



## Identyfikacja i ocena ekstremalnych zdarzeń meteorologicznych i hydrologicznych w Polsce w II połowie XX wieku

### Struktura maksymalnych prędkości wiatru w Polsce jako zjawiska groźnego dla bezpieczeństwa wewnętrznego kraju

Przeprowadzono szerokie spektrum badań nad genezą i strukturą występowania maksymalnych prędkości wiatru w Polsce oraz ich wykorzystaniem dla potrzeb szeroko pojętej osłony gospodarki, społeczeństwa i środowiska.

W trakcie badań:

- ▷ określono kryterium maksymalnej prędkości wiatru w porywie, wynikające ze struktury wiatru oraz maksymalnej prędkości wiatru w porywie, powodującej zagrożenia dla gospodarki i społeczeństwa
- ▷ opracowano klasyfikację maksymalnych prędkości wiatru z wyróżnieniem trąb powietrznych w Polsce i oceniono skutki ich działania
- ▷ wyróżniono trzy genetycznie różne sytuacje meteorologiczne z którymi jest związane wystąpienie dużych prędkości wiatru na obszarze Polski i dla każdej z nich dokonano szczegółowej charakterystyki maksymalnych prędkości wiatru
- ▷ określono teoretyczne roczne prawdopodobieństwo występowania maksymalnych prędkości wiatru
- ▷ opracowano unikatowy katalog zbioru zweryfikowanych pod względem jednorodności materiału obserwacyjnego maksymalnych miesięcznych i rocznych prędkości wiatru w porywach w okresie 1971-2005
- ▷ określono tzw. huraganowe typy cyrkulacji wg klasyfikacji J. Lityńskiego i ich związek z pojawianiem się maksymalnych prędkości wiatru
- ▷ opracowano mapy maksymalnych prędkości wiatru w porywach o zadanym rocznym prawdopodobieństwie wystąpienia na wysokości 10 i 30 m n.p.g. dla terenu otwartego (klasa szorstkości 0)
- ▷ przeanalizowano dla okresu obserwacyjnego 1971-2010 trendy czasowe sytuacji meteorologicznych, z którymi jest związane występowanie maksymalnych prędkości wiatru
- ▷ określono rejony kraju najbardziej narażone na wystąpienie trąb powietrznych i szkwałów
- ▷ przedstawiono m.in. ogólną charakterystykę wiatru halnego, jako groźnego

zjawiska o zasięgu regionalnym

- ▷ opracowano mapy ryzyka (50%) występowania maksymalnych prędkości wiatru w Polsce.

Ważniejsze wyniki:

- ▷ Określono empiryczne kryterium maksymalnych prędkości wiatru w porywach, wynikające ze struktury wiatru  $\geq 11$  m/s a niosące zagrożenie  $\geq 17$  m/s

- ▷ Wyróżniono trzy genetycznie różne przyczyny występowania maksymalnych prędkości wiatru w porywach  $> 11$  m/s:

a) działalność cyklonalna związana z ogólną cyrkulacją atmosfery nad Atlantykiem, Skandynawią i Europą środkową w tym Polską i tworzenie się charakterystycznych typów pól ciśnienia w rejonie Europy, południowego Bałtyku lub Skandynawii sprzyjających powstawianiu dużych przyrostów prędkości wiatru

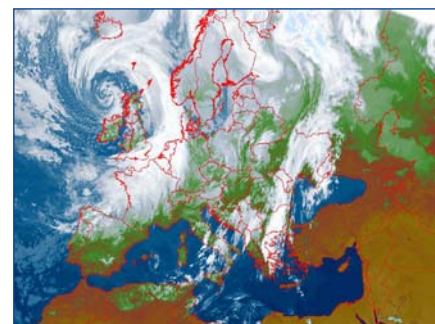
b) tworzenie się w rejonach górskich zaburzeń w ogólnej cyrkulacji atmosfery spowodowanych barierą orograficzną gór, stwarzających warunki do powstania ciepłego, suchego, silnego i porywistego wiatru „spadającego” (katabatycznego) z gór – wiatru halnego (w rejonie Tatr) lub jego odpowiednika – fenu (w rejonie Karkonoszy) o zasięgu regionalnym

c) tworzenie się sprzyjających warunków meteorologicznych do rozwoju intensywnej konwekcji i powstania małoskalowych wirów powietrznych – trąb powietrznych i szkwałów oraz superkomórek o zasięgu lokalnym.

