



Euro - Centrum

**Studia Podyplomowe**

# **EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ**

w ramach projektu

**Śląsko-Małopolskie Centrum Kompetencji  
Zarządzania Energią**

**Ocena zasobów wiatru jako podstawa planowania  
budowy elektrowni wiatrowych**

**dr inż. Jacek Ostrowski**

**Ocena zasobów wiatru jako podstawa  
planowania budowy elektrowni  
wiatrowych.**

## **Ocena zasobów wiatru jest podstawowym i najtrudniejszym zagadnieniem w planowaniu budowy elektrowni i farm wiatrowych.**

Analizy finansowe inwestycji wiatrowych wymagają m.in.. określenia przewidywanej produkcji energii w okresie wieloletnim z dość dużą dokładnością.

Określenie zasobów wiatru w danej lokalizacji jest przedsięwzięciem złożonym, Na zasoby te mają wpływ warunki klimatyczne, rzeźba terenu, pokrycie terenu (zbiorniki wodne, łąki, lasy, obszary zabudowane).

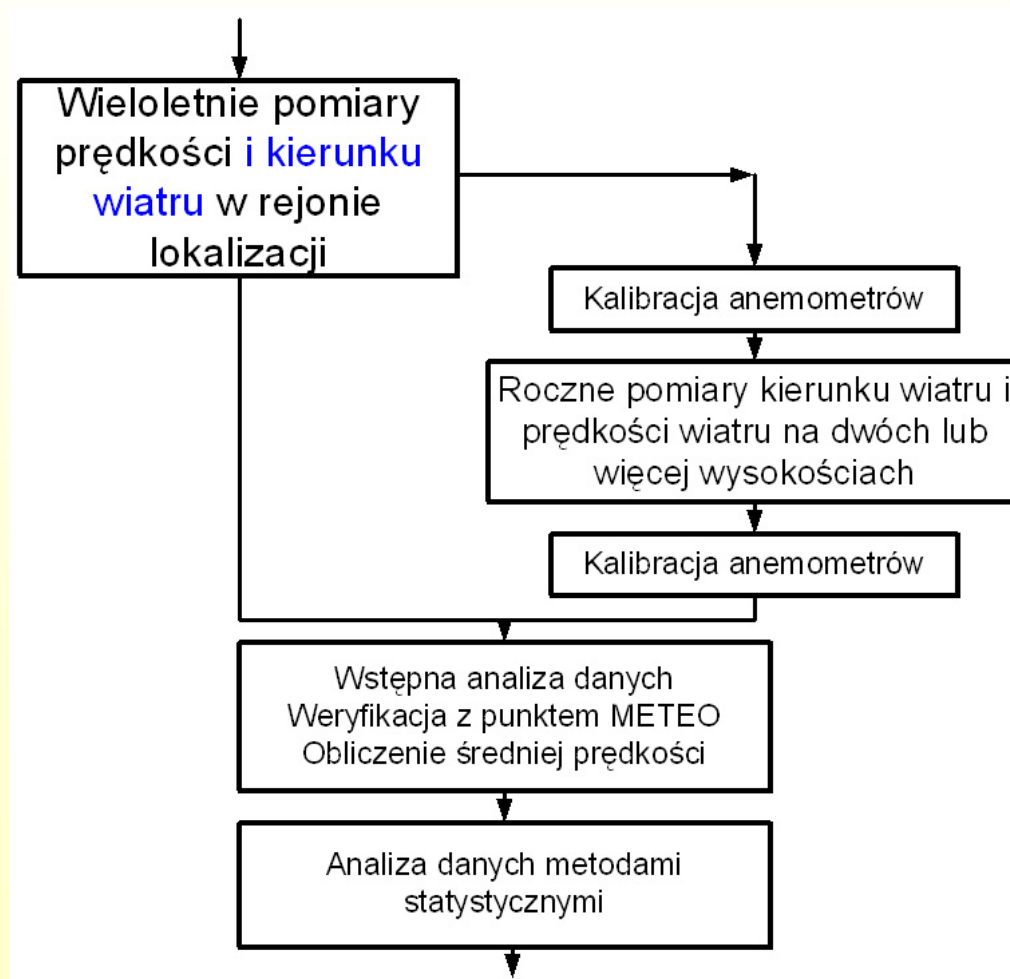
Ocena zasobów wiatru jest przedsięwzięciem wymagającym długotrwałych pomiarów prędkości wiatru z odpowiednią dokładnością.

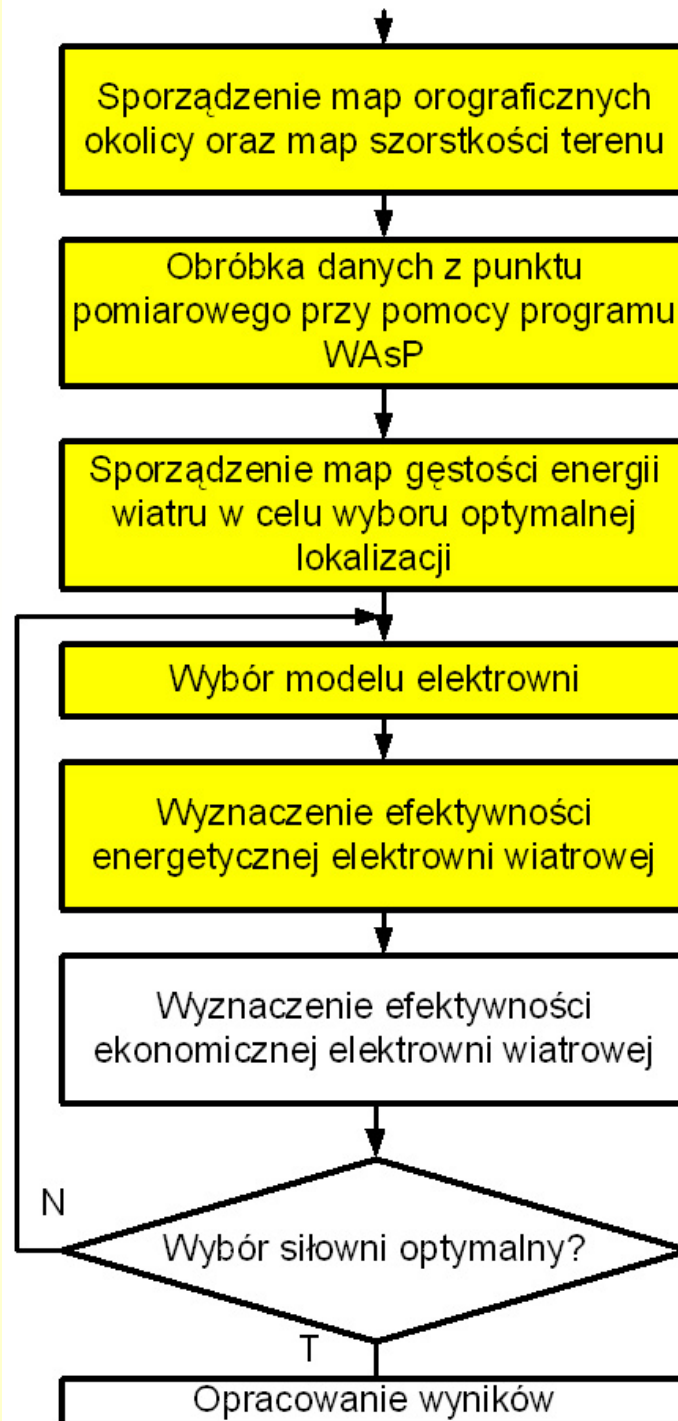
Powoduje to wydłużenie okresu planowania inwestycji (roczne pomiary prędkości wiatru w okolicy lokalizacji elektrowni, wieloletnie pomiary meteorologiczne).

## **Standardy europejskie określają warunki pomiaru prędkości i kierunku wiatru, w celu oceny potencjału energetycznego wiatru:**

- czas pomiaru- powinien być ciągły i wynosić conajmniej 1 rok,
- maszt pomiarowy- najlepiej umieścić w miejscu przyszłej lokalizacji turbiny wiatrowej,
- odległość, na którą można ekstrapolować dane z jednego punktu jest odwrotnie proporcjonalna do wysokości względnych terenu, stopnia złożoności rzeźby i szorstkości, zatem wysokość masztu nie powinna być mniejsza niż 30-40m,
- zalecane jest instalowanie minimum dwóch wiatromierzy na różnych wysokościach nad gruntem (dla potrzeb ekstrapolacji danych na wyższe wysokości),
- czas uśredniania pomiarów powinien wynosić od 10 minut do jednej godziny.

# Uproszczony algorytm wyznaczania optymalnej lokalizacji elektrowni wiatrowej





## **W skład typowego systemu monitoringu parametrów energetycznych wiatru wchodzi:**

-urządzenie przetwarzające wyniki pomiaru oraz gromadzące uśrednione dane pomiarowe- tzw. logger,

-nadajniki prędkości wiatru (anemometry),

-nadajniki kierunku wiatru,

-maszt pomiarowy.

Opcjonalnie system pomiarowy może być wyposażony w:

-czujnik temperatury powietrza,

-czujnik ciśnienia atmosferycznego,

(w celu określenia gęstości powietrza).

