

## ZMIANY PRĘDKOŚCI WIATRU W REJONIE SVALBARDU W LATACH 1948-2008

CHANGES IN SURFACE WIND SPEED IN SVALBARD AREA (1948-2008)

Grzegorz Kruszewski

Katedra Meteorologii i Oceanografii Nautycznej, Wydział Nawigacyjny, Akademia Morska  
ul. Sędzickiego 19, 81-374 Gdynia  
krucha@am.gdynia.pl

**Zarys treści.** Praca charakteryzuje prędkości wiatru w oparciu o dane pochodzące z reanaliz NCEP/NCAR. Zmiany prędkości prześledzono w dwunastu punktach gridowych z rejonu Svalbardu. W przebiegu rocznym stwierdzono większe prędkości w miesiącach zimowych i mniejsze latem, przy czym amplituda tych zmian jest ponad dwukrotnie większa w południowej części rozpatrywanego obszaru. W przebiegach wieloletnich (1948-2008) obserwuje się istotny statystycznie wzrost rocznej prędkości wiatru w ośmiu gridach. W ostatnich trzydziestu latach wzrost ten przybierał na sile. Największe zmiany odnotowano w rejonie na północ od Svalbardu.

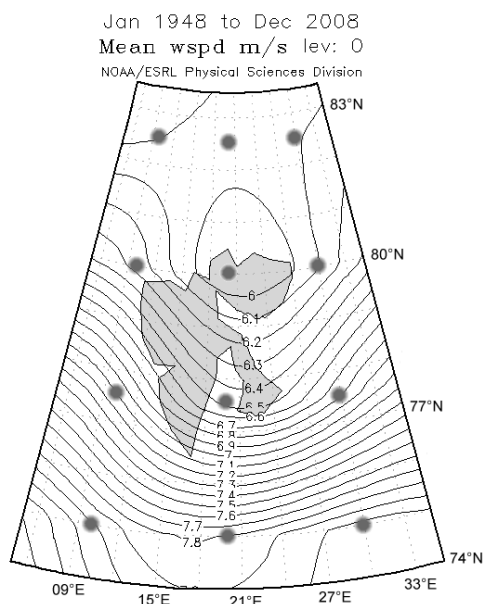
**Słowa kluczowe:** prędkość wiatru, Svalbard, analiza trendów.

### 1. Wprowadzenie

Zmiany cyrkulacji atmosferycznej w atlantyckim sektorze Arktyki, a zwłaszcza nad Spitsbergenem są dobrze udokumentowane (Niedźwiedz 2006). Natomiast badania długookresowej zmienności prędkości wiatru ściśle z cyrkulacją powiązanej, do niedawna stanowiły poważny problem, zwłaszcza w wysokich szerokościach geograficznych. Wartości mierzone na stacjach brzegowych obciążone są silnym wpływem topografii terenu, a problem braku homogeniczności obserwacji prędkości wiatru (jak też i innych elementów meteorologicznych) nad obszarami morskimi, pomimo upływu lat, pozostaje wciąż aktualny (patrz Miętus i Filipiak 2005). Powszechna dostępność i brak ograniczeń w wykorzystaniu danych z reanaliz map ciśnienia sprawia, że sięgamy po nie coraz częściej (np. Marosz 2005). Nowe możliwości stwarzają dane uzyskiwane z pomiarów satelitarnych, jednak ich dostępność czasowa jest ograniczona. Dużą zgodność takich danych z materiałami pochodzącymi z reanaliz wykazał Kolstad (2008), co dodatkowo przemawia za stosowaniem tych ostatnich. Celem artykułu jest charakterystyka zmian prędkości wiatru w rejonie Svalbardu w oparciu o dane reanaliz NCEP/NCAR w ciągu ostatnich 61 lat. Zagadnienie to wydaje się być ważne również z tej przyczyny, że zmiany prędkości wiatru, podobnie jak zmiany temperatury morza czy zlodzenia, wpisują się w zachodzące współcześnie zmiany klimatyczne tego rejonu Arktyki.