- ▷ Stwierdzono, że typami huraganowymi cyrkulacji są te, w których udział dni w roku z prędkością wiatru  $> 11$  m/s przekracza 5% w skali kraju. Kryterium to spełniają cztery typy cyrkulacji: SWc, Wc, NWc i Nc, w skali regionalnej kryterium to wypełniają dodatkowo typy: NWo, SEc i Sc.
- ▷ Stwierdzono, że charakterystyczną cechą pojawiających się maksymalnych prędkości wiatru jest ich występowanie w cyklach wielogodzinnych lub kilkudobowych. Najdłużej trwający cykl porywowy, jaki został zaobserwowany

przez stacje meteorologiczne w Polsce w okresie 1971-2005 utrzymywał się 192 godziny w typie cyrkulacji NWc

- ▷ Stwierdzono, że w ciągu roku pojawia się nad Polską ok. 11 kilkugodzinnych cykli huraganowych, najczęściej w marcu, styczniu i grudniu.
- ▷ Opracowano dla potrzeb możliwości oceny skutków działania maksymalnych prędkości wiatru w porywach (zgodnie z przyjętymi kryteriami), opracowano ośmiostopniową „Klasyfikację maksymalnych prędkości wiatru w Polsce i skutki ich działania”
- ▷ Stwierdzono, że głębokie ośrodki niżowe które na szlaku swojego przemieszczania tworzą w rejonie Europy układy baryczne w których gradient ciśnienia przekracza 4 a nawet 5 hPa/100 km są najgroźniejszymi, osiągając rzeczywiste prędkości huraganowe  $\geq 35-48$  m/s.
- ▷ Wykazano, że do najbardziej niszczycielskich cyklonów huraganowych nad Polską, po 2005 r., w których prędkości wiatru w porywach przekraczały 30 m/s należały: 1-2 listopada 2006 – w typie cyrkulacji Nc; 17-19 stycznia 2007 – w typie cyrkulacji NWc/Wc; 1-2 marca 2008 – w typie cyrkulacji Wc/NWc; 9-10 marca 2009 – w typie cyrkulacji Wc/NWc, 22-23 marca 2009 – w typie cyrkulacji NWc; 14-16 października 2009 – w typie cyrkulacji NWo/NWc, 10-12 listopada 2010 – w typie cyrkulacji SWc/Wc.



Sytuacja atmosferyczna na zdjęciu satelitarzym z METEOSAT-a, 10 listopada 2010 r. gdy w Polsce wystąpił cyklon huraganowy CARMEN w typie cyrkulacji SWc/Wc



# Identyfikacja i ocena ekstremalnych zdarzeń meteorologicznych i hydrologicznych w Polsce w II połowie XX wieku

## Struktura maksymalnych prędkości wiatru w Polsce jako zjawiska groźnego dla bezpieczeństwa wewnętrznego kraju

▷ Największe zarejestrowane w okresie 1971-2005 r maksymalne prędkości wiatru w porywach w Polsce związane z działaniem ogólnej cyrkulacji atmosfery odnotowano na następujących stacjach meteorologicznych (bez Śnieżki i Kasprowego Wierchu):

