznej, charakter geologiczny podłoża oraz możliwość dojazdu ciężkiego sprzętu budowlanego. W inwestycji należy również uwzględnić stopień oddziaływania elektrowni wiatrowych nie tylko na środowisko naturalne, ale również na społeczeństwo analizując natężenie hałasu, zmiany w krajobrazie i sposobie użytkowania terenu, bezpieczeństwo ruchu lotniczego czy powstawanie zakłóceń sygnałów telekomunikacyjnych. Ponadto wybór miejsca lokalizacji elektrowni wiatrowej musi uwzględniać założenia lokalnego planu zagospodarowania przestrzennego.

## LITERATURA

- Atlas Klimatyczny Polski, 1973, IMGW–PPWK Warszawa.
- Atlas Śląska Dolnego i Opolskiego, 1997, Wyd. Uniwersytet Wrocławski. Wrocław.
- Dancewicz A., 2008, Struktura wiatru we Wrocławiu według pomiarów wykonanych w okresie II-V 2007 r. na budynku „Poltegor” we Wrocławiu. IMGW. Warszawa. 2008. [w:] A. Dubicki (red.) Meteorologia, hydrologia, ochrona środowiska – kierunki badań i problemy. Seria: Monografie IMGW, Warszawa, 293-298.
- Dancewicz A., Głowicki B., 2002, Klimatologiczne aspekty oceny zasobów energetycznych wiatru na obszarze Polski południowo-zachodniej. [w:] Wykorzystanie energii ze źródeł odnawialnych, Materiały z I Krajowej Konferencji, Kudowa Zdrój.
- Dubicki A., Dubicka M., Szymanowski M., 2002: Klimat Wrocławia [w:] Środowisko Wrocławia. Informator 2002, red. K. Smolnicki i M. Szykasiuk, Dolnośląska Fundacja Ekorozwoju. Wrocław.
- Głowicki B., 1995, Klimat Śnieżki. [w:] Wysokogórskie Obserwatorium Meteorologiczne na Śnieżce, red. A. Dubicki i B. Głowicki, PIOŚ, IMGW. Biblioteka Monitoringu Środowiska. Wrocław, 37-64.
- Głowicki B., 2004, Klimat Sudetów i jego rola w odbudowie zbiorowisk leśnych. Postępy Techniki w Leśnictwie. Warszawa, 15-21.
- Głowicki B., Otop I., Urban G., Tomczyński K., 2004, Warunki klimatyczne województwa dolnośląskiego. [w:] Opracowanie ekofizjograficzne dla województwa dolnośląskiego ([www.eko.wbu.wroc.pl](http://www.eko.wbu.wroc.pl)).
- Kondracki J., 1988, Geografia fizyczna Polski. PWN, Warszawa.
- Kunder K., 2002, Problemy z wykorzystaniem siły wiatru do produkcji energii na przykładzie elektrowni wiatrowej w miejscowości Słup. [w:] Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii na przykładzie Dolnego Śląska. Polski Klub Ekologiczny Okręg Dolnośląski, Wrocław, 33-39.
- Lorenc H., 1996, Struktura i zasoby energetyczne wiatru w Polsce. Mat. Badawcze IMGW, Seria: Meteorologia 25, IMGW Warszawa.
- Lorenc H. (red.), 2005, Atlas Klimatu Polski. IMGW Warszawa.
- Markowicz K., Pomiary oraz analiza pola wiatru dla potrzeb energetycznych. <http://www.igf.fuw.edu.pl/meteo/stacja/wyklady/EnergiaOdnawialna/Wiatr/AnalizaZasobowWiatru.pdf>
- Michałowska-Knap, K., 2001, Szacowanie zasobów energii wiatru na terenie o złożonej topografii, Europejskie Centrum Energii Odnawialnej, IMBER Warszawa.
- Migała K., Kapala T., 2002, Geograficzne uwarunkowania rozwoju energetyki wiatrowej w południowo-zachodniej Polsce. [w:] Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii na przykładzie Dolnego Śląska. Polski Klub Ekologiczny Okręg Dolnośląski, Wrocław, 27-32.
- Migoń P., 2005, Regiony fizycznogeograficzne. [w:] J. Fabiszewski (red.) “Przyroda Dolnego Śląska”, PAN Oddz. Wrocław, 19-38.
- Niecikowski K., Kistowski M., 2008, Uwarunkowania i perspektywy rozwoju energetyki wiatrowej na przykładzie strefy pobraży i wód przybrzeżnych województwa pomorskiego, Gdańsk.
- Pruchnicki J., 1987, Metody opracowań klimatologicznych. PWN, Warszawa.
- Rocznik statystyczny województwa dolnośląskiego, 2008. Wyd. Urząd Statystyczny we Wrocławiu.
- Schmuck A., 1960, Rejonizacja pluwiotermiczna Dolnego Śląska. Zesz. Nauk. Wyższej Szkoły Rolniczej we Wrocławiu, Melioracja V, Nr 27, Wrocław, 273-284.
- Trepińska J., 2004-2005, Pionowy profil prędkości wiatru przyziemnego. Folia Geographica, ser. Geographica-physica, Vol. XXXV-XXXVI, 153-166.
- Woś A., 1999, Klimat Polski. PWN Warszawa.