

*Katarzyna Piotrowicz, Rafał Bąkowski  
Marek Kozłowski*

## ENERGIA WIATRU W WYBRANYCH SYTUACJACH SYNOPTYCZNYCH W POŁUDNIOWO-WSCHODNIEJ POLSCE

W celu określenia prawidłowości w przestrzennym i sezonowym zróżnicowaniu warunków anemologicznych w południowo-wschodniej Polsce posłużono się obliczonymi wartościami energii wiatru, zarówno średnich jego prędkości, jak i energii, jaką miały porywy wiatru. Wykorzystano w tym celu pomiary z 15 stacji synoptycznych zlokalizowanych w południowo-wschodniej Polsce z lat 2000–2004. Szczególną uwagę zwrócono na wiatry o wyjątkowo dużej energii. Wskazano regiony szczególnie narażone na pojawienie się huraganowych wiatrów oraz sytuacje synoptyczne, które przyczyniają się do ich występowania. Omówiono również skutki, jakie powodują wiatry o dużej sile.

Słowa kluczowe: wiatr, energia wiatru, porywy wiatru, południowo-wschodnia Polska  
Key words: wind, wind energy, wind gust, south-eastern Poland

### WSTĘP

Według Raportu Światowej Organizacji Meteorologicznej na liście żywiołów, które spowodowały największe straty materialne w Europie w ostatnich dziesięciu latach, silne wiatry zajmowały drugie miejsce, zaraz po powodziach (Cornford 2002). Zdaniem niektórych klimatologów w ostatnich latach nad naszym kontynentem wzrasta częstość pojawiania się wiatrów o dużych prędkościach (Knippertz i in. 2000; Leckebusch, Ulbrich 2004; Ulbrich i in. 2001). Przyczynę upatruje się we wzroście temperatury powietrza na Ziemi. W Polsce wzrost temperatury powietrza, szczególnie w okresie zimowym, jest potwierdzony wynikami badań m.in.: J. Degirmendzicia i in. (2004), K. Kożuchowskiego i E. Żmudzkiej (2001), H. Lorenc (2000, 2001) oraz J. Trepińskiej (2000).

Scenariusze zmian klimatu opracowywane są na podstawie modeli klimatycznych, w których uwzględnia się obserwowany już w wielu regionach kuli ziemskiej wzrost temperatury powietrza. Z obliczeń

G.C. Leckebuscha i U. Ulbricha (2004) wynika, że w ciągu najbliższych kilkudziesięciu lat wzrośnie liczba silnych wiatrów w Europie Środkowej o około 20%. Prędkość wiatrów będzie też wzrastać. Huraganowe wiatry mogą być nawet silniejsze o 7–10% od tych, które jeszcze niedawno występowały nad naszym kontynentem (Leckebusch, Ulbrich 2004). Autorzy zastrzegają, że jest to tylko scenariusz, a nie prognoza, niemniej jednak potwierdzeniem ich symulacji komputerowych są już obecnie, coraz częściej i stosunkowo regularnie, pojawiające się wichury nad Europą, szczególnie w zachodniej części Europy, w Irlandii, Wielkiej Brytanii, Francji, Danii, Niemczech i krajach Beneluksu. Do wyjątkowych należały m.in. trzy gwałtowne burze nad Europą w grudniu 1999 r. (Ulbrich i in. 2001). Prędkość wiatru w Danii, Niemczech i Francji przekroczyła wówczas  $51 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  ( $184 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ). W Polsce wiatr osiągnął największą prędkość podczas pierwszej z serii grudniowych burz. Na Helu zanotowano 4 grudnia 1999 r.  $43 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  ( $154,8 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ). W wyniku wichur grudniowych łącznie śmierć poniosło 130 osób, a straty materialne osiągnęły 13 mld euro (Ulbrich i in. 2001). To właśnie podczas tych wichur uszkodzeniu uległ m.in. kościół Notre Dame w Paryżu. Huraganowe wiatry wystąpiły też w listopadzie 2004 r. i styczniu 2005 r. Miały one tragiczne skutki w wielu regionach w Europie. Meteorolodzy skandynawscy ocenili, że styczniowa wichura była największą, jaka wystąpiła w rejonie środkowego Bałtyku od 40 lat. Uszkodzenia sieci elektrycznej spowodowały brak prądu w kilkuset tysiącach domów w Wielkiej Brytanii, Skandynawii, na Litwie, w Estonii i na Łotwie. Tylko na Litwie, bez elektryczności była ponad połowa tego kraju. W Szwecji z powodu silnego wiatru musiano wyłączyć elektrownię atomową. W Polsce, w tym czasie, wiatr nie był aż tak silny. Nie spowodował dużych szkód. Znacznie groźniejsza była wichura w listopadzie 2004 r., której skutki zostały przedstawione w niniejszym opracowaniu.

Wyniki symulacji przeprowadzonych przez G.C. Leckebuscha i U. Ulbricha (2004) ukazują bezpośrednią przyczynę pojawiania się silnych zimowych wichur nad Europą. Według ich obliczeń, głębokie niży znad Oceanu Atlantyckiego, które przechodzą nad Europą Północną na wschód, zmieniają trasę swoich wędrówek. Zimą, coraz częściej będą obserwowane dalej na południu naszego kontynentu. Takie niży atmosferyczne, w których obserwuje się duży gradient ciśnienia atmosferycznego inicjują bardzo silne wiatry. Również z badań K. Kłysika (1993) wynika, że częstość występowania szczególnie głębokich niżów (z ciśnieniem poniżej 990 hPa) w rejonie północnego Atlantyku i północnej Europy, w latach 1900–1990 wykazywała tendencję wzrostową. Ten potwierdzony przez autora wieloletni trend jest wynikiem wzrostu aktywności głębokich niżów, szczególnie w jesieni i zimie (Kłysik 1993).

Czy zatem rzeczywiście w Europie Środkowej, w tym również w Polsce, w związku ze wzrostem częstości pojawiania się głębokich niżów atmosferycznych nad Europą oraz zmianą trasy ich wędrówek, bardziej na południe, grozi nam niebezpieczeństwo związane z występowaniem silnych wiatrów?

W opracowaniach klimatologicznych, analizując warunki anemologiczne badanego obszaru, wykorzystuje się najczęściej pomiary prędkości i kierunku wiatru. Podstawę opracowania stanowią wówczas kierunkowo-prędkościowe róże wiatrów. W przypadku analiz ekstremalnych zjawisk anemologicznych można dodatkowo wykorzystać chwilowe, a zarazem nagłe wzrosty prędkości wiatru, czyli tzw. porywy wiatru. Poryw wiatru to nagły wzrost jego prędkości o co najmniej  $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  ponad średnią prędkość wiatru z okresu 10-minutowego i trwający nie dłużej niż 2 minuty (Niedźwiedź 2003).