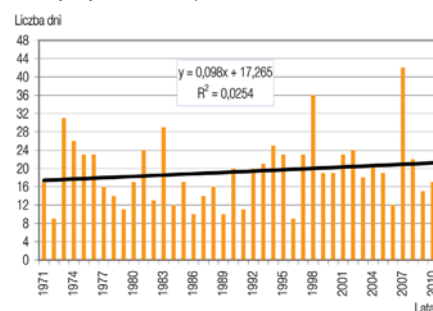
Miejscowość	Max prędkość wiatru w porywach (m/s)	Data wystąpienia	Typ cyrkulacji
Bielsko-Biała	48	6 XI 1985	SWc
Zakopane	47	1 XII 1976	SWc
Kalisz	46	21 X 1986	Wc
Łeba	44	8 II 1990	Wc
Hel	41	4 XII 1999	NWc
Warszawa	40	14 VI 1986	SWc
Mława	39	13 XI 1972	Wc

▷ Rejonami kraju o największym rocznym prawdopodobieństwie wystąpienia maksymalnych prędkości wiatru w porywach związanych z ogólną cyrkulacją atmosfery są:  
– wschodnia część Pobrzeża Słowińskiego od Koszalina po Rozewie i Hel oraz rejon północno-wschodniej czę-

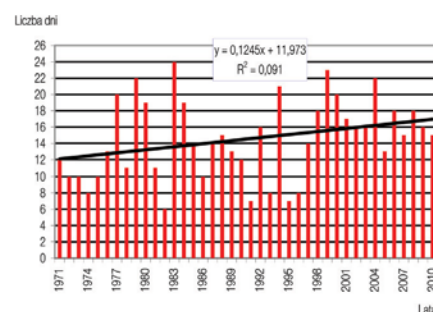
ści Pojezierza Mazurskiego, szczególnie Suwalszczyzna,  
– rejon Beskidu Śląskiego, Beskidu Żywieckiego, Pogórza Śląskiego, Beskidu Małego oraz Bieszczadów – Mazowsze i zachodnia część kraju. Ważnym z probabilistycznego punktu widzenia jest 10-procentowy decyl prawdopodobieństwa. Prędkości wiatru o takim prawdopodobieństwie wystąpienia wykazują, że w rejonie wschodniej części Pobrzeża Słowińskiego oraz Beskidów Zachodnich i Podhala, wiatr na wysokości 10 m n.p.g. może wieć z prędkością  $\geq 35$  m/s, a na obszarze Beskidu Śląskiego i Żywieckiego  $\geq 40$  m/s.

▷ Analiza czasowych trendów częstości występowania huraganowych typów cyrkulacji upoważnia do następujących stwierdzeń:  
– typy cyrkulacji Nc, SWc, NWo i SEc wykazują lekką tendencję spadkową, nieistotną statystycznie  
– typy cyrkulacji NWc, Wc wykazują lekką tendencję wzrostową, nieistotną statystycznie

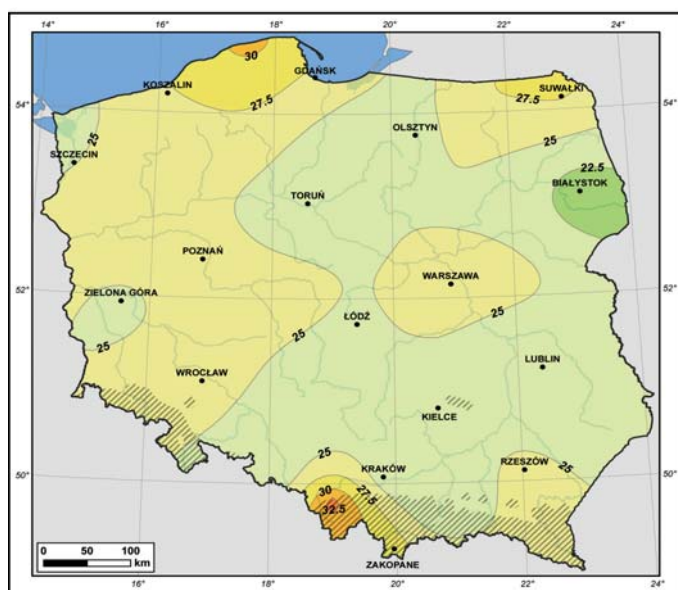
– typ cyrkulacji Sc jako jedyny wykazuje tendencję wzrostową, istotną statystycznie na poziomie  $\alpha = 0.05$ .