## 2. Źródła danych i metody badawcze

Analizie poddano zbiór danych gridowych pochodzący z bazy danych NOAA-ESRL Physical Sciences Division, Boulder, Colorado, zawierającej materiały reanaliz (Kalany i in., 1996; źródło danych: <http://www.cdc.noaa.gov/data/gridded/data.ncep.reanalysis.derived.surface.html>) zawierający średnie miesięczne wartości prędkości wiatru przy powierzchni (surface level) dla pól o rozdzielczości  $2,5 \times 2,5^\circ$  z okresu 1948-2008. Do analizy wybrano dwanaście gridów leżących wzdłuż południków 10, 20 i  $30^\circ\text{E}$  na szerokościach od  $75$  do  $82,5^\circ\text{N}$ . W celu uproszczenia zapisu w tekście używać się będzie skróconego opisu współrzędnych. Np. grid opisany jako [75, 30] charakteryzuje prędkość wiatru w punkcie o współrzędnych geograficznych  $75^\circ\text{N}$  i  $30^\circ\text{E}$ . Usytuowanie gridów z których dane poddano analizie na tle średniego wieloletniego rozkładu prędkości wiatru prezentuje ryc. 1. Zmiany prędkości prześledzono w układzie wartości średnich miesięcznych i średnich rocznych. Wyznaczono współczynniki trendu liniowego i ich istotność statystyczną w całym wieloleciu i w krótszych przedziałach czasu.



Ryc. 1. Rozkład wieloletniej (1948-2008) prędkości wiatru [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ] z położeniem gridów uwzględnionych w analizie. Obraz uzyskany z NOAA-ESRL

Fig. 1. Average (1948-2008) surface wind speed [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ] distribution with the location of analysed grid points. Image provided by the NOAA-ESRL Physical Sciences Division

## 3. Wyniki

### 3.1. Miesięczne wartości prędkości wiatru

Średnie wieloletnie miesięczne i roczne prędkości wiatru zawiera tab. 1. Najwyższe w roku wartości miesięczne występują we wszystkich gridach zimą i jesienią. Maksimum najczęściej przypada na styczeń bądź grudzień. W południowej części analizowanego obszaru – gdzie notuje się największe wartości – prędkość wiatru osiąga w styczniu średnio od  $9,4$  [75, 20] do  $9,7$   $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  w gridach [75, 10] i [75, 30]. Prędkości wiatru spadają wraz ze wzrostem szerokości geograficznej. Na równoleżniku  $82,5^\circ\text{N}$  styczniowe maksima wynoszą już tylko  $6,8$ - $6,9$   $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Miesiące z najmniejszymi prędkościami

Tabela 1 – Table 1

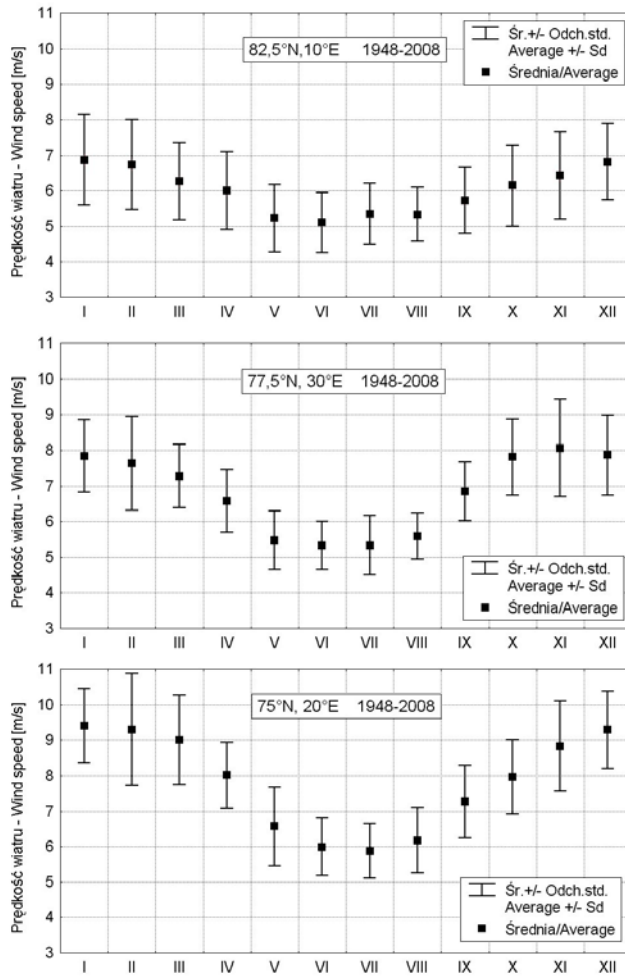
Średnie miesięczne i roczne wartości prędkości wiatru ( $m\cdot s^{-1}$ ) w wybranych gridach w okresie 1948-2008  
 Monthly and annual average wind speed values ( $m\cdot s^{-1}$ ) in selected grids (1948-2008)