W niniejszym opracowaniu, w celu określenia prawidłowości w przestrzennym i sezonowym zróżnicowaniu warunków anemologicznych w południowo-wschodniej Polsce, autorzy przeliczyli prędkość wiatru na energię. Przedstawiona w ten sposób charakterystyka stosunków anemologicznych, w lepszym stopniu określa potencjalne niebezpieczeństwo zniszczeń związanych z sytuacjami synoptycznymi warunkującymi wyjątkowo silne wiatry, a z drugiej strony — daje możliwość oszacowania ewentualnego wykorzystania warunków anemologicznych w południowej Polsce dla potrzeb energetycznych. Dodatkowo dokonano porównania energii średnich prędkości wiatru na stacjach pomiarowych i energii, jaką niosą ze sobą porywy wiatru, zarówno w przebiegu rocznym, jak i w przypadkach zdarzeń o wyjątkowej sile. W opracowaniu szczególną uwagę zwrócono na wyjątkowo silne wiatry (o dużej energii), przedstawiając szczegółowe sytuacje synoptyczne warunkujące ekstremalne prędkości wiatru. Wskazano regiony w południowo-wschodniej Polsce szczególnie narażone na pojawianie się wiatrów o dużej energii. Przedstawiono również skutki występowania wiatrów o dużej sile.

## MATERIAŁY ŹRÓDŁOWE I METODY OPRACOWANIA

Do analizy wykorzystano codzienne pomiary prędkości wiatru ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ), temperatury powietrza ( $^{\circ}\text{C}$ ) i ciśnienia atmosferycznego (hPa) z 15. stacji synoptycznych położonych w południowo-wschodniej Polsce z lat 2000–2004 (tab. 1).

Energia wiatru to energia kinetyczna masy powietrza, która rośnie z trzecią potęgą jego prędkości. Z równań na:

- energię kinetyczną:  $E = m \cdot v^2 \cdot 2^{-1}$
- równania gazu doskonałego:  $p \cdot V \cdot T^{-1} = \text{const}$

Tabela 1— Table 1

Średnia roczna wartość energii średnich prędkości i energii porywów wiatru  
w latach 2000–2004

Average year-old value of energy of average wind speeds and wind gust energy  
in 2000–2004

Stacja Station	Szerokość geograficzna Latitude	Długość geograficzna Longitude	Wysokość [m n.p.m.] Altitude [m a.s.l.]	Energia średnich prędkości wiatru [kWh · m <sup>-2</sup> ] Energy of average wind speeds [kWh · m <sup>-2</sup> ]	Energia porywów wiatru [kWh · m <sup>-2</sup> ] Wind gust energy [kWh · m <sup>-2</sup> ]
Bielsko-Biała	49°48'	19°00'	398	584,8	1008,1
Częstochowa	50°49'	19°06'	293	185,6	288,9
Hala Gąsienicowa	49°15'	20°00'	1520	541,1	2348,7
Kasprowy Wierch	49°14'	19°59'	1991	2713,0	7274,1
Katowice	50°14'	19°02'	284	241,5	323,7
Kielce	50°49'	20°42'	260	332,7	344,9
Kraków	50°05'	19°48'	237	428,3	264,1
Krosno	49°41'	21°45'	282	478,6	608,9
Lesko	49°28'	22°21'	420	267,3	581,9
Nowy Sącz	49°37'	20°42'	295	123,7	288,2
Racibórz	50°03'	18°12'	205	503,9	304,9
Rzeszów	50°06'	22°03'	200	686,1	796,0
Sandomierz	50°42'	21°43'	217	356,2	219,7
Tarnów	50°02'	20°59'	209	85,9	295,8
Zakopane	49°18'	19°57'	844	55,9	267,3

— wzoru na masę:

$$m = \rho \cdot V$$

— oraz wzoru na objętość:

$$V = P \cdot v \cdot t$$

gdzie:

$E$  — energia,

$V$  — objętość,

$t$  — czas,

$m$  — masa,

$p$  — ciśnienie,

$\rho$  — gęstość,

$v$  — prędkość,

$T$  — temperatura w K,

$P$  — pole powierzchni prostopadłej do kierunku wiatru,

otrzymujemy równanie na energię kinetyczną ( $E$ ) powietrza przepływającego przez prostopadłą do kierunku ruchu powierzchnię ( $P$ ), w czasie ( $t$ ):

$$E = \frac{\rho_0 \cdot T_0 \cdot p \cdot v^3}{2 \cdot \rho_0 \cdot T} Pt.$$

W równaniu tym  $\rho_0$ ,  $p_0$ ,  $T_0$ , to odpowiednio: gęstość, ciśnienie i temperatura powietrza w pewnych warunkach wzorcowych.

Zdefiniujmy natężenie pola energii kinetycznej wiatru, jako ilość energii kinetycznej powietrza przepływającego przez jednostkę powierzchni prostopadłej do kierunku wiatru w jednostce czasu. Wtedy, dzieląc powyższe równanie przez  $Pt$ , otrzymamy wzór na natężenie pola energii ( $S$ ), zależnej wprost od trzech wielkości mierzonych na stacjach synoptycznych:

- $p$  — ciśnienia na poziomie stacji (hPa),
- $T$  — temperatury powietrza wyrażonej w skali Kelvina,
- oraz  $v$  — prędkości wiatru ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ).

$$S = \frac{\rho_0 \cdot T_0 \cdot p \cdot v^3}{2 \rho_0 \cdot T}$$

Do obliczeń użyto następujących wielkości wzorcowych  $\rho_0 = 1,2928 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ,  $p_0 = 1013,25 \text{ hPa}$ ,  $T_0 = 0^\circ\text{C} = 273,15 \text{ K}$  (*Rules of...* 1996). Uwzględniając wielkości wzorcowe i to, że temperatura podawana jest w  $^\circ\text{C}$ , oraz dzieląc przez 1000 (zamiana W na kW) otrzymujemy wzór na  $S_i$  (natężenie energii w  $i$ -tym momencie obserwacji) w postaci roboczej, w której wynik jest w  $\text{kW} \cdot \text{m}^{-2}$  ( $p$  — ciśnienie na poziomie stacji w hPa,  $v$  — prędkość w  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $T$  — temperatura powietrza w  $^\circ\text{C}$ ):

$$S_i = 0,000174255 \cdot \frac{p_i \cdot v_i^3}{273,15 + T_i}$$

Do dyspozycji były cogodzinne pomiary synoptyczne, toteż powyższy wzór przedstawia wprost energię w  $\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}$ . Ponieważ dalej w opracowaniu dokonywano sumowania po obserwacjach godzinnych:

$$S = \sum_i S_i,$$

dlatego pod końcowym pojęciem energii wiatru ( $S$ ) należy rozumieć energię przepływającą przez  $\text{m}^2$  powierzchni w całym okresie sumowania.

W procesie obliczeniowym wykorzystano program komputerowy Pro-Met © MarKoSoft, pracujący na bazie danych synoptycznych opartej na Firebird SQL Server, pozwalający w prosty sposób wykonać potrzebne obliczenia i przedstawić je w sposób graficzny oraz dokonać korekty błędnych danych.