## **Historyczne oraz współczesne urządzenia pomiarowe, stosowane w meteorologii oraz metrologii wiatrowej:**

-cyfrowy system pomiarowy warunków meteorologicznych produkcji Zootechnika- Kraków,

-terenowa stacja meteorologiczna LAB 741,

-system pomiaru i rejestracji prędkości i kierunku wiatru firmy Artman,

-stacja pomiarowa Nomad,

-rejestrator- Dataloger EKO21,

-rejestrator firmy AMMONIT- WICOM32,

-rejestrator firmy NRG-SYSTEMS- Symphonie,

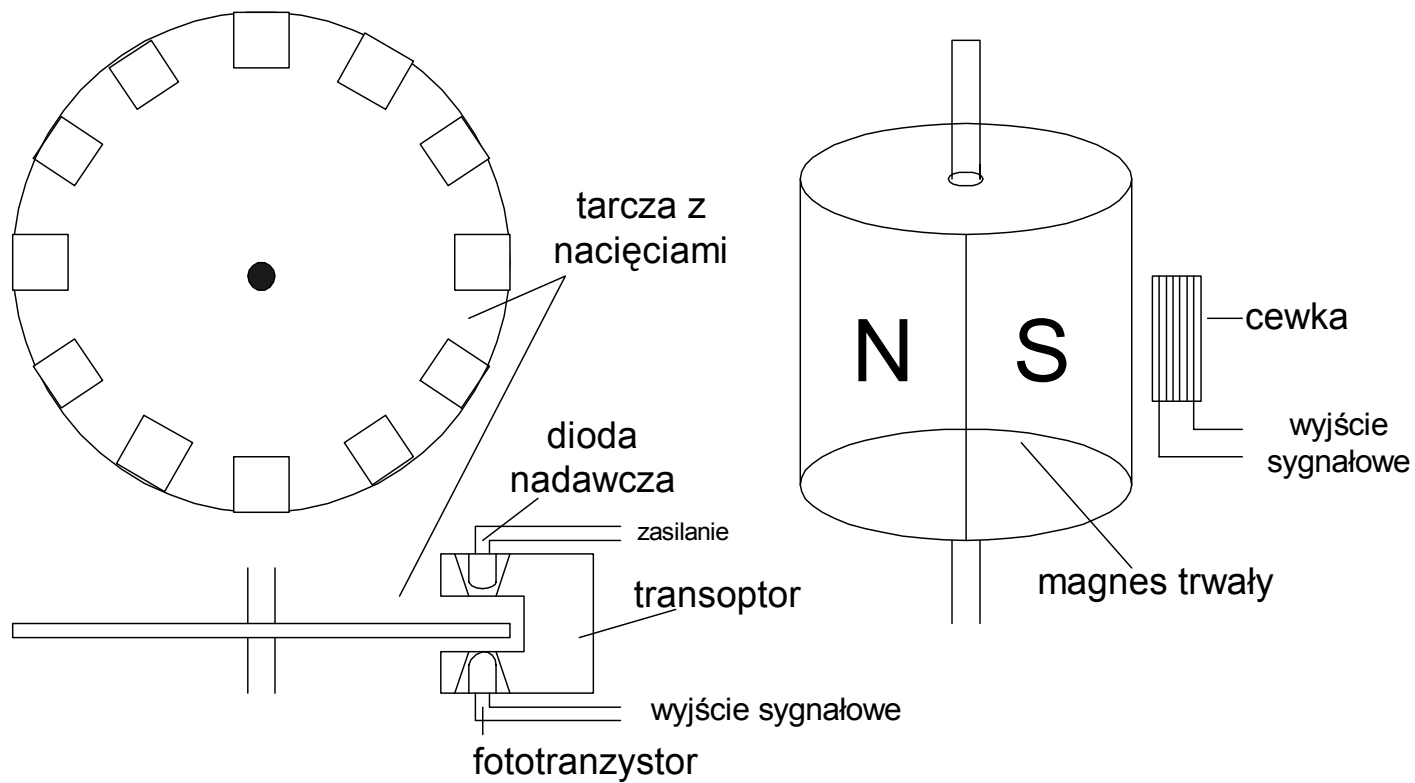


## **Czujniki prędkości wiatru- Anemometry**

Anemometry są przyrządami do pomiaru prędkości powierza. W anemometrach mechanicznych, miarą prędkości jest liczba obrotów rotora czujnika pomiarowego.

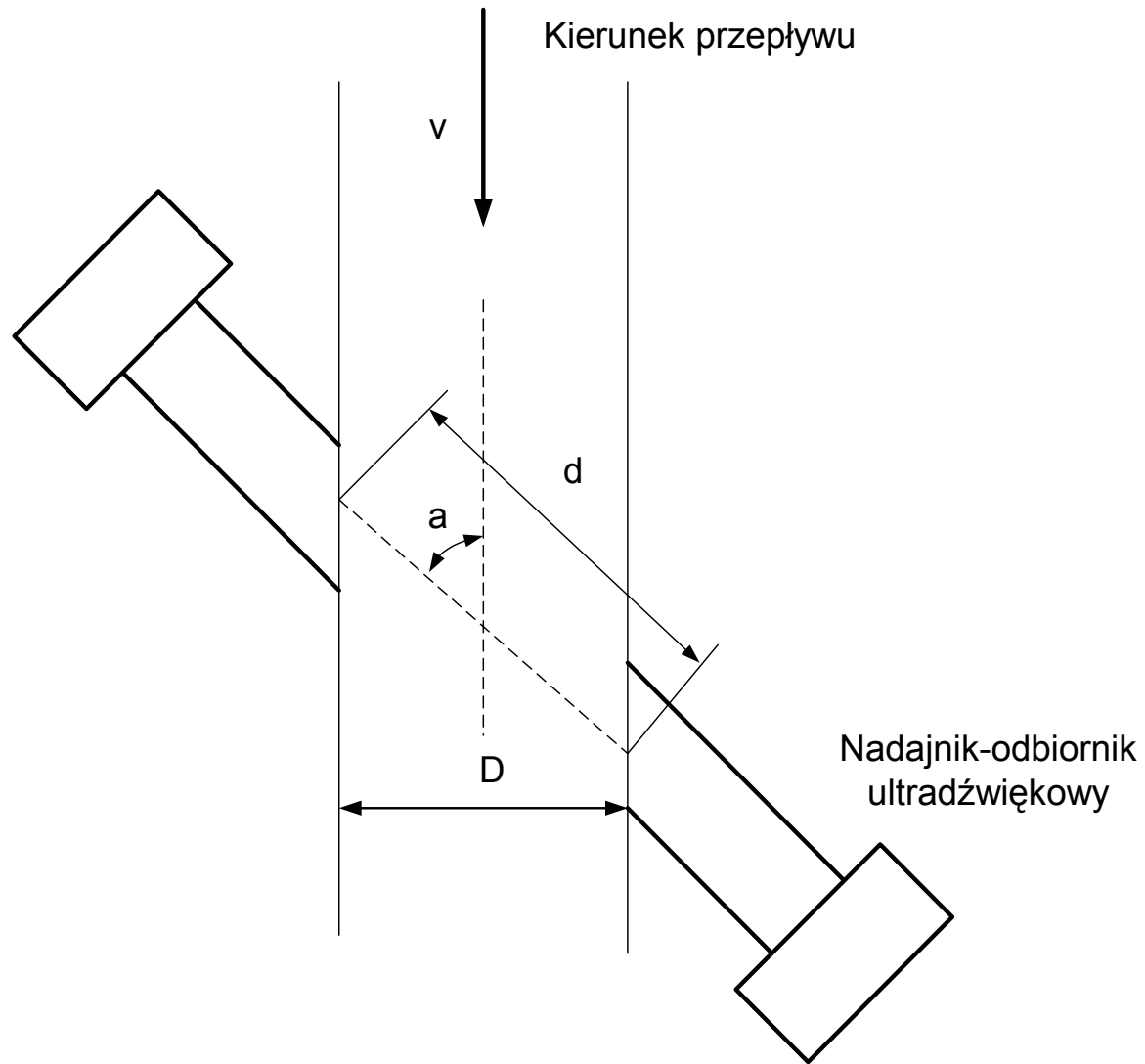
Do pomiaru prędkości powietrza używane są:

- anemometry mechaniczne,  
termoanemometry,  
anemometry ultradźwiękowe.