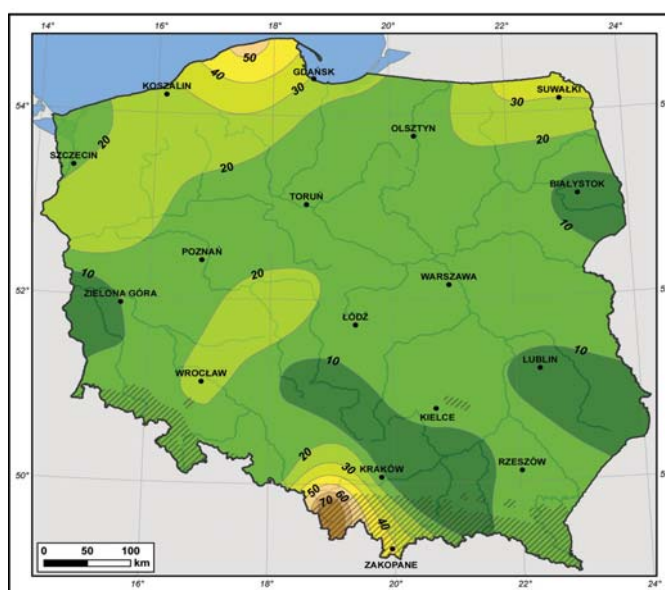
Wieloletni przebieg i trend liniowy typu cyrkulacji atmosfery NWc



Wieloletni przebieg i trend liniowy typu cyrkulacji atmosfery Sc



Maksymalne prędkości wiatru w porywach (m/s) o rocznym prawdopodobieństwie wystąpienia 50% na wysokości 10 m n.p.g. w terenie otwartym (bez terenów górskich)



Roczne prawdopodobieństwo (%) przewyższenia prędkości wiatru w porywach 30 m/s na wysokości 10 m n.p.g. w terenie otwartym (bez obszarów górskich)



## Identyfikacja i ocena ekstremalnych zdarzeń meteorologicznych i hydrologicznych w Polsce w II połowie XX wieku

### Struktura maksymalnych prędkości wiatru w Polsce jako zjawiska groźnego dla bezpieczeństwa wewnętrznego kraju

- ▷ Stwierdzono wzrost częstości występowania maksymalnych prędkości wiatru w typie cyrkulacji Sc w obszarach górskich i podgórskich (wzrost sytuacji fenowych). Południowy kierunek cyrkulacji sprzyja napływowi zwrotnikowych, ciepłych mas powietrza, które w okresie cieplej pory roku po przejściu przez „korytarz” Bramy Morawskiej, po jej zawietrznej stronie, sprzyjają formowaniu się układów chmurowych, doprowadzając w tej bardzo chwiejnej masie powietrza do tworzenia się frontów szkwałowych z trąbami powietrznymi i superkomórrek.
- ▷ Badania wykazały, że wielokrotnie efekt zjawisk fenowych nakłada się na działalność huraganowych typów cyrkulacji (głównie Sc, SEc i SWc), wzmagając prędkości wiatru w poszczególnych fragmentach południowej części Polski. Inną przyczyną wzmagania wiatru halnego, to jedno-

czesne działanie kilku czynników: specyficzny układ pola barycznego, który wywołuje powstanie wiatru halnego oraz wspomagający go wzrost prędkości przez niskotroposferyczny prąd strumieniowy już na wysokości 2000-2500 m. Wówczas w szczytowych partiach gór prędkości wiatru osiągną 40-50 m/s na Kasprowym Wierchu oraz 60-70 m/s na Śnieżce. Obliczono, że istnieje 29% prawdopodobieństwo wystąpienia dni z wiatrem halnym w Tatrach w ciągu roku, przy czym możliwość ich pojawiania się jest największa w listopadzie (41%) i styczniu (40%). Skutki: niszczone drzewostany na dużych, obszarach, powalony drzew, choroby fenowe.