W opracowaniu porównywano energię wiatru średniego z energią porywów. Tak obliczona energia porywów jest wielkością otrzymaną przy założeniu, że poryw trwa całą godzinę. Niestety, w pomiarach synoptycznych nie ma żadnej informacji o czasie trwania porywu, a jest on na pewno krótszy niż godzina. Dlatego wartość rzeczywista energii porywów, z powodu braku danych o czasie jego trwania, jest niemożliwa do dokładnego obliczenia. Możemy ją jedynie oszacować, zakładając średni czas porywów przypadający na jedną godzinę. I tak, jeżeli założymy, że porywy trwają przez 6 minut w ciągu godziny, to otrzymane wartości należy podzielić przez 10, a jeśli przyjmiemy 10 minut na godzinę, to należy je podzielić przez 6 itd. Ze względu na to, że oszacowanie czasu trwania porywów może być subiektywne, w opracowaniu wartości energii porywów są obliczane bez jego uwzględnienia. Niezależnie od tego, wyniki mogą wnieść orientacyjną informację o wielkości energii porywów wyrażoną w  $\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}$ .

W opracowaniu obliczono energię wiatru w całym zakresie jego prędkości, czyli tzw. energię brutto, a także energię porywów wiatru. W przeciwieństwie do wykorzystywanej przez H. Lorenc (1992, 1996) metody opracowania danych, nie ograniczono się do obliczania energii wiatru w wyznaczonych przedziałach prędkości, czyli tzw. energii użytecznej wiatru. Autorka, w celu oceny zasobów energii wiatru w Polsce do ewentualnego wykorzystania dla potrzeb energetyki, określiła regiony, w których budowanie elektrowni wiatrowych byłoby opłacalne. Dlatego, energię obliczono jedynie dla prędkości wiatru w przedziale pomiędzy 4 a  $16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Przy małych prędkościach wiatru budowanie elektrowni wiatrowych jest nieopłacalne, a przy zbyt dużych prędkościach dochodzi do uszkodzeń lub zniszczenia urządzeń.

#### ŚREDNIE WARTOŚCI ENERGII WIATRU W POŁUDNIOWO-WSCHODNIEJ POLSCE

Prędkość, jak i energia wiatru nad danym obszarem, zależą głównie od lokalnych warunków fizjograficznych. Huraganowe wiatry na lądzie najczęściej występują wzdłuż wybrzeży morskich oraz w górach, które są często pomijane w analizach z uwagi bardzo małą liczbę punktów pomiarowych przy dużym zróżnicowaniu warunków anemologicznych. Wiatry o małych prędkościach, lub długotrwałe cisze atmosferyczne, często występują w śródgórskich kotlinach.

W polskiej literaturze klimatologicznej dla poznania struktury i zasobów energetycznych wiatru w skali całego kraju najwięcej wniosły badania H. Lorenc (1991, 1992, 1996). Zdaniem autorki szczególnie za-

sobne w energię wiatru są w Polsce: Pobrzeże Słowińskie — od Świnoujścia po Redę ( $1250 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$ ); szczególnie pas wybrzeża między Łebą a Helem oraz Świnoujściem a Rewalem (powyżej  $1500 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$ ), Suwalszczyzna (powyżej  $1500 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$ ), środkowa Wielkopolska, prawie całe Mazowsze, Beskid Śląski i Beskid Żywiecki, z wyjątkiem kotlin śródgórskich, oraz Pogórze Dynowskie (powyżej  $1250 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$ ). Najmniej uprzywilejowanymi pod względem zasobów energii wiatru są wyżynne regiony Polski i południowa część Niziny Śląskiej, czyli przeważająca część obszaru objętego niniejszym opracowaniem. H. Lorenc (1991, 1992, 1996) nie uwzględniła w analizach obszarów powyżej 350 m n.p.m., gdyż z wielu względów nie nadają się one do lokalizacji elektrowni wiatrowych lub jest to tam nieopłacalne. Najwyżej położonymi stacjami meteorologicznymi, z których autorka wykorzystwała pomiary, były Lesko (420 m n.p.m.) i Bielsko-Biała (398 m n.p.m.).

Podsumowując wyniki badań H. Lorenc (1996) nad zasobami energii użytecznej wiatru w Polsce należy stwierdzić, że analizowany w niniejszym opracowaniu obszar, reprezentowany przez 15 stacji meteorologicznych, leży poza strefą wybitnie korzystną (Lorenc 1996). Jedynie południowo-wschodnia część Polski, reprezentowana przez stacje meteorologiczne w Kielcach, Sandomierzu, Rzeszowie, Krośnie i Lesku, znajduje się w strefie korzystnej. Ponad połowa obszaru badań autorów została zaliczona przez H. Lorenc (1996) do stref: niekorzystnej, wybitnie niekorzystnej i obszarów wyłączonych z analizy (region górski).

W niniejszym opracowaniu wykorzystano także pomiary ze stacji wysokogórskich i położonych w kotlinach śródgórskich. Znajomość skali obciążeń wiatrem w takich regionach ma duże znaczenie praktyczne.

Średnią roczną sumę wartość energii średnich prędkości wiatru oraz energii porywów wiatru na poszczególnych stacjach z lat 2000–2004 przedstawiono w tabeli 1.

Największą energię wiatr osiągał na Kasprowym Wierchu (odpowiednio  $2713,0$  i  $7274,1 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$ ). Ponad trzykrotnie mniejsze wartości energii wiatru występowały w Bielsku-Białej i Rzeszowie. Średnia roczna suma energia wiatru, w przypadku średnich jego prędkości bądź porywów, przekroczyła  $500 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$  także na stacjach w Rzeszowie, Raciborzu i na Hali Gąsienicowej. Zdecydowanie najmniejszą energię miał wiatr w badanym okresie w Zakopanem ( $55,9$  oraz  $267,3 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$ ) oraz Tarnowie i w Nowym Sączu (tab. 1).

Porównując energię wiatru obliczoną ze średnich jego prędkości z wartościami, które uzyskano uwzględniając porywy, stwierdzono zdecydowaną przewagę energii tych drugich, na stacjach położonych ponad 280 m n.p.m.: na Kasprowym Wierchu, Hali Gąsienicowej, w Zakopa-

nem, Lesku, Bielsku-Białej, Krośnie, Częstochowie, Nowym Sączu i Katowicach, jak również na stacjach w Tarnowie i Sandomierzu, chociaż położone są one na niższych wysokościach (tab. 1). Na pozostałych stacjach większe wartości osiąga energia wiatrów związanych ze średnimi jego prędkościami niż porywami (tab. 1).

Analizując przebieg roczny średnich miesięcznych sum wartości energii wiatru zwraca uwagę na wszystkich stacjach wyraźna sezonowość (ryc. 1). Największe wartości energii wiatru występowały w półroczu chłodnym, od października do marca. Zdecydowanie mniejszą energią charakteryzują się wiatry wiejące w cieplej połowie roku. Miesiącem, w którym energia wiatru była najmniejsza był sierpień, rzadziej lipiec, sierpień, czerwiec lub wrzesień (ryc. 1).