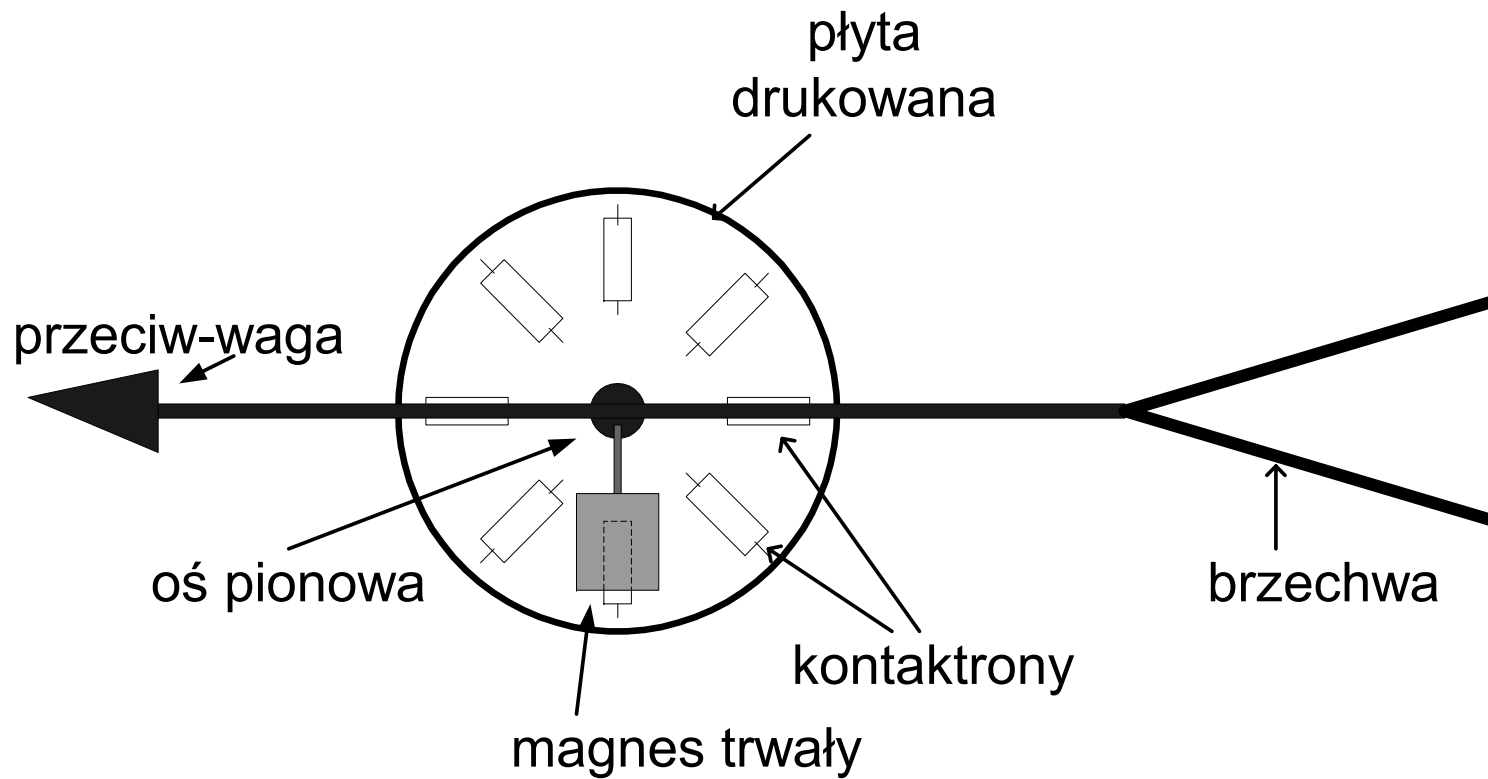


Przetworniki anemometru czasowego.

# Anemometry ultradźwiękowe



# Czujniki kierunku wiatru



Czujnik kierunku wiatru z przetwornikiem kontaktronowym  
(widok z góry)

## Przetwornik optyczny z tarczą kodową

Położenie kątowne [°]	Kod Gray'a
0	00000
22,5	00001
45	00011
67,5	00010
90	00110
112,5	00111
135	00101
157,5	00100

# Przetwornik potencjometryczny

Mierniki potencjometryczne wykorzystują w swojej konstrukcji potencjometr obrotowy o charakterystyce liniowej. Ruch osi wiatrowskazu jest przenoszony na ruch obrotowy wałka potencjometru. Przetworniki tego typu charakteryzuje duża rozdzielczość (rzędu  $1^\circ$ ) przy równocześnie stosunkowo niskiej dokładności ( $3^\circ$ ). Ich wadą jest duża wrażliwość na zmiany warunków temperaturowych oraz na zmiany wilgotności, a także mała trwałość mechaniczna (elementy cierne). Ponadto w tego rodzaju przetwornikach istnieje obszar „martwy” pomiaru kąta (pomiędzy początkiem a końcem warstwy rezystancyjnej).



Anemometr



Czujnik kierunku wiatru



Logger



Systemy pomiarowe wykorzystywane w LMEW- AGH



**Na podstawie pomiaru prędkości wiatru wyznaczane są parametry energetyczne wiatru.**

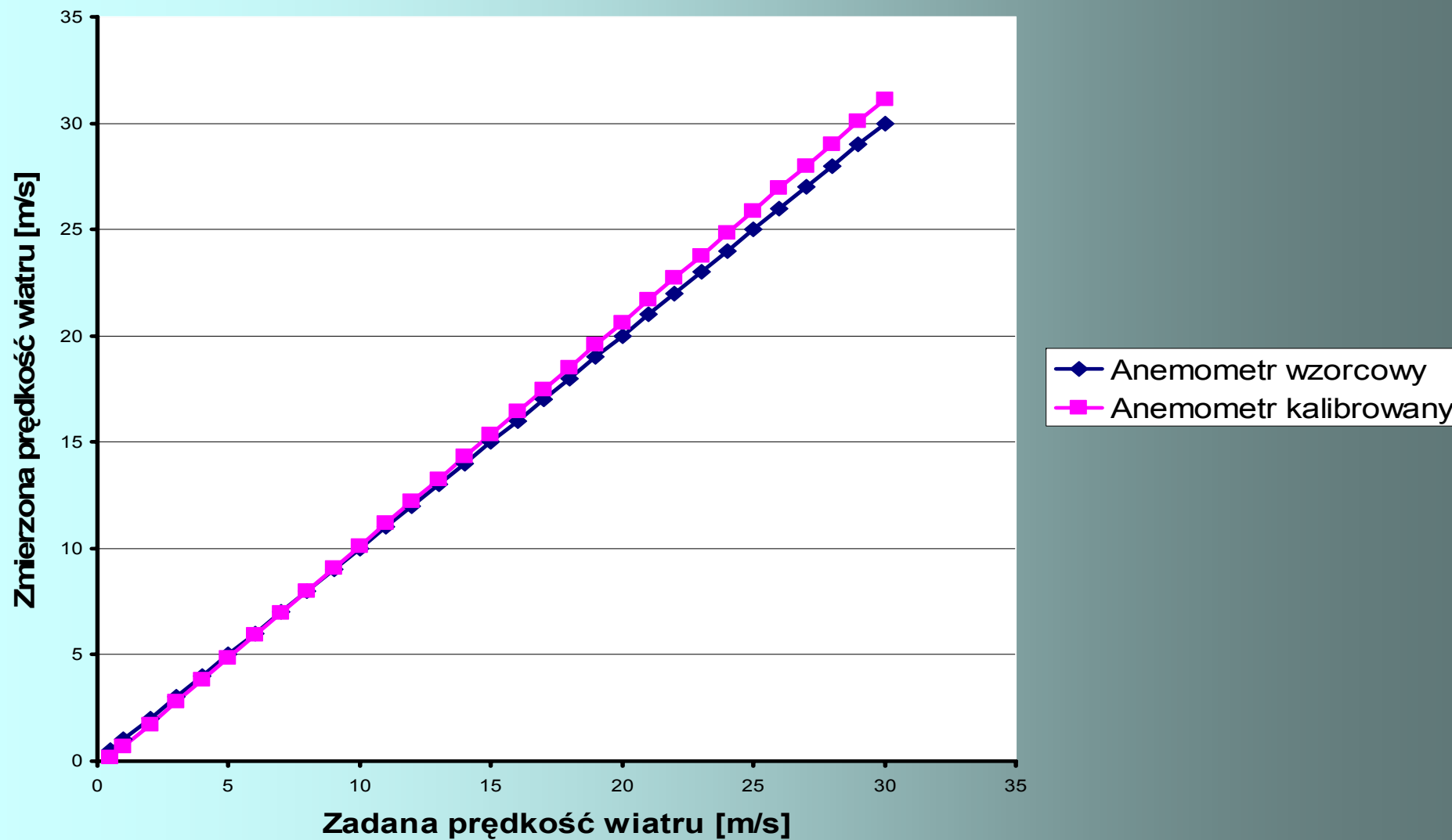
Moc jednostkowa wiatru (moc wiatru przypadająca na jednostkę powierzchni  $1\text{m}^2$ ) [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]

$$P_w = \frac{1}{2} \rho v^3$$

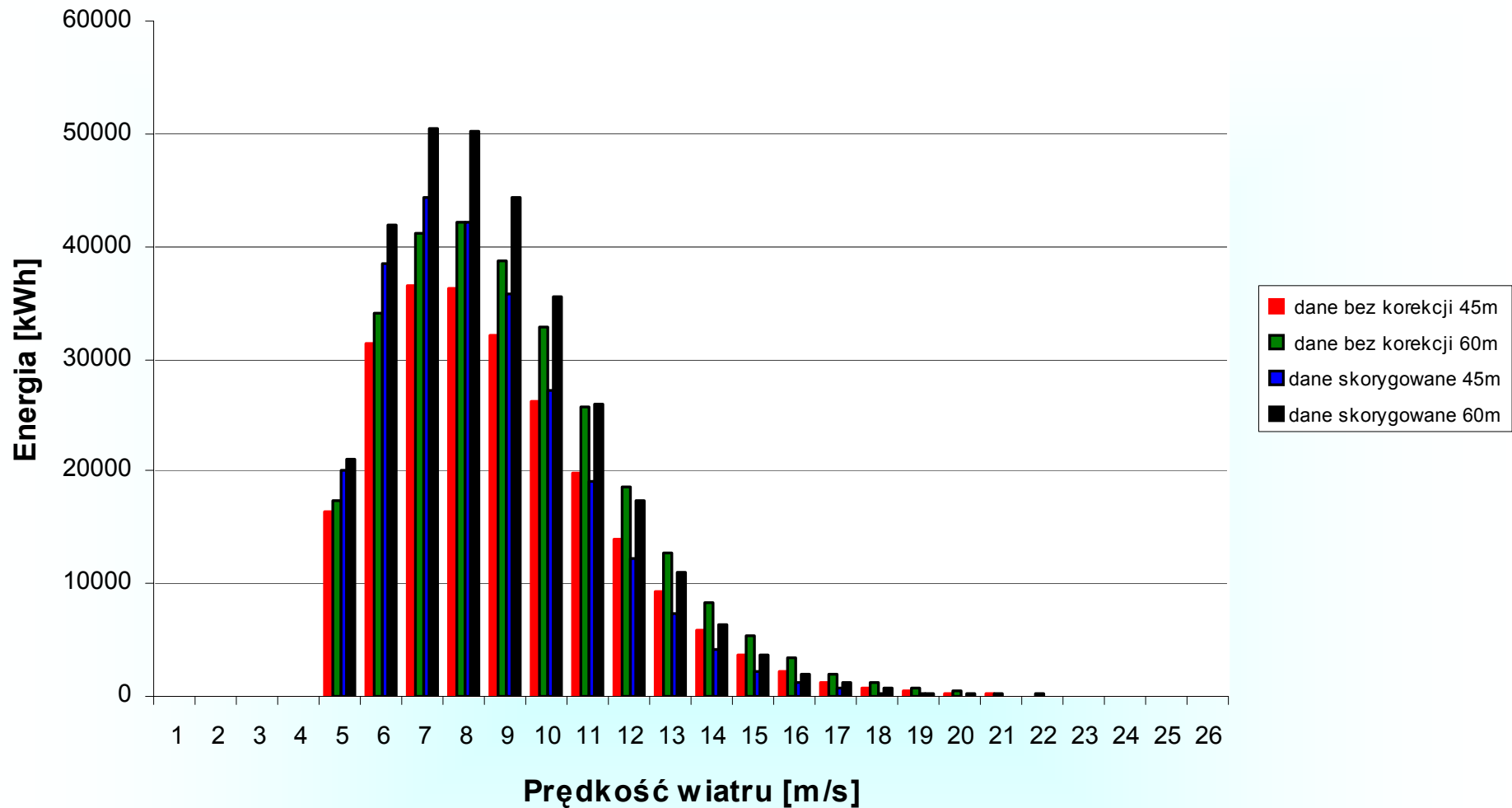
$\rho$  - gęstość powietrza (przyjmuje się że średnia roczna wynosi  $1,225 \text{ kg}/\text{m}^3$ ),

Dokładność pomiaru prędkości wiatru ma znaczący wpływ na wyznaczanie mocy wiatru.