- ▷ Szkwaly i trąby powietrzne należą do zjawisk najgroźniejszych pod względem siły działania wiatru, o największym stopniu trudności prognozowania tych zjawisk a także systematycznych obserwacji, z uwagi

na ograniczony ich zasięg tworzenia się i działania. Z tego powodu stacje meteorologiczne sieci IMGW-PIB nie są w stanie prowadzić ich systematycznego monitoringu ilościowego. Zjawiska te są natomiast widoczne na obrazach satelitarnych i radarowych.

Metodą pozyskania informacji o ich wystąpieniu w skali kraju jest monitoring medialny, którego rezultaty za okres 1998-2010 zostały wykorzystane w tym opracowaniu. Trąby powietrzne powstają zazwyczaj przed frontem chłodnym w strefie frontu szkwałowego, w masie ustępującego, dynamicznie spiętrzonego, bardzo ciepłego i wilgotnego powietrza zwrotnikowego, napływającego z południa Europy i po pewnym czasie wypierającego go, napływającego za frontem chłodnym przeważnie z północnego-zachodu, chłodnego powietrza polarno-morskiego.

Klasyfikacja maksymalnych prędkości wiatru w Polsce i skutki ich działania wg H. Lorenc

Nr klasy	Prędkość wiatru w m/s na wys. 10 m	Prędkość wiatru w km/h na wys. 10 m	Charakterystyka wiatru	Skutki działania
I	17,0-20,0	61-72	wiatr gwałtowny	wiatr łamie suche gałęzie drzew, chodzenie pod wiatr jest utrudnione, uszkodza markizy i duże namioty, wznosi tumany kurzu, w okresie zalegania pokrywy śnieżnej lub opadów śniegu powoduje zamieć lub zawieję śnieżną
II	21,0-24,0	73-86	wichura	wiatr powoduje drobne uszkodzenia budynków, zrywa dachówki, łamie konary drzew, leżaki unosi w powietrzu, przewraca drewniane płyty
III	25,0-28,0	87-101	wiatr huraganow	wiatr powoduje znaczne uszkodzenia budynków, wież i kominów, łamie i wyrwa stare drzewa o płytkim ukorzeniu, utrudnia jazdę samochodów osobowych po szosie
IV	29,0-32,0	102-116	gwałtowny wiatr huraganowy	wiatr powoduje zniszczenia zabudowań, zrywa odcinki linii energetycznych, utrudnia jazdę samochodów ciężarowych, wyrwa drzewa z korzeniami i niszczy większe połacie drzewostanu (wiatrołomy w górach)
V	≥33	≥ 117	huragan lub trąba powietrzna	rozległe zniszczenia
V-1	33,0-50,0	117-180	huragan, trąba I stadium	wiatr zrywa całe poszycia dachów, przewraca lub przesuwa ruchome domy (przyczepy)-wyrwa duże drzewa z korzeniami na większych przestrzyniach, zrywa linie przesyłowe, niszczy konstrukcje budowlane, „zdmuchuje” z szosy jadące samochody osobowe
V-2	51,0-69,0	181-249	huragan bardzo silny trąba II stadium	wiatr powoduje ogólne zniszczenia i spustoszenia: duże drzewa wyrwa z korzeniami, zrywa dachy domów i przenosi na odległość, zawala budynki o słabych konstrukcjach, uszkodza konstrukcje mostów, lewitowanie samochodów i innych przedmiotów
V-3	≥70,0	≥ 250	huragan dewastujący, trąba III stadium	wiatr powoduje szkody niewyobrażalne: zrywa dachy i niszczy budynki o wzmocnionej konstrukcji, przewraca pociągi i samochody ciężarowe, porywa i przenosi samochody osobowe, wyrwa lub łamie drzewa na całych połaciach lasów, lewitowanie ciężkich przedmiotów. Wymagana ewakuacja ludności