Wartość energii wiatru związana z porywami ma zdecydowanie największy udział w półroczu zimowym. Szczególnie jest to widoczne na rycinach, na których przedstawiono energię wiatru w Bielsku Białej, na Hali Gąsienicowej i na Kasprowym Wierchu. Z uwagi na sumy średnich miesięcznych wartości na tych stacjach, przekraczające  $150 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$ , konieczne było zastosowanie innej skali na trzech ostatnich wykresach (ryc. 1).

## WIATRY O BARDZO DUŻEJ ENERGII W POŁUDNIOWO-WSCHODNIEJ POLSCE W LATACH 2000–2004

Szczególnie niebezpieczne dla życia i gospodarczej działalności człowieka są przypadki występowania wiatrów o bardzo dużej energii. W większości ich wystąpienie jest możliwe do przewidzenia. Biura Prognoz Meteorologicznych ostrzegają poprzez środki masowego przekazu o nadciągających wichurach.

Prędkość wiatru, a tym samym jego energia, wpływają na wartość ciśnienia dynamicznego wiatru, przyczyniającego się do tzw. obciążenia wiatrem wszelkich konstrukcji wznoszących się nad powierzchnię gruntu. Budynki, kominy, a szczególnie wysokie maszty radiowe i telewizyjne, anteny telefonii komórkowych oraz linie energetyczne winny być budowane z uwzględnieniem możliwości wynikających z dużego prawdopodobieństwa pojawienia się wiatrów o znacznej prędkości. Jak stwierdza H. Lorenc (1996), dla projektantów i inżynierów ważne są informacje o spodziewanej prędkości wiatru, tak aby ograniczyć ryzyko związane z awarią lub zniszczeniem konstrukcji oraz o przestrzennym zróżnicowaniu obciążeniem wiatrem.

Analizując ekstremalne przypadki wiatrów o dużej energii, które wystąpiły w latach 2000–2004 wykorzystano, podobnie jak w poprzed-



nim rozdziale, zarówno energię średnich prędkości, jak i energię wiatrów wynikającą z ich porywów. Kompleksowe poznanie czasowo-przestrzennego rozkładu energii wiatru w południowo-wschodniej Polsce na podstawie danych z okresu pięcioletniego, przynajmniej częściowo pozwoli uzupełnić wiedzę o warunkach anemologicznych w tym rejonie kraju.

W południowo-wschodniej Polsce w latach 2000–2004 wiatr o maksymalnej energii porywów wystąpił na Kasprowym Wierchu 11 października 2000 r. Obliczona wartość wynosiła aż  $425,2 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$ , przy średniej energii wiatru w tym dniu równej  $71,5 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$ . Rekord, w przypadku średniej energii wiatru, również należy do Kasprowego Wierchu. 29 stycznia 2002 r. średnia energia wiatru wynosiła  $83,9 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$ , przy energii porywów tylko o ponad  $16 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$  mniejszej od maksimum z 11 października 2000 r. ( $408,9 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$ ). Warto podkreślić, że zdaniem H. Lorenc (1996) układ pasm górskich wokół stacji na Kasprowym Wierchu powoduje zaburzenia aerodynamiczne w swobodnym przepływie mas powietrza. Zniekształceniom ulegają zarówno prędkości, jak i kierunki wiatru. Zdaniem autorki, obserwuje się pewnego rodzaju „inwersję” wiatrową na wysokości Kasprowego Wierchu (Lorenc 1996). Z tego wynika, że przedstawione ekstremalne wartości energii wiatru, obliczone na podstawie danych z Wysokogórskiego Obserwatorium na Kasprowym Wierchu, w przypadku sąsiednich szczytów tatrzańskich mogą osiągnąć jeszcze większe wartości.

W analizowanym pięcioleciu na Kasprowym Wierchu wiatry o wyjątkowo dużej energii (ponad  $270 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$  — w przypadku energii porywów i ponad  $55 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$  — w przypadku energii średnich porywów) pojawiały się najczęściej w 2002 r.: trzy razy w styczniu (2, 27 i 29), 28 października (tab. 2) oraz 15 i 16 listopada. Z danych z tej stacji wynika, że przypadek huraganowych wiatrów występujących w Polsce w listopadzie 2004 r. nie należał do wyjątkowych, choć zanotowana prędkość wiatru z 18 na 19 listopada dochodziła na Kasprowym Wierchu do  $140 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  ( $38,9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ).

Skutkiem występowania wiatrów o tak dużej sile mogą być wypadki śmiertelne wśród turystów przebywających w tym czasie w Tatrach. Człowiek często nie jest w stanie utrzymać się, a tym bardziej poruszać, podczas napierającego na niego wiatru, który dodatkowo utrudnia oddychanie. Huraganowe wiatry, występujące najczęściej w okresie zimowym, przyczyniają się do utraty ciepła w organizmie. Zwiększają skłonność do odmrożeń. Wywiewając występującą w tej porze roku pokrywę śnieżną przyczyniają się do zasypywania szlaków, tworzenia się zasp i nawisów śnieżnych. Silny wiatr powoduje hałas, który może przyczynić się również do wywołania lawin śnieżnych.

Tabela 2 — Table 2

Energia wiatru w wybranych dniach z silnym wiatrem w południowo-wschodniej Polsce w latach 2000–2004  
 Energy of wind on chosen days with strong wind in south-eastern Poland in the period 2000–2004

Stacja Station	Energia średnich prędkości wiatru [kWh · m <sup>-2</sup> ] Energy of average wind speeds [kWh · m <sup>-2</sup> ]	Energia porywów wiatru [kWh · m <sup>-2</sup> ] Wind gust energy [kWh · m <sup>-2</sup> ]
2 stycznia 2002 rok		
Częstochowa	11,4	40,5
Kasprowy Wierch	61,8	273,8
Kielce	13,4	48,1
Kraków	19,5	35,0
Krosno	13,4	34,0
Nowy Sącz	7,8	43,5
Racibórz	25,8	57,7
Sandomierz	14,7	29,0
27 stycznia 2002 roku		
Kasprowy Wierch	58,9	302,2
Katowice	7,9	30,5
Krosno	9,2	27,0
Lesko	7,5	44,7
Rzeszów	21,8	28,5
28 stycznia 2002 roku		
Kraków	14,7	32,0
29 stycznia 2002 roku		
Kasprowy Wierch	83,9	408,9
Kielce	9,8	24,8
Kraków	15,7	15,1
Sandomierz	10,6	30,4
Tarnów	1,6	18,4
7 marca 2002 roku		
Katowice	9,0	36,2
Kielce	15,1	51,1
Kraków	28,5	63,2
Krosno	13,3	36,2
Lesko	7,4	46,6
Nowy Sącz	11,0	47,9
Racibórz	18,6	37,2
Rzeszów	22,6	63,4
Sandomierz	11,6	35,5
Tarnów	1,3	12,9
Zakopane	2,4	29,2
28 października 2002 rok		
Częstochowa	8,0	63,5
Kasprowy Wierch	3,5	360,8
Katowice	6,7	45,2