## Wyniki kalibracji anemometru



Wynik kalibracji anemometru w tunelu aerodynamicznym



Roczna produkcja energii wiatru produkowanej przez elektrownię Vestas 660 kW, szacowana metodami statystycznymi na podstawie danych empirycznych z anemometru, bez korekcji i z korekcją po kalibracji.

	<b>Dane bez korekcji 45m</b>	<b>Dane skorygowane 45m</b>	<b>Dane bez korekcji 60m</b>	<b>Dane skorygowane 60m</b>
<b>Energia roczna [kWh]</b>	236642	285875,6	255454,7	312628,1

Wartość błędu względnego obliczonej energii, produkowanej przez elektrownię dla wysokości wieży 45m wynosi:  $-7,36\%$  a dla wysokości 60m:  $-8,56\%$ .

## **Problemy związane z uzyskaniem kompletnych wyników pomiarów parametrów energetycznych wiatru:**

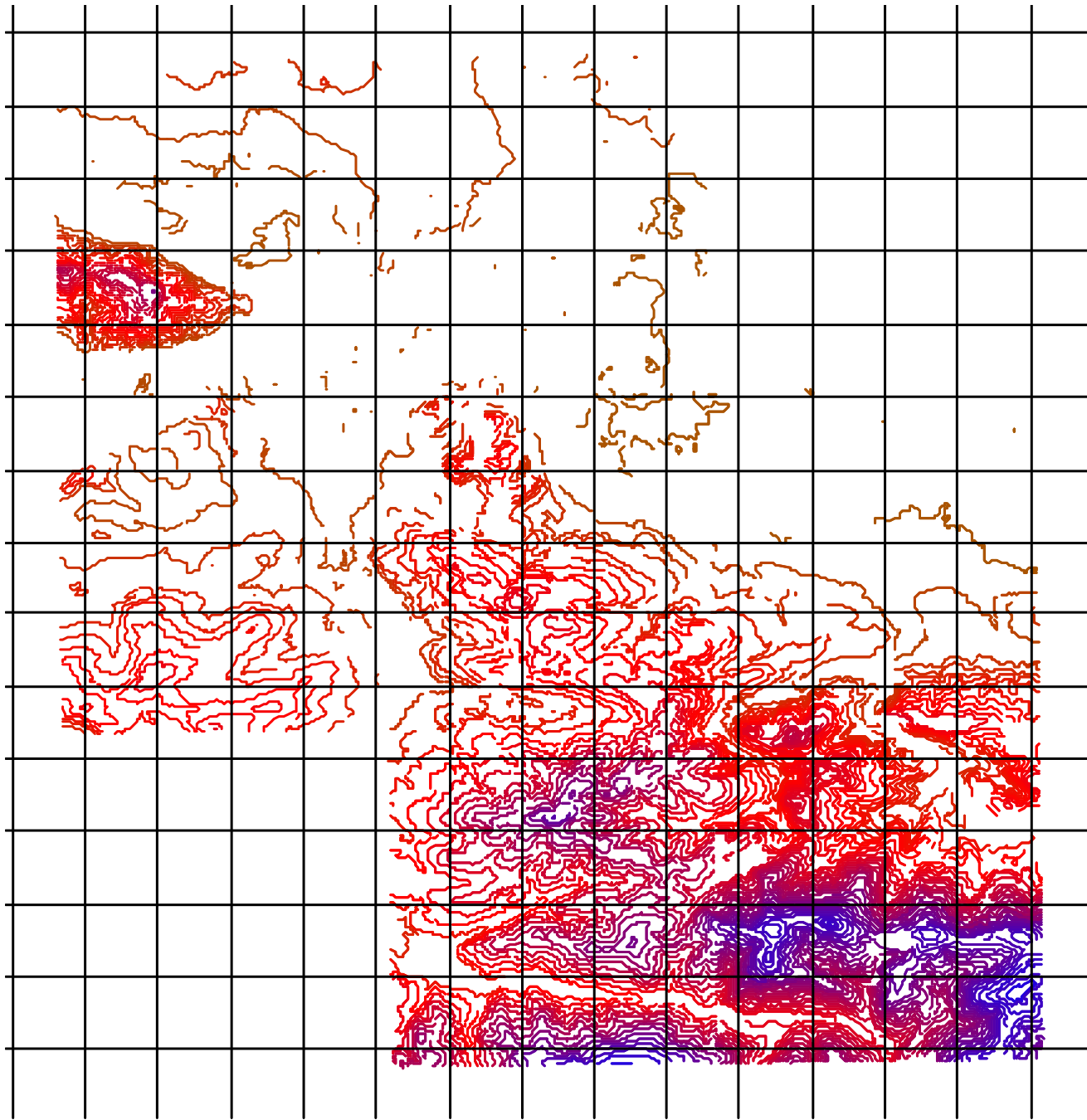
- kradzieże i dewastacja,
- wyładowania atmosferyczne,
- awaryjność urządzeń pomiarowych,
- wpływ warunków atmosferycznych na pracę czujników pomiarowych (oblodzenia).

# Wykorzystanie danych pomiarowych do projektowania lokalizacji elektrowni wiatrowej z użyciem programu WAsP

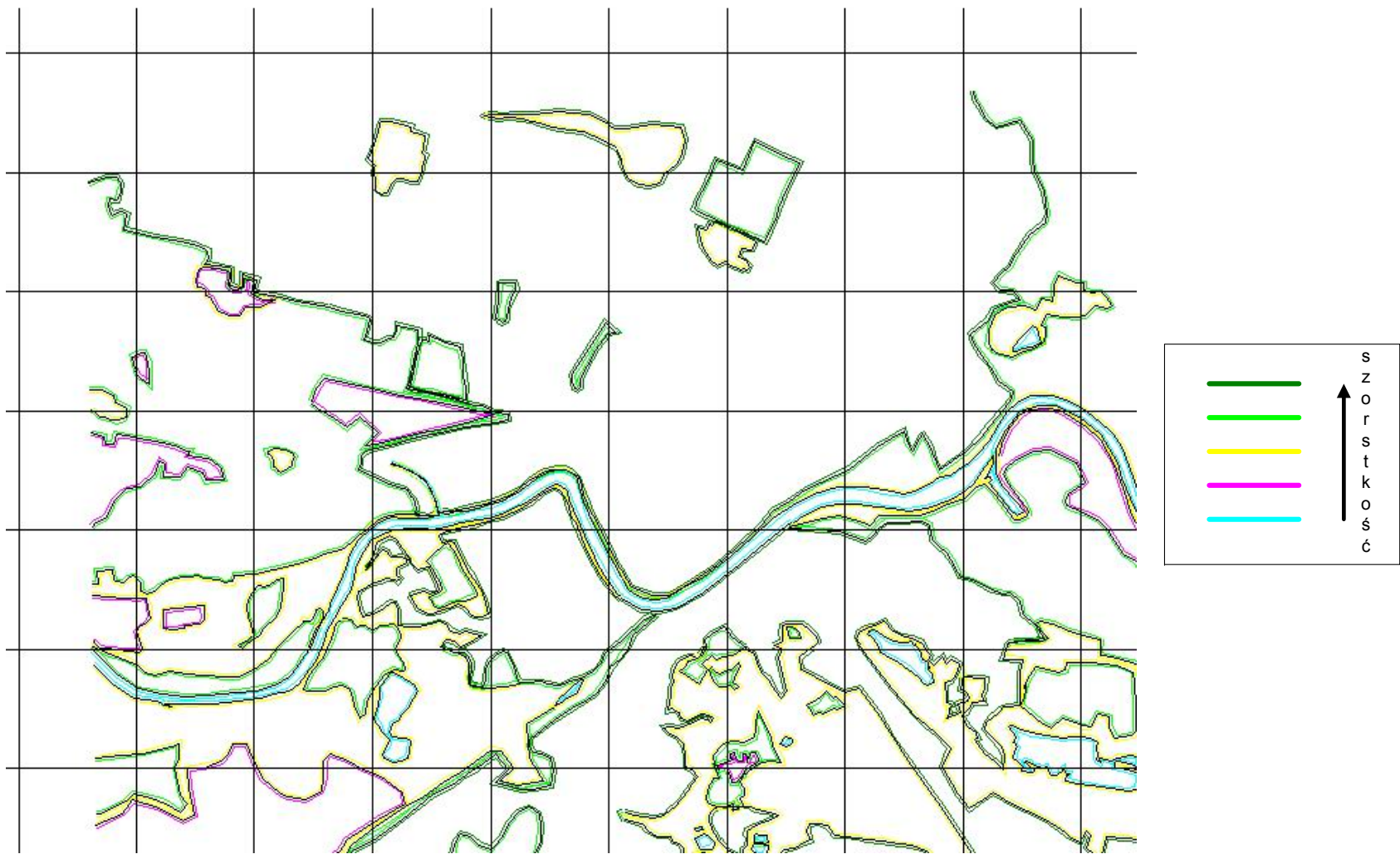
Na rynku są dostępne zaawansowane programy do analizy danych pomiarowych ze stacji meteorologicznych, Umożliwiają one projektowanie lokalizacji pojedynczych elektrowni oraz farm wiatrowych. Oczywistym jest iż jakość (dokładność) danych pomiarowych ma decydujący wpływ na wiarygodność uzyskanych wyników.