Uwaga: w każdej następnej (wyższej) klasie wystąpią również skutki działania wiatru charakterystyczne dla klas niższych



# Identyfikacja i ocena ekstremalnych zdarzeń meteorologicznych i hydrologicznych w Polsce w II połowie XX wieku

## Struktura maksymalnych prędkości wiatru w Polsce jako zjawiska groźnego dla bezpieczeństwa wewnętrznego kraju

Uwzględniając fizyczne warunki tworzenia się trąb powietrznych, a zwłaszcza zasoby energii chwiejności (CAPE), wysokość rozbudowy chmury (lub zespołu chmur) Cb i skalę zniszczeń wyróżniono:

- a) trąby powietrzne, których źródłem tworzenia się jest strefa frontu szkwałowego (1 i 2 stopień zniszczeń)
- b). trąby powietrzne związane z utworzeniem się superkomórki (mezocyklonu), której zapowiedzią wystąpienia jest, oprócz silnego rozwoju chmury Cumulonimbus capillatus przebijającej warstwę inwersyjną, powstanie u jej podstawy wirującej chmury rotorowej (stropowej) – 2 i 3 stopień zniszczeń). Widocznym objawem zapowiadającym nadejście tornada superkomórkowego jest oprócz utworzenia się kolumny konwekcyjnej Cb, powstanie u jej podstawy wirującej chmury rotorowej (stropowej).

Chmura ta jest poziomym wirem chmurowym w postaci tuby, tworzącym się na czole zbliżającej się chmury burzowej Cb. Pojawienie się chmury rotorowej – to już strefa burzy podczas której z prawdopodobieństwem 90% może utworzyć się tornado/trąba powietrzna.



Skutki trąby powietrznej, 29.07.2007 (fot. G.Bebłot)

Wyniki prowadzonego monitoringu trąb powietrznych na obszarze Polski za okres 1998-2010 i szczegółowe badania wykazują, że:

- ▷ najczęściej zjawiska te tworzą się w rejonie Opola i przemieszczają przez Wyżynę Małopolską obejmując



Występowanie trąb powietrznych w Polsce w okresie 1998-2010

Wiatr	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
związany z ogólną cyrkulacją atmosfery	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
regionalny (fen, halny)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
wiry mezoskalowe (trąba powietrzna, szkwały)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Okresy nasilania się częstości występowania w przebiegu rocznym w Polsce trzech genetycznie różnych sytuacji meteorologicznych stwarzających zagrożenie wystąpienia maksymalnych prędkości wiatru w porywach >11 m/s

- ▷ szerokim pasem o kierunku SW–NE Wyżynę Kutnowską, Mazowsze, rejon Podlasia i Pojezierza Mazurskiego aż po Suwalszczyznę
- ▷ istotną rolę w procesie formowania się trąb powietrznych w Polsce odgrywa obniżenie łańcuchów górskich w rejonie Bramy Morawskiej i Beskidu Niskiego w których cieniu rozpoczyna się geneza przyszłych trąb powietrznych,
- ▷ trąby powietrzne w Polsce pojawiają się w okresie od kwietnia do październi-

- nika, najczęściej w sierpniu i lipcu
- ▷ prawdopodobieństwo wystąpienia trąby powietrznej w sierpniu wynosi 7%, w lipcu 5%
- ▷ średnio w półroczu ciepłym (IV-X) może wystąpić sześć przypadków trąb powietrznych na obszarze kraju,
- ▷ zaobserwowano zdecydowany wzrost częstości występowania trąb powietrznych w Polsce w roku 2008 i 2010. Oba te lata cechowały się bardzo dużą dynamiką pogody (powodzie, susze, trąby powietrzne).