Grid	Miesiąc – Month												Rok Year
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
75°N, 10°E	9,7	9,7	9,6	8,4	6,9	5,9	5,8	6,2	7,4	8,1	8,9	9,6	8,0
75°N, 20°E	9,4	9,3	9,0	8,0	6,6	6,0	5,9	6,2	7,3	8,0	8,8	9,3	7,8
75°N, 30°E	9,7	9,4	9,1	8,1	6,7	6,2	6,0	6,4	7,6	8,4	9,2	9,6	8,0
77,5°N, 10°E	8,8	8,6	8,3	7,3	5,8	5,1	5,1	5,4	6,5	7,4	8,2	8,9	7,1
77,5°N, 20°E	7,7	7,5	7,1	6,3	5,2	4,9	4,9	5,2	6,3	7,2	7,7	7,8	6,5
77,5°N, 30°E	7,8	7,6	7,3	6,6	5,5	5,3	5,3	5,6	6,8	7,8	8,1	7,9	6,8
80°N, 10°E	7,5	7,2	6,7	6,2	5,2	4,9	5,1	5,3	5,9	6,6	7,0	7,5	6,3
80°N, 20°E	6,8	6,7	6,1	5,7	5,0	4,8	4,9	5,0	5,9	6,6	6,7	6,8	5,9
80°N, 30°E	6,8	6,7	6,3	5,9	5,2	5,1	5,1	5,2	6,3	7,0	6,8	6,6	6,1
82,5°N, 10°E	6,9	6,7	6,3	6,0	5,2	5,1	5,4	5,3	5,7	6,1	6,4	6,8	6,0
82,5°N, 20°E	6,9	6,8	6,3	6,0	5,3	5,1	5,3	5,3	5,8	6,4	6,5	6,8	6,0
82,5°N, 30°E	6,8	6,8	6,4	6,1	5,3	5,2	5,4	5,3	6,0	6,5	6,6	6,8	6,1

wiatru to czerwiec lub lipiec. Minimum w lipcu notujemy we wszystkich gridach położonych na 75 równoleżniku. Na 77,5°N oraz w gridzie [80, 30] minimum rozciąga się na czerwiec i lipiec. W pozostałych punktach lokuje się w czerwcu. Ponownie wartość letniego minimum okazała się najwyższa wzdłuż 75°N ( $5,8-6,0 m\cdot s^{-1}$ ), a najniższą ( $4,8 m\cdot s^{-1}$ ) odnotowano w czerwcu, w usytuowanym nad lądem gridzie [80, 20]. Zauważalne jest wyraźnie większe zróżnicowanie prędkości wiatru między analizowanymi gridami zimą niż latem. W poszczególnych gridach roczna amplituda prędkości wiatru zawiera się w przedziale od  $1,6$  do  $3,9 m\cdot s^{-1}$ . Największą w roku amplitudę prędkości wiatru odnotowano w gridzie [75, 10], najmniejszą w [82,5; 30], przy czym wartości amplitudy rocznej wyraźnie maleją przy przesuwaniu się na północ i wschód.