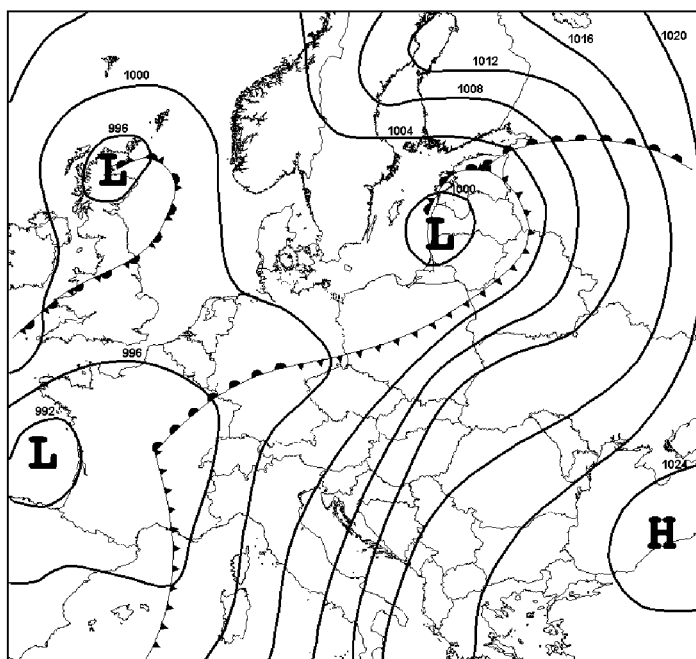
Tabela 2 cd. — Table 2 cont.

1	2	3
Kielce	11,0	67,3
Kraków	35,1	78,83
Krosno	12,4	64,5
Lesko	10,2	70,1
Nowy Sącz	10,9	66,2
Rzeszów	35,5	149,5
Sandomierz	8,9	12,2
Tarnów	1,4	32,1
Zakopane	2,2	3,1
18 listopada 2004 roku		
Katowice	6,0	15,3
Kielce	10,3	26,4
Kraków	16,8	27,4
Nowy Sącz	5,2	12,5
19 listopada 2004 roku		
Częstochowa	6,2	25,3
Krosno	15,8	51,3
Lesko	8,2	40,8
Nowy Sącz	5,9	27,3
Racibórz	21,9	55,0
Sandomierz	8,9	30,6
Tarnów	1,5	17,7
23 listopada 2004 roku		
Częstochowa	6,7	28,9
Kraków	18,0	14,4
Racibórz	16,3	35,6
24 listopada 2004 roku		
Częstochowa	10,0	23,8
Nowy Sącz	7,1	32,8
Racibórz	20,2	28,5
Sandomierz	10,6	24,4
Tarnów	1,8	9,0

Drugą, po Kasprowym Wierchu, stacją meteorologiczną uwzględnioną w niniejszym opracowaniu, na której wystąpił wyjątkowo silny wiatr było Bielsko-Biała. Energia wiatru była tam jednak zdecydowanie niższa niż na Kasprowym Wierchu. 15 listopada 2002 r. wynosiła  $30,7 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$  — w przypadku średnich prędkości i  $170,5 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$  — w przypadku porywów wiatru, i nieco więcej 16 listopada; odpowiednio  $33,0 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$  i  $177,4 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$ . Daty te zostały już wymienione przy analizie ekstremalnych energii wiatru na Kasprowym Wierchu. Warto więc zwrócić uwagę na wielkość obszaru, który nawiedziły w tych dniach silne wiatry. 15 i 16 listopada wiatr o wyjątkowo dużej energii wystę-

powiał w Tatrach (Kasprowy Wierch, Hala Gąsienicowa), na Podhalu (Zakopane) i w Beskidzie Śląskim (Bielsko-Biała). Przyczyną tak silnego wiatru w tym regionie były zjawiska fenowe. Występująca w tym czasie sytuacja synoptyczna (ryc. 2) powodowała napływ mas powietrza z południowego zachodu, które po przekroczeniu bariery górskiej, zsuwając się po stokach na północ, zwiększały swoją energię. Takie silne podmuchy wiatru halnego przyczyniają się do wzrostu temperatury powietrza i spadku jego wilgotności. W chłodnej połowie roku powodują nagłe topnienie pokrywy śnieżnej, przyczyniają się do lokalnych podtopień, czy nawet powodzi. Silne wiatry halne są również niekorzystne dla samopoczucia człowieka, szczególnie meteoropatów, do których zalicza się prawie 60% ludności. Powodują m.in. obniżenie sprawności psychofizycznej, przyczyniają się do dużych napięć nerwowych, nasilenia objawów chorobowych (kardiologicznych, psychicznych, reumatycznych).

Nie tylko wiatr halny przyczynia się do występowania na Kasprowym Wierchu i w Bielsku-Białej wiatrów o dużej energii. W styczniu 2002 r. bardzo silne wiatry pojawiły się w południowo-wschodniej Polsce dwukrotnie: 2 oraz od 27 do 29 stycznia. Swoim zasięgiem objęły znacz-



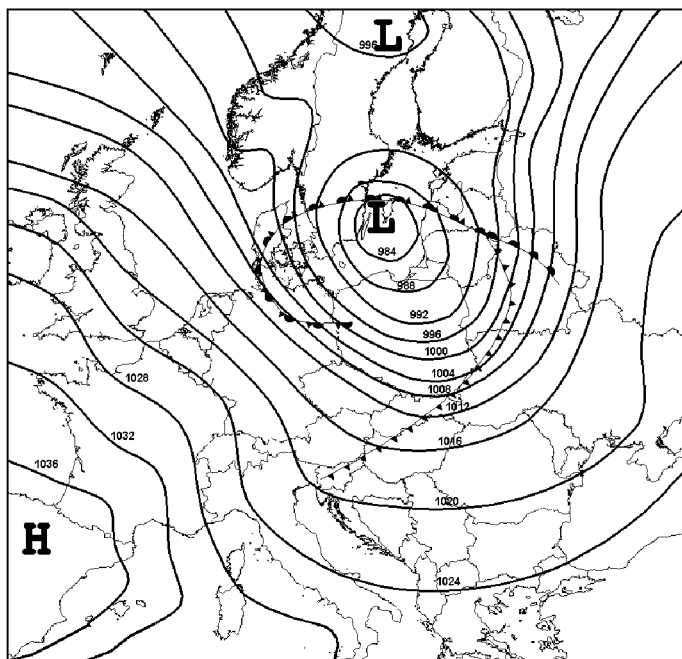
Ryc. 2. Sytuacja synoptyczna 15.11.2002 r., wiatr fenowy w północnej części Karpat

Fig. 2. Synoptic situation on 15.11.2002, foehn in the northern Carpathians

ny obszar. Wiatry o bardzo dużej energii występowały wtedy na 50–60% analizowanych stacji (tab. 2).