Dane wejściowe dla programu WAsP:

- cyfrowa mapa orograficzna terenu wraz z liniami oddzielającymi obszary o różnej klasie szorstkości,
- dane pomiarowe o prędkości i kierunku wiatru (w co najmniej 8 sektorach kierunku wiatru).

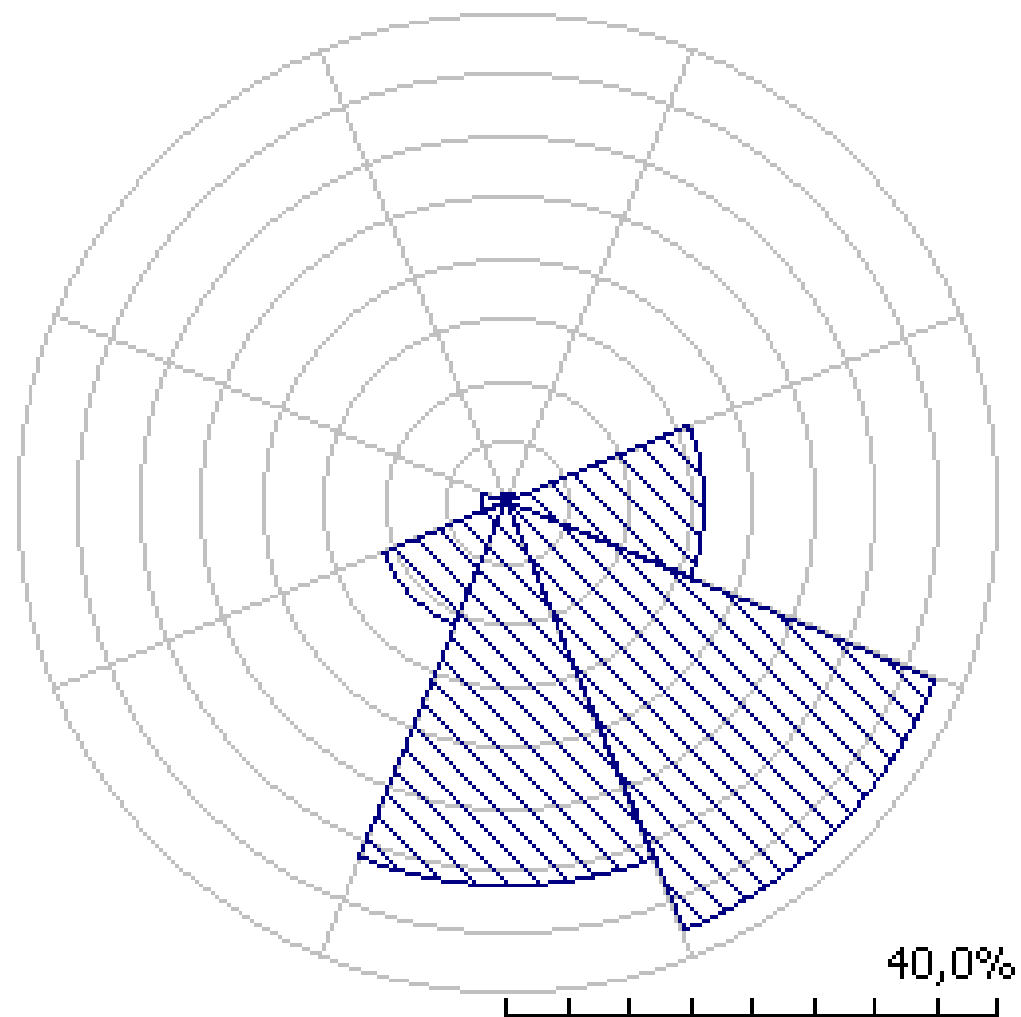


Mapa orograficzna  
okolic Krakowa

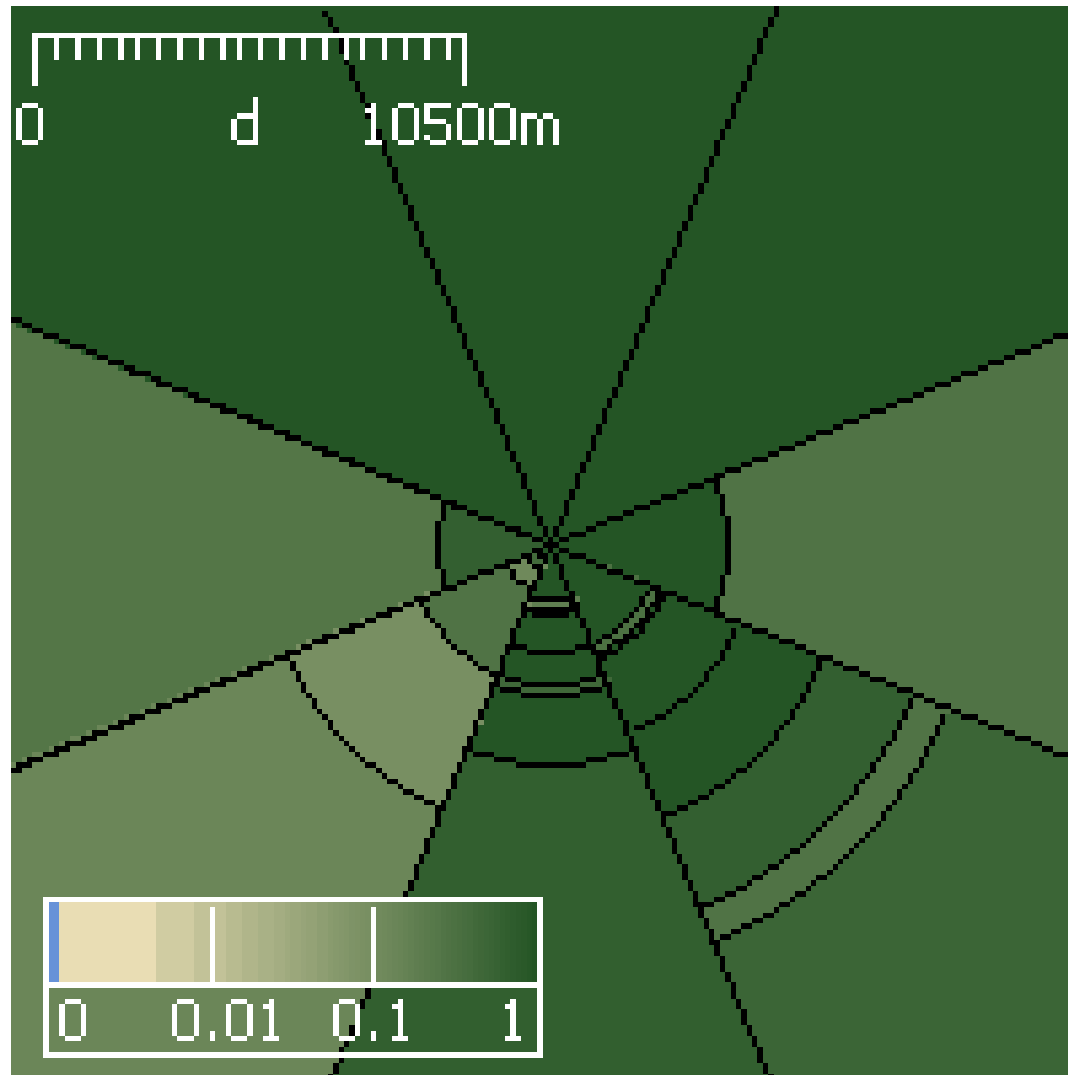


Zaznaczenie obszarów o różnych klasach szorstkości

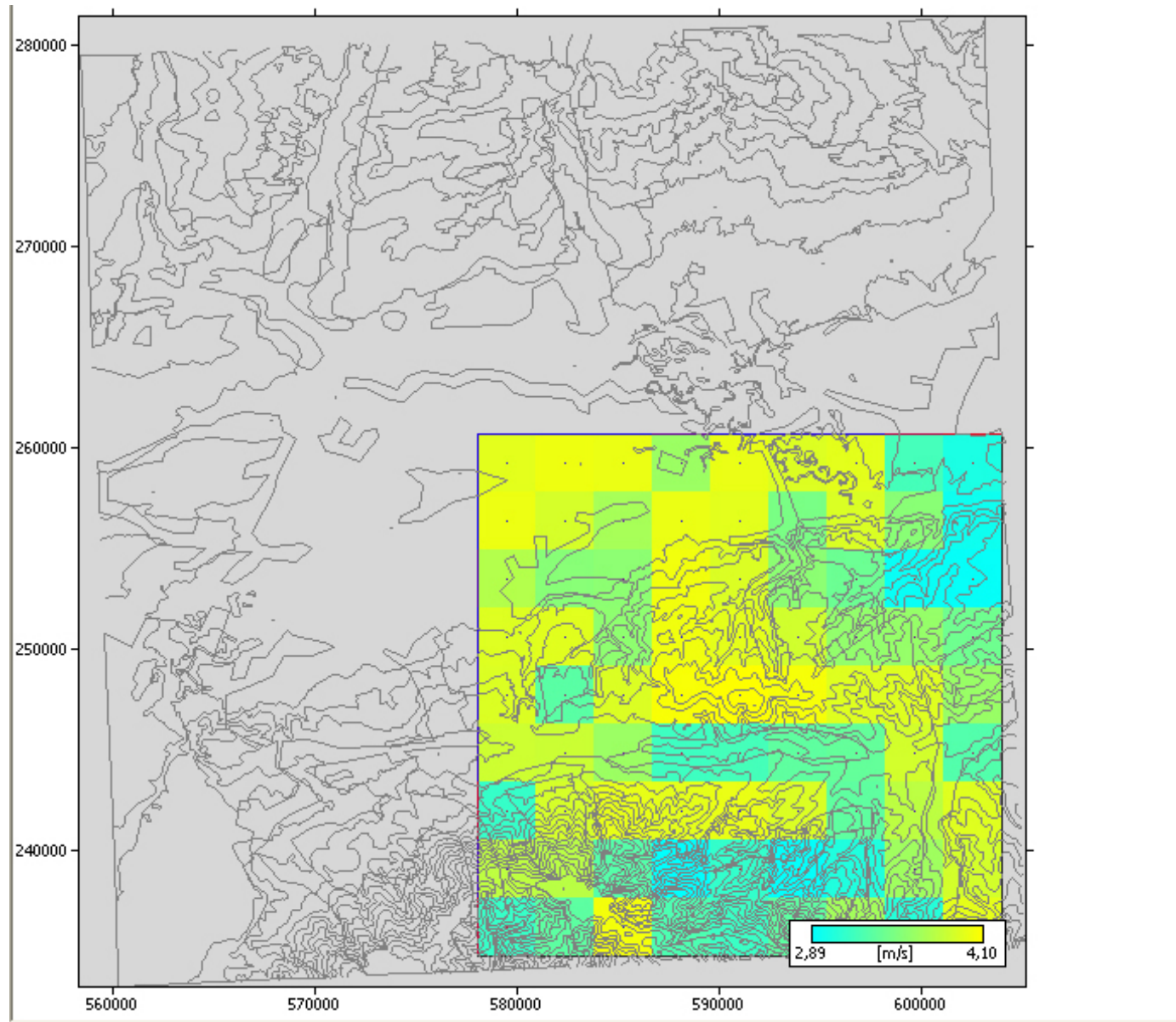




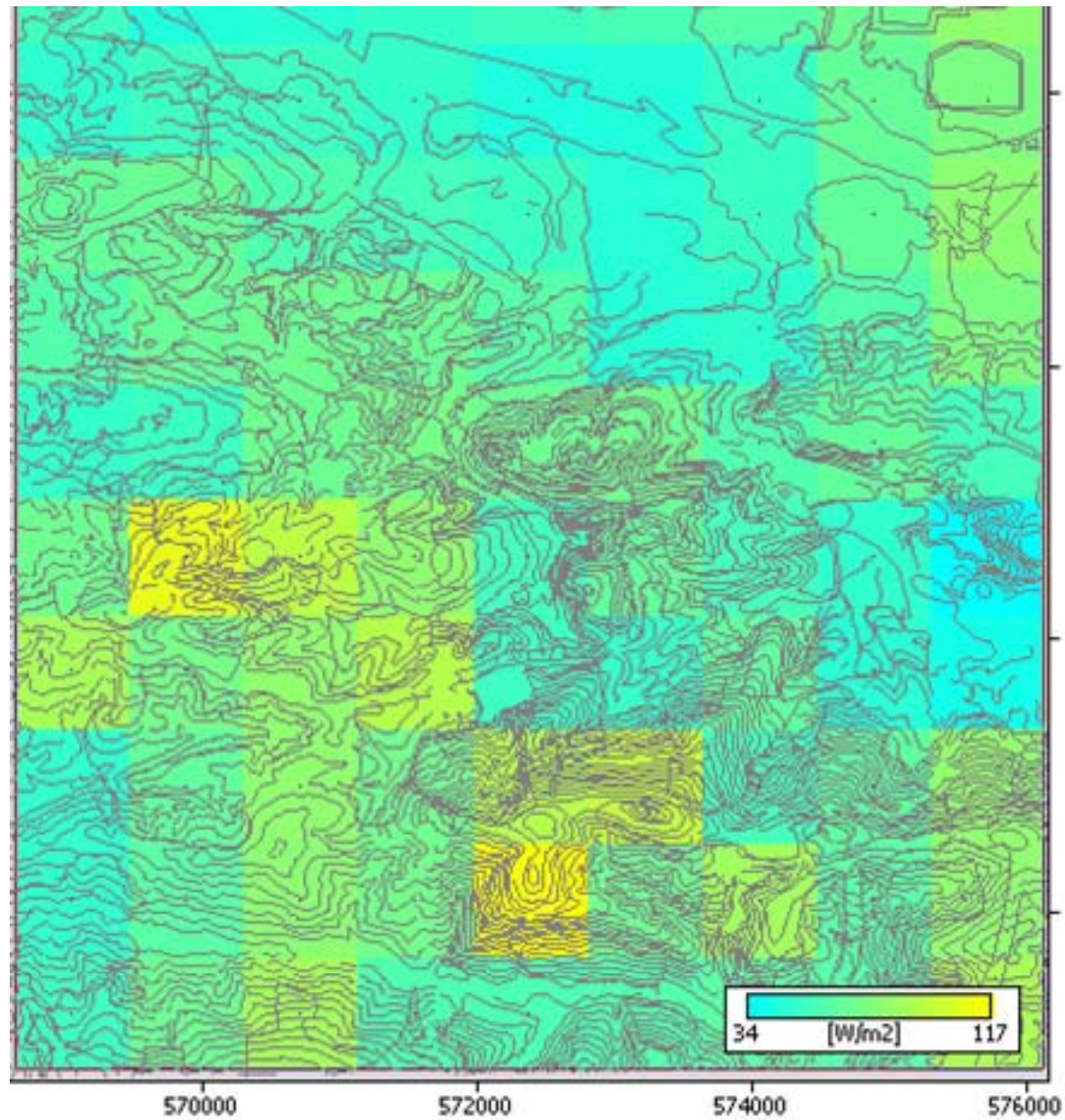
Róża wiatrów [rysunek z programu WAsP]



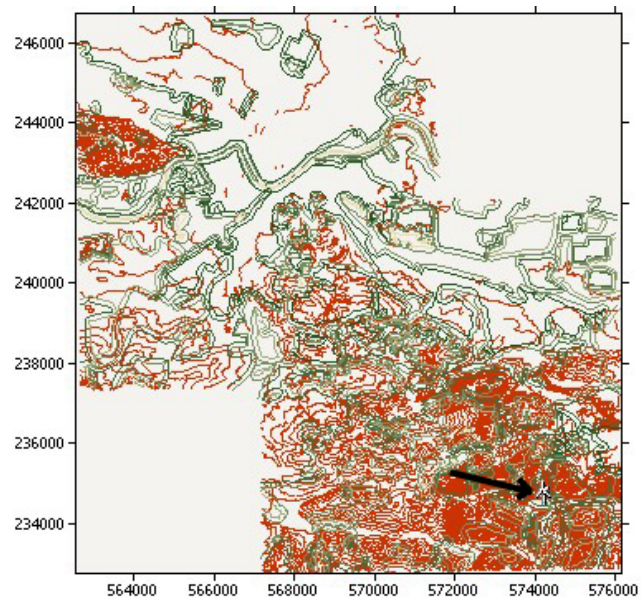
Róża szorstkości w miejscu lokalizacji  
masztu pomiarowego (*WAsP*)



Mapa średnich prędkości wiatru w okolicach Rzeszowa [WAsP]



Mapa gęstości mocy wiatru w okolicach Wieliczki  