28 października 2002 r. pogodę nad południowo-wschodnią Polską kształtował głęboki ośrodek niskiego ciśnienia z centrum nad Bałtykiem (ryc. 3). Taki układ ciśnienia warunkował adwekcję masy powietrza o znacznej chwiejności z północnego zachodu. Występujący w tym dniu wiatr osiągał rekordową energię m.in. na wielu stacjach położonych w centrach dużych miast Częstochowie, Katowicach, Kielcach, Krakowie, Krośnie, Nowym Sączu, Rzeszowie i Tarnowie (tab. 2). Na wszystkich wymienionych stacjach wystąpiły najwyższe wartości energii porywów wiatru w całym analizowanym pięcioleciu. Aż w dwunastu, z piętnastu analizowanych stacji, zanotowano rekordowo silne wiatry. Mniejszą energię miały jedynie na Hali Gąsienicowej, w Bielsku-Białej i Raciborzu. Wystąpienie tak silnych wiatrów w obszarach zurbanizowanych powoduje ogromne szkody gospodarcze.

Podobna sytuacja meteorologiczna jak 28 października 2002 r. miała miejsce w południowo-wschodniej Polsce 7 marca 2002 r. (tab. 2). Również w tym dniu Polska znajdowała się pod wpływem głębokiego



Ryc. 3. Sytuacja synoptyczna 28.10.2002 r., głęboki niż nad północną Europą

Fig. 3. Synoptic situation on 28.10.2002, deep low over northern Europe

niżu znad Bałtyku, przy czym napływająca chwiejna i wilgotna masa powietrza miała tym razem bardziej wyraźną składową zachodnią.

Jak wynika z przedstawionych wartości, rok 2002 należał do wyjątkowych pod względem energii wiatru. Kilkakrotnie w ciągu tego roku, pojawiały się nad południowo-wschodnią częścią Polski wyjątkowo silne wiatry. W całym analizowanym pięcioleciu można jeszcze wskazać na inne przypadki, m.in. 24–25 grudnia 2001 r., 6, 13, 14 i 21 grudnia 2003 r. czy wspomnianą już wichurę z listopada 2004 r. We wszystkich wymienionych dniach pogodę kształtował głęboki niż, powodujący adwekcję mas powietrza z północy lub zachodu, albo sytuacja synoptyczna sprzyjająca powstawaniu wiatru halnego. W tym pierwszym przypadku silne wiatry objęły cały, lub prawie cały region południowo-wschodniej Polski, w drugim — pojawiały się jedynie w Tatrach, na Podhalu i Beskidzie Śląskim.

Pięcioletni okres badań jest zbyt krótki, aby wysuwać wnioski odnośnie wzrastającej częstości pojawiania się wiatrów o dużej energii. Warto jednak zwrócić uwagę, że po rekordowym 2002 r., zaledwie po dwóch latach wystąpiły w Polsce ponownie huraganowe wiatry, które objęły cały kraj (Unton-Pyziółek 2005). W listopadzie 2004 r. silne wiatry pojawiły się dwukrotnie: 18–19 oraz 23–24 listopada (tab. 2). Przyczyniły się do śmierci siedmiu osób, a siedem innych zostało ciężko rannych. Największe straty materialne były w północnej części Polski, choć również w Krakowie porywisty wiatr, którego energia wynosiła 18 listopada  $27,4 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$ , połamał liczne drzewa, uszkodził trakcję tramwajową powodując wstrzymanie ruchu w centrum miasta na ponad 2,5 godziny. Szczególnie niebezpieczne były porywane przez wiatr spadające gzymsy, reklamy, blachy z elewacji i dachów. Zerwana sieć elektryczna spowodowała kilkugodzinną przerwę w dostawie prądu w niektórych rejonach miasta. Na drogach wylotowych silne poddmuchy wiatru spychały z drogi samochody. Na wiele samochodów wywróciły się drzewa lub spadły pojedyncze konary uszkadzając je. W niektórych regionach Polski nie usunięto jeszcze wszystkich szkód, gdy po czterech dniach ponownie wystąpił silny wiatr.

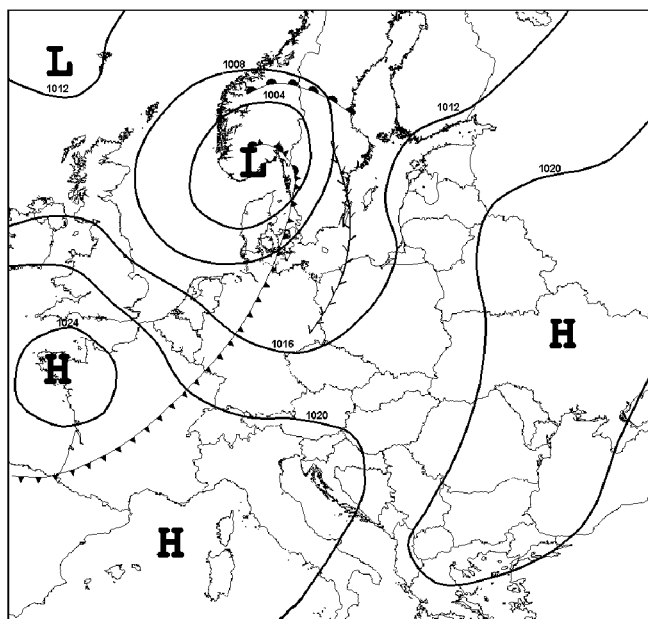
Przedstawione przypadki wiatrów o dużej energii ograniczały się jedynie do chłodnej połowy roku, od października do marca. Z przebiegu średnich miesięcznych wartości energii (ryc. 1) może wynikać, że w cieplej połowie roku nie występowały ekstremalnie silne wiatry. Niestety, na podstawie dostępnych danych meteorologicznych, trudno jest określić nie tylko energię, ale i prędkość wiatrów związanych z letnimi burzami.

Burze, podczas których występują silne porywy wiatru a czasem trąby powietrzne, są zjawiskiem lokalnym. W latach 1961–1995 na żadnej polskiej stacji meteorologicznej nie odnotowano wystąpienia trąby po-

wietrznej (Lorenc 1996). Gdyby jednak pojawiła się ona w pobliżu punktu pomiarowego, z pewnością przyrzędy meteorologiczne uległyby zniszczeniu. Zebrane przez H. Lorenc (1996) materiały oraz publikacje klimatologiczne (Budziszewska 1960, 1961; Gumiński 1936; Malicki 1963; Michalczewski 1953; Morawska 1959, 1961; Parczewski, Kluźniak 1959; Rafałowski 1958; Salamonik 1960, 1961) pozwalają, choćby częściowo, przeanalizować występowanie w Polsce trąb powietrznych.