[WAsP]



Site	Location [m]	Turbine	Height [m]	Net AEP [MWh]
Wieliczka 1 VESTASV47	(572816,23 6362)	Vestas V47 (660 kW)	45	382,321
Wieliczka 1 VESTASV47	(572816,23 6362)	Vestas V47 (660 kW)	60	436,868

Raport końcowy programu WAsP dla wybranej lokalizacji  
elektrowni

## **Praktyczne wykorzystanie wyników badań**

Na podstawie dokonanych w latach 90-tych ubiegłego wieku pomiarów warunków wiatrowych w Województwie Podkarpackim udokumentowano zasoby energii wiatru w rejonie Przełęczy Dukielskiej.

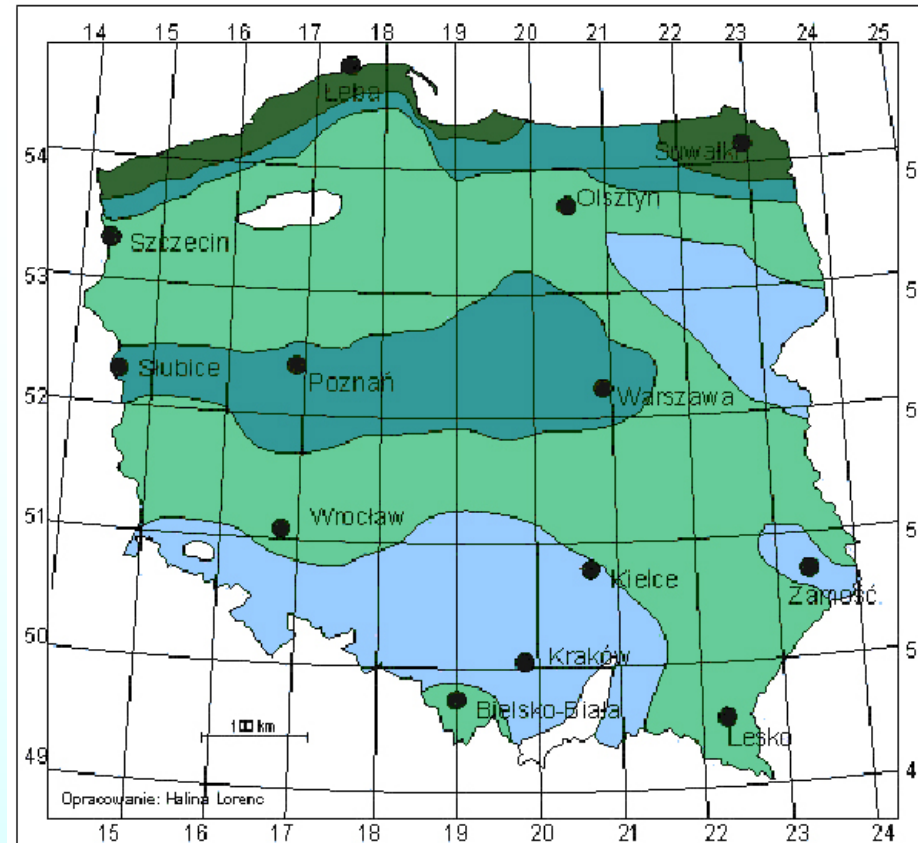
W 2009 roku została oddana w tym rejonie do użytku farma wiatrowa o mocy 10MW. W tymże samym roku oddano w Bukowsku do użytku farmę wiatrową o mocy 18MW a w gminach Orły i Żurawica o mocy 12MW.

# **Zasoby energii wiatrowej w Polsce**

Można stwierdzić, że w Polsce nie posiada profesjonalnie wykonanej, mapy prędkości i energii wiatru, przydatnej w energetyce wiatrowej. IMiGW publikuje mapę zasobów wiatru dla obszaru Polski (rysunek), opracowaną na podstawie wieloletnich pomiarów z kilkudziesięciu stacji meteorologicznych. Nie mogą one stanowić wystarczającej informacji o zasobach wiatru, oczekiwanych prędkościach wiatru i energii wiatru w celu wyboru lokalizacji elektrowni wiatrowych. Stacje pomiarowe IMiGW są na ogół źle ulokowane (zasłonięte drzewami, budynkami), posiadają niskie maszty pomiarowe, przestarzałe wyposażenie.

W takiej sytuacji, inwestującym w energetykę wiatrową pozostaje indywidualne wykonywanie pomiarów w celu wyboru najkorzystniejszej lokalizacji elektrowni.





- Strefy:
- I - Wybitnie korzystna
  - II - Bardzo korzystna
  - III - Korzystna
  - IV - Mało korzystna
  - V - Niekorzystna

Ośrodek  
Meteorologii



Aktualizacja mapy na podstawie okresu obserwacyjnego 1971-2000

## Obszary warunków wiatrowych na terenie Polski

Źródło: IMiGW

## **Opublikowane wyniki badań warunków wiatrowych, realizowanych na terenie polski**

Pomiar przy pomocy stacji meteorologicznej IMiGW (średnie miesięczne i roczne prędkości wiatru):

Świnoujście, Ustka, Łeba, Hel, Suwałki, Rzeszów, Warszawa.

Pomiar przy pomocy dedykowanych punktów pomiarowych (rozkłady godzinowe i średnie miesięczne rozkłady wiatru):

Jasionka\*, Barwinek\*, Popielno, Kraków, Barzowice, Skoszewo, Charbrowo, Swarzewo, Kisielice.

Dane z pracującej elektrowni (miesięczne wielkości energii elektrycznej):

Lisewo, Starobienino.

\* LMEW-AGH

Niezbędne jest stworzenie jednolitego systemu zbierania i przetwarzania oraz udostępniania danych, dotyczących warunków wiatrowych.

System umożliwi określenie położenia obszarów korzystnych dla lokalizacji elektrowni i farm wiatrowych.

Informacje tego typu, będą użyteczne dla organów administracji samorządowej do celów planowania przestrzennego, z uwzględnieniem rozwoju energetyki wiatrowej.

Zakłady energetyczne uzyskają informacje dotyczące rozwoju sieci energetycznej w kraju.

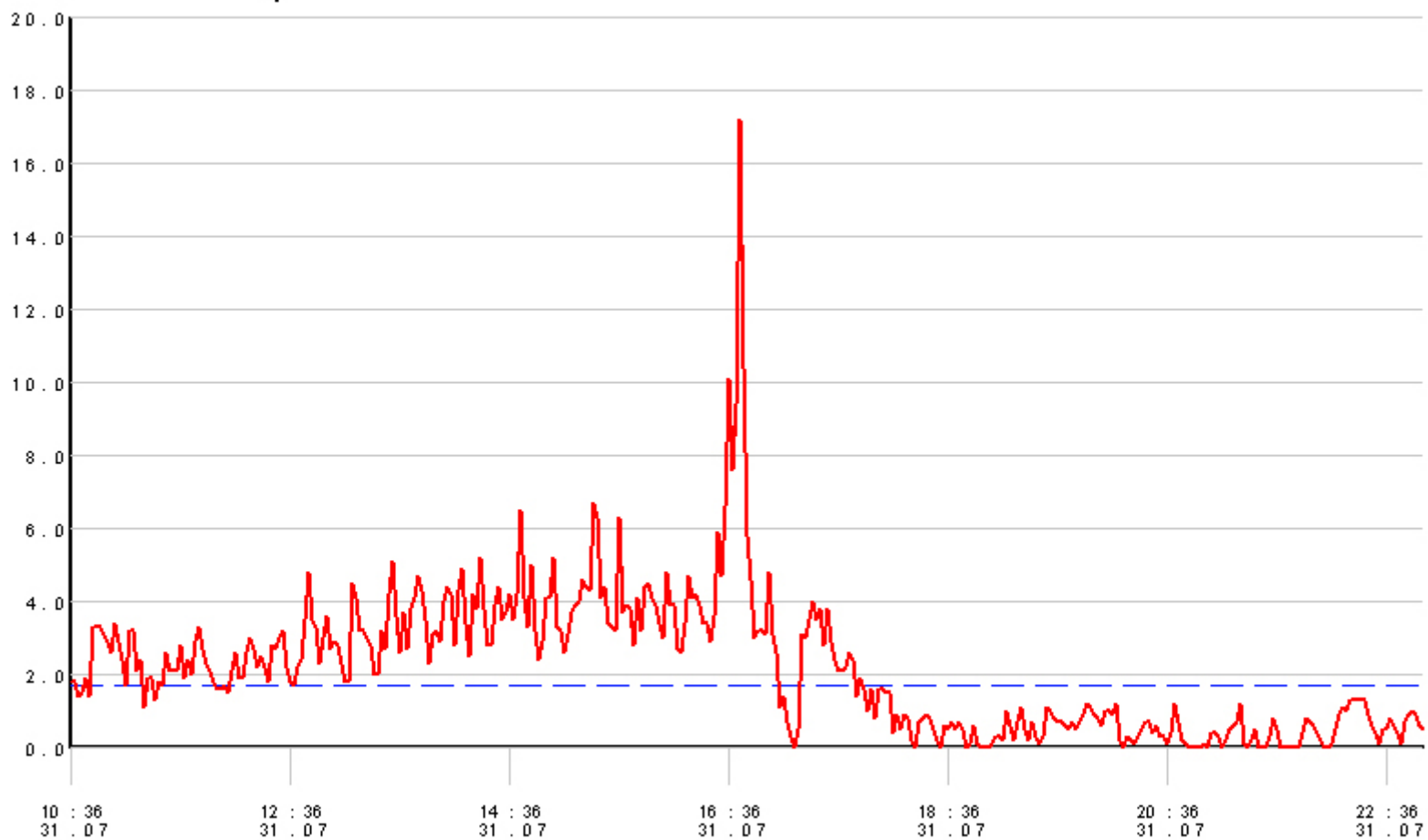
Laboratorium Monitoringu Energii Wiatrowej w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie od 1993 roku zajmuje się konstruowaniem aparatury pomiarowej oraz profesjonalną obróbką danych pomiarowych dla potrzeb energetyki wiatrowej.

Doświadczenia te są m.in.. wykorzystywane w działalności Akademii Górniczo-Hutniczej w ramach Małopolsko Podkarpackiego Klastra Czystych Energii.