Szacowana przez klimatologów prędkość wiatru w wirze trąby powietrznej wynosi od  $50$  do  $150 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  ( $180$ – $540 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ). Przeciętnie w Polsce w ciągu jednego roku może pojawić się około 4 trąb powietrznych (Lorenc 1996). Zdaniem H. Lorenc (1996), najczęściej zjawisko to występowało w latach 1979–1988 w wyżynnej części kraju oraz w Małopolsce.

W latach 2000–2003 na terenie całego kraju 11 razy wystąpiło zjawisko trąb powietrznych. Trąby powietrzne najczęściej występowały w strefie aktywnego frontu chłodnego, w obszarze strefy zbieżności wiatru lub wtórnego frontu chłodnego, ale także wtedy, gdy Polska znajdowała się obszarze rozległych układów wysokiego ciśnienia (Bąkowska, Bielec-Bąkowska 2005; ryc. 4). Zjawisko to, z racji niezwyklej dynamiki rozwoju, jest w zasadzie nieprognozowalne.



Ryc. 4. Sytuacja synoptyczna 09.06.2003 r., trąba powietrzna nad południową Polską

Fig. 4. Synoptic situation on 09.06.2003, landspout in southern Poland

## PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W polskiej literaturze klimatologicznej stosunkowo rzadko poruszany jest problem występowania wiatrów o dużej energii. W najbliższych latach w Europie Środkowej możemy spodziewać się wzrostu częstości pojawiania się wiatrów o dużej prędkości. Na podstawie jedynie pięcioletniej serii pomiarów meteorologicznych trudno jest wysuwać daleko idące wnioski o tendencji występowania wiatrów o dużej energii. Niemniej jednak, tylko w latach 2000–2004, takich ekstremalnych przypadków było kilkanaście.

Wykorzystana metoda obliczania energii wiatru zarówno średnich prędkości, jak również porywów wiatru, okazała się przydatna w celu określenia prawidłowości w przestrzennym i sezonowym zróżnicowaniu warunków anemologicznych w południowo-wschodniej Polsce. Przedstawione ekstremalne wartości energii wiatru pozwalają orientacyjnie oszacować skutki, jakie może powodować taki wiatr. W celu określenia możliwości wykorzystania zasobów wiatru dla potrzeb energetycznych znacznie lepsza jest metoda zastosowana przez H. Lorenc (1991, 1992, 1996).

Energia wiatru, i to zarówno średnich jego prędkości, jak i porywów, zależy od lokalnych warunków. Silne wiatry częściej występują na obszarach górskich niż w osłoniętych, śródgórskich kotlinach. Choć w niniejszym opracowaniu wykorzystano dane z 15 stacji meteorologicznych to trudno jest szczegółowo określić przestrzenne zróżnicowanie warunków anemologicznych. Duża część obszaru badań, która jest położona powyżej 400 m n.p.m. i zróżnicowana topograficznie, jest reprezentowana jedynie przez stacje w Zakopanem, na Hali Gąsienicowej i Kasprowym Wierchu. Te trzy stacje nie są reprezentatywne dla tak dużego obszaru. Dwie pierwsze położone są w kotlinie, natomiast na Kasprowym Wierchu zaznacza się tzw. „inwersja wiatrowa” (Lorenc 1996).

W latach 2000–2004 w południowo-wschodniej części Polski największą energię miał wiatr występujący na Kasprowym Wierchu. Zdecydowanie mniejszą energią charakteryzowały się wiatry wiejące w Bielsku-Białej, Rzeszowie, Lesku, Krośnie i Raciborzu. Najmniejszą energią miały wiatry w Tarnowie i Nowym Sączu oraz stosunkowo małą w Zakopanem. Spowodowane jest to warunkami orograficznymi. Miasta te położone są w kotlinach śródgórskich, które osłonięte są przed silnymi wiatrami przez pasma górskie o przebiegu wschód-zachód.

Na obszarach położonych powyżej 280 m n.p.m., reprezentowanych przez stacje na Kasprowym Wierchu, Hali Gąsienicowej, w Zakopanem, Lesku, Bielsku-Białej, Krośnie, Częstochowie, Nowym Sączu i Katowicach, wyraźnie zaznacza się przewaga energii związanej z porywami.



Taką prawidłowość stwierdzono też na stacji w Tarnowie i Sandomierzu, co winno być uwzględniane m.in. w planowaniu przestrzennym. Na pozostałych stacjach średnie pięcioletnie wartości energii wiatru są znacznie większe w przypadku średnich jego prędkości, nie zaś w przypadku porywów.

Stwierdzono wyraźną sezonowość rocznego przebiegu średnich miesięcznych wartości energii wiatru na wszystkich analizowanych stacjach. Znacznie większą energią charakteryzują się wiatry występujące w chłodnej połowie roku (październik–marzec) niż w cieplej (kwiecień–wrzesień). Miesiącem, w którym energia wiatru jest najmniejsza jest sierpień.

Przypadki wyjątkowo silnych wiatrów, których skutkiem były bardzo duże szkody w gospodarce, i które spowodowały wypadki śmiertelne, występowały najczęściej w 2002 i 2004 roku: w styczniu, październiku, listopadzie i grudniu. Trudno jest całkowicie zabezpieczyć się przed ewentualnym pojawieniem się huraganowych wiatrów, choć ich pojawienie można często przewidzieć. Już na poziomie projektowania budynków i różnych konstrukcji budowlanych można uwzględnić obciążenie dynamiczne wiatrem.

Wiatry o bardzo dużej energii pojawiające się w południowo-wschodniej Polsce, związane są z szybko przemieszczającymi się z zachodu na wschód, najczęściej przez obszar Bałtyku, głębokimi ośrodkami niżowymi lub z pojawieniem się zjawisk fenowych. W pierwszym przypadku, wiatry o dużej energii obejmują zwykle swym zasięgiem cały analizowany obszar badań, w drugim — ograniczają się do obszaru Tatr, Podhala i Beskidu Śląskiego. Szczególnie groźna jest wtedy energia porywów wiatru.

Wiatry o dużej energii mogą pojawiać się nie tylko w chłodnej połowie roku. Brak danych meteorologicznych uniemożliwia analizę energii jaką niosą ze sobą trąby powietrzne, których występowanie w południowo-wschodniej Polsce należy do najczęstszych w kraju.