Dodatkowe zastosowanie  
systemów monitoringu energii  
wiatru

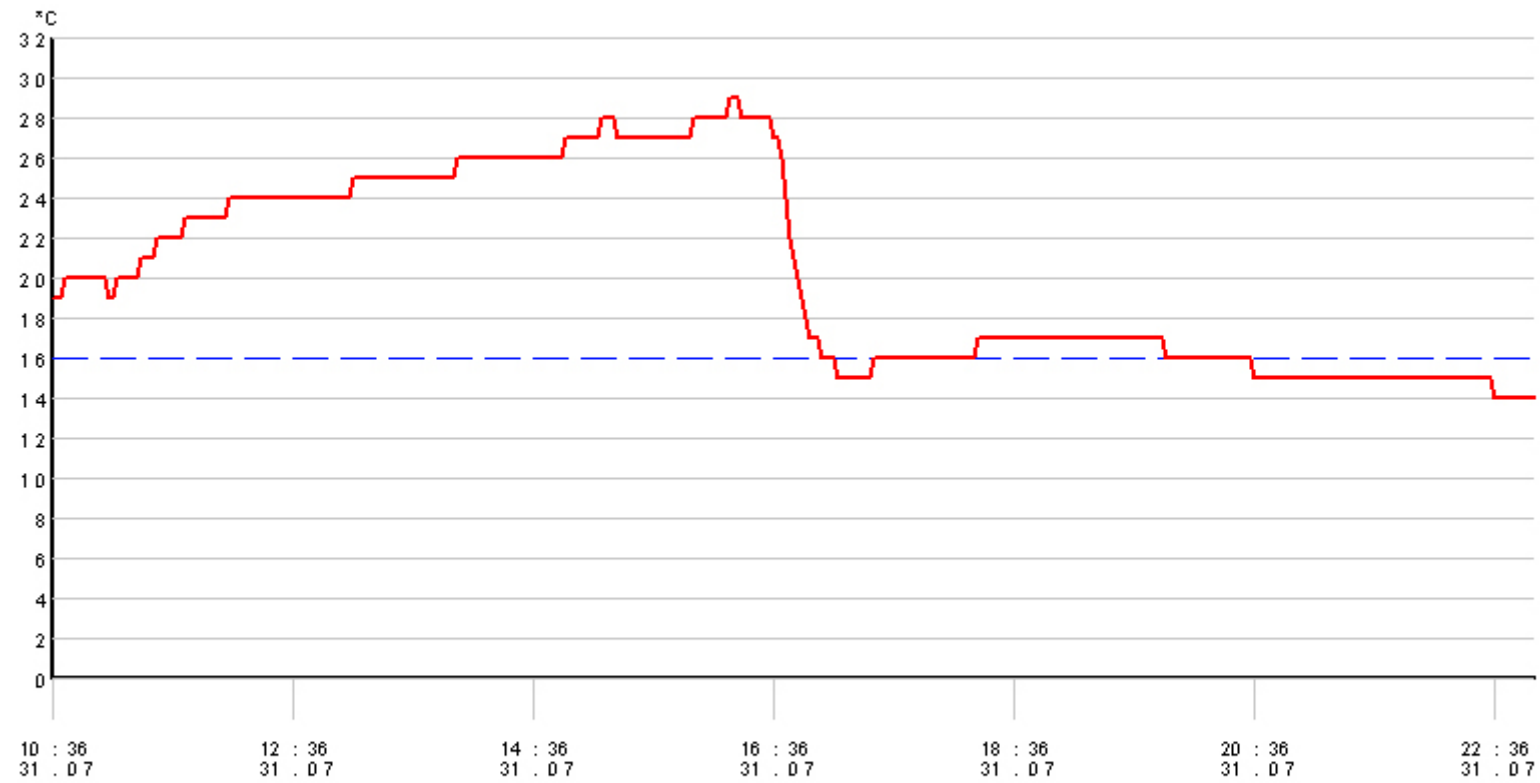
25.07.2002 rok

Nazwa projektu:	?	Wysokosc npm:	?
Lokalizacja:	?	Zakres czasu pomiaru:	02 - 07 - 25 do 02 - 08 - 28
Srednia:	1.7 [m/s]	Czas usredniania:	0 godz 2 min
m/s	?		



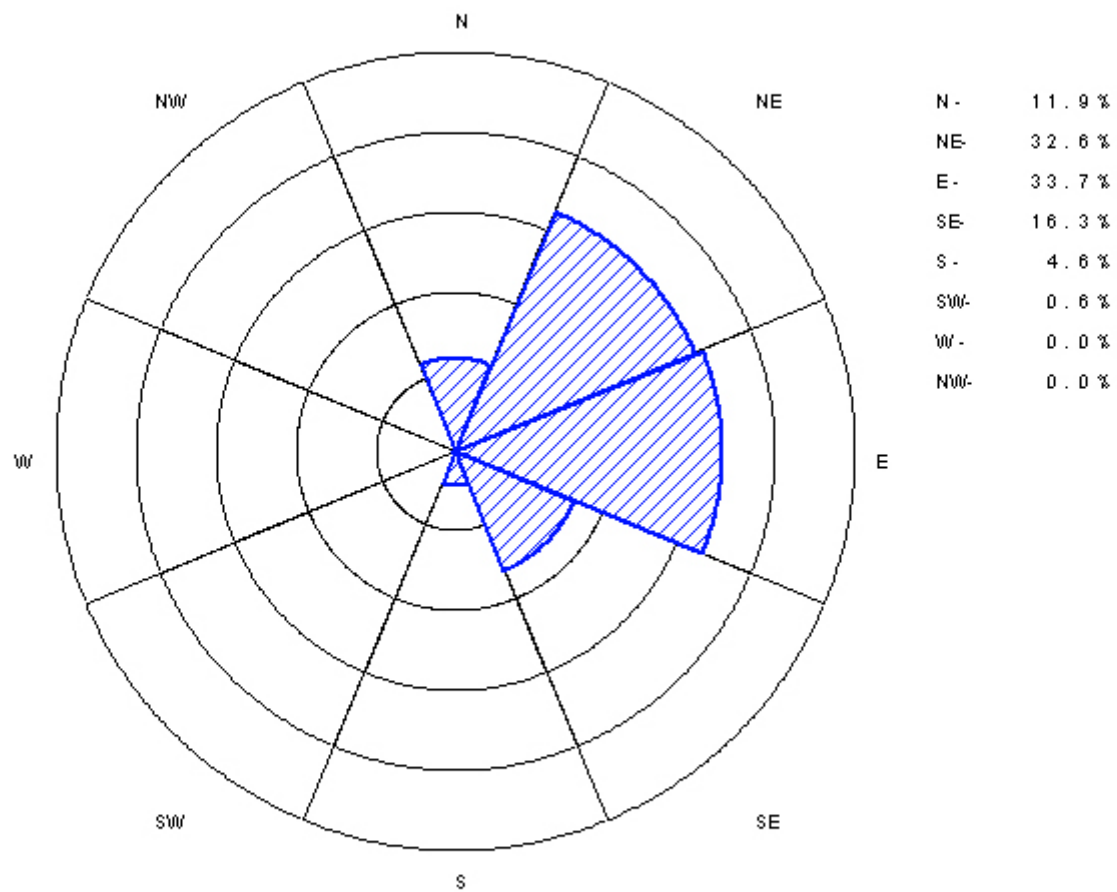
WIATRPROJEKT

Nazwa projektu: ?      Wysokosc npm: ?  
Lokalizacja: ?      Zakres czasu pomiaru: 0 2 - 0 7 - 25 do 0 2 - 0 8 - 28  
Srednia: 1 6 [°C]      Czas usredniania: 0 godz 2 min  
?



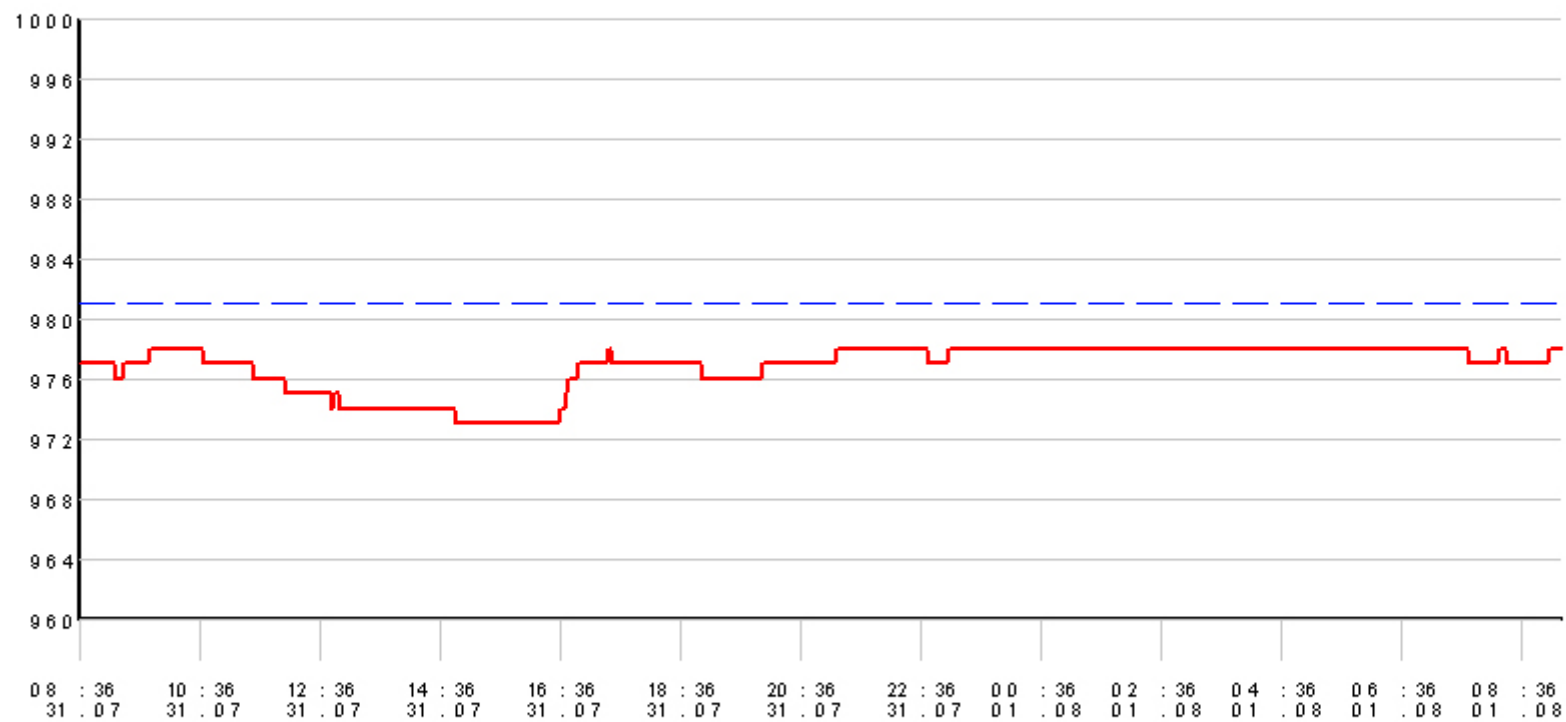
WIATRPROJEKT

Nazwa projektu: ?      Wysokosc npm: ?  
Lokalizacja: ?      Zakres czasu pomiaru: 02 - 07 - 25 do 02 - 08 - 28  
Srednia: ?      Czas usredniania: 0 godz 2 min



WIATRPROJEKT

Nazwa projektu: ? Wysokosc npm: ?  
Lokalizacja: ? Zakres czasu pomiaru: 0 2 - 0 7 - 25 do 0 2 - 0 8 - 28  
Srednia: 9 8 1 [hPa] Czas usredniania: 0 godz 2 min  
?



WIATRPROJEKT