Uniwersytet Jagielloński  
Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej  
Zakład Klimatologii  
ul. Gronostajowa 7, 30-387 Kraków  
e-mail: k.piotrowicz@iphils.uj.edu.pl

IMiGW, Oddział w Krakowie  
Zakład Prognoz Meteorologicznych  
ul. P. Borowego 14, 30-215 Kraków  
e-mail: rafal\_bakowski@imgw.pl; marek\_kozlowski@imgw.pl

## LITERATURA

- Bąkowski R., Bielec-Bąkowska Z., 2005, *Analiza wybranych przypadków wystąpienia groźnych zjawisk atmosferycznych w Polsce w ostatnich latach*, III Konferencja „Ekstremalne Zjawiska Hydrologiczne i Meteorologiczne”, Warszawa, w druku.
- Budziszewska E., 1960, *Meteorologiczne warunki wystąpienia huraganu w dn. 20.05.1960 r.*, *Gazeta Obserwatora PIHM* 13, 9.
- Budziszewska E., 1961, *Huragan w okolicy Sochaczewa*, *Gazeta Obserwatora PIHM* 14, 10.
- Cornford S.G., 2002, *Human and economic impacts of weather events in 2001*, *WMO Bulletin* 51.
- Degirmendzić J., Kożuchowski K., Żmudzka E., 2004, *Changes of air temperature and precipitation in Poland in the period 1951–2000 and their relationship to atmospheric circulation*, *International Journal of Climatology* 24.
- Gumiński R., 1936, *Trąba powietrza pod Lublinem w dniu 20 lipca 1931 r.*, *Wiadomości Meteorologiczne i Hydrologiczne* 16, 7–9.
- Kłysik K., 1993, *Rola silnych wyzów i głębokich niżów w kształtowaniu warunków termicznych okresu zimowego w Europie Środkowej* [w:] *Materiały konferencyjne „Współczesne badania klimatologiczne”*, red. B. Krawczyk, K. Błażejczyk, IGI PAN, Warszawa, 23.
- Knippertz P., Ulbrich U., Speth P., 2000, *Changing cyclones and surface wind speeds over the North Atlantic and Europe in a transient GHG experiment*, *Climate Research* 15.
- Kożuchowski K., Żmudzka E., 2001, *Ocieplenie w Polsce: skala i rozkład sezonowy zmian temperatury powietrza w drugiej połowie XX wieku*, *Przegl. Geofiz.* 1–2.
- Leckebusch G.C., Ulbrich U., 2004, *On the relationship between cyclones and extreme windstorm events over Europe under climate change*, *Global and Planetary Change* 44.
- Lorenc H., 1991, *Próba oceny zasobów energii wiatru w Polsce*, *Przegląd Geofizyczny* 3.
- Lorenc H., 1992, *Zasoby wiatru w Polsce*, *Materiały Badawcze IMGW, Ser. Meteorologia* 18, Warszawa.
- Lorenc H., 1996, *Struktura i zasoby energetyczne wiatru w Polsce*, *Materiały Badawcze IMGW, Ser. Meteorologia* 25, Warszawa.
- Lorenc H., 2000, *Studia nad 220-letnią (1779–1998) serią temperatury powietrza w Warszawie oraz ocena jej wiekowych tendencji*, *Materiały Badawcze IMGW, Ser. Meteorologia* 31, Warszawa.
- Lorenc H., 2001, *Tendencje zmian klimatu Polski* [w:] *Funkcjonowanie geosystemów w zróżnicowanych warunkach morfoklimatycznych — monitoring, ochrona, edukacja*, red. A. Karczewski, Z. Zwoliński, Poznań.
- Malicki J., 1963, *Huraganowe wiatry w lesie koło Stronna*, *Gazeta Obserwatora PIHM* 16, 1.
- Michalczewski J., 1953, *Jak powstał nad Polską huragan w dniu 3.09.1953 r.*, *Gazeta Obserwatora PIHM* 6, 11.
- Morawska M., 1959, *Huragan w Polsce w dniu 15 i 16 maja 1958 r.*, *Biuletyn PIHM* 4.
- Morawska M., 1961, *Huragan nad Polską w dniu 13 lipca 1961 roku*, *Gazeta Obserwatora PIHM* 14, 10.
- Niedźwiedz T. (red.), 2003, *Słownik meteorologiczny*, PTG, IMGW, Warszawa.
- Parczewski W., Kluźniak S., 1959, *Trąba powietrzna w województwie szczecińskim w dniu 25 sierpnia 1956 roku*, *Przegl. Geofiz.* 3–4.

- Rafałowski S., 1958, *Trąby w Rawie Mazowieckiej i w Nowym Mieście (maju 1958 r.)*, Gazeta Obserwatora PIHM 11, 6.
- Rules of the air and air traffic services*, 1996, *Procedures for Air Navigation Services*, International Civil Aviation Organisation (ICAO).
- Salamonik S., 1960, *Huragan w dniu 20 maja 1960 r.*, Gazeta Obserwatora PIHM 13, 10.
- Salamonik S., 1961, *Skutki huraganowych wiatrów w dniu 27 czerwca 1961 r.*, Gazeta Obserwatora PIHM 14, 10.
- Trepińska J., 2000, *Anomalie, cykle, trendy termiczne w klimatologii na przykładzie fluktuacji termicznych w Europie Środkowej w XIX i XX wieku*, Acta Universitatis Nicolai Copernici, Geografia 31, 106.
- Ulbrich U., Fink A.H., Klawa M., Pinto J.G., 2001, *Three extreme storms over Europe in December 1999*, Weather 56.
- Unton-Pyziołek A., 2005, *Silny wiatr w Polsce w listopadzie 2004 r.*, Gazeta Obserwatora IMGW 1.

*Katarzyna Piotrowicz, Rafał Bąkowski, Marek Kozłowski*

#### THE ENERGY OF WIND IN CHOSEN SYNOPTIC SITUATIONS IN SOUTH-EASTERN POLAND

##### Summary

The object of this work is the energy of wind, both the energy of average wind speed and the energy of wind gusts. Measurements taken in the years 2000–2004 in 15 synoptic stations located in south-eastern Poland were used. Specific attention was paid to winds with exceptionally high energy. Regions especially liable to strong wind occurrence were indicated, as well as synoptic situations that contribute to the appearance of such winds. The effects produced by strong winds were discussed as well.

In the years 2000–2004 in south-eastern Poland the wind on Kasprowy Wierch had the highest energy. Significantly lower energy was characteristic of the winds blowing in Bielsko-Biała, Rzeszów, Lesko, Krosno and Racibórz. The winds with the lowest energy were the ones in Tarnów, Nowy Sącz and Zakopane. This is caused by orographic conditions. The above mentioned cities are located in intermontane valleys. In the stations situated above 280 m a.s.l. (on Kasprowy Wierch, Hala Gąsienicowa, in Zakopane, Lesko, Bielsko-Biała, Krosno, Częstochowa, Nowy Sącz and in Katowice), the predominance of energy related to wind gusts is strongly marked. This pattern has also been noticed in the synoptic station in Tarnów, which should be taken into account in, among others, town and country planning. In the remaining stations the average five years-old wind energy values are considerably higher in the case of the averages of its speed not gusts.

When analyzing the year-old course of average monthly wind energy values, a distinct seasonal pattern can be seen in all of the examined stations. The winds appearing in the cool half of the year (October–March) are characterized by considerably higher energy than the ones blowing in the warm half (April–September). August proved to be the month in which the energy of wind was lowest. Cases of exceptionally strong winds occurred most often in the years 2002 and 2004: in January, October, November and December.