Analizując zmienność z miesiąca na miesiąc można wydzielić trzy rodzaje rocznego przebiegu prędkości wiatru. W położonych na południu gridach [75, 10], [75, 20] i [75, 30] i [77,5; 10] amplituda roczna jest największa i przekracza  $3,5 m\cdot s^{-1}$ . Zimowe maksimum prędkości wiatru przypada w styczniu (ryc. 2, tab. 1). Po wystąpieniu maksimum prędkość wiatru w lutym i marcu nieznacznie spada, po czym zaznacza się skokowe obniżenie prędkości wiatru między marcem a majem (o około  $2,5 m\cdot s^{-1}$ ) i wolniejszy spadek do czerwca. Minimum roczne prędkości wiatru przypada na lipiec, niewiele różniąc się od średniej miesięcznej czerwca. W sierpniu następuje nieznaczny, a między sierpniem a wrześniem największy wzrost średniej prędkości wiatru (o  $1,1-1,2 m\cdot s^{-1}$ ), po czym prędkości dalej wyraźnie rosną, do osiągnięcia maksimum rocznego.

Prędkość wiatru nad obszarem środkowo-wschodniej części Svalbardu (gridy [77,5; 20], [77,5; 30], [80, 20] i [80, 30]) osiąga minimum w przebiegu rocznym w czerwcu i lipcu. Jest ono słabo zaznaczone – wartości z maja i sierpnia są praktycznie na tym samym poziomie. Tak jak poprzednio, największy wzrost prędkości wiatru zaznacza się jesienią, ale trwa on krócej (sierpień-październik), a dalszy przyrost prędkości wiatru jest już dużo wolniejszy. Rozciągnięte maksimum roczne lokuje się między październikiem a grudniem, przy czym wartości od listopada do lutego prawie się nie różnią. Wiosenny spadek jest bardziej równomiernie rozłożony w czasie. Obniżenie prędkości między lutym a marcem jest większe niż w poprzednim typie, za to wyraźnie mniejsze od marca do maja (poniżej  $1,9 m\cdot s^{-1}$ ).



Ryc. 2. Przebieg wieloletnich miesięcznych prędkości wiatru (1948-2008) w gridach [75, 20], [77,5; 30] i [82,5; 10]

Fig. 2. Course of monthly average wind speed values (1948-2008) in grids [75, 20], [77,5; 30] and [82,5; 10]

Trzeci rodzaj przebiegu występuje w gridzie [80, 10] i pozostałych, leżących na równoleżniku 82,5°N. Minimum roczne przypada tu w czerwcu i jest wyraźniej zaznaczone. Wartości z maja, lipca i sierpnia utrzymują się na zbliżonym poziomie. Potem do końca roku obserwuje się równomierny, powolny wzrost prędkości wiatru z miesiąca na miesiąc. Maksimum przypada, jak w typie pierwszym, w styczniu lub grudniu i styczniu. Od lutego do kwietnia następuje równy spadek. Jedynie pomiędzy kwietniem i majem zaznacza się większa, skokowa zmiana prędkości rzędu 0,7-1,0 m·s<sup>-1</sup>.

Największą zmiennością prędkości wiatru charakteryzują się miesiące chłodnej pory roku, co wyraźnie widać po wielkości odchyłań standardowych (ryc. 2). Bez względu na największe wartości tego parametru w poszczególnych gridach odnotowano w lutym (6 przypadków), listopadzie (4) i styczniu (2). Najmniejszą zmienność wykazują miesiące cieplej pory roku – czerwiec (7 razy), lipiec (4) i sierpień

(1 przypadek). Wartości odchyłeń standardowych miesięcy zimowych są około dwa razy większe od analogicznych wartości w miesiącach letnich i we wszystkich analizowanych gridach przybierają zbliżone do siebie wartości. Taka charakterystyka rozkładu zmienności wpływa na to, że o wartościach rocznych prędkości wiatru decyduje przede wszystkim międzyroczna zmienność prędkości w miesiącach zimowych.

Istotnie statystycznie dodatnie trendy miesięcznych prędkości wiatru w okresie 1948-2008 pojawiają się w większym zgrupowaniu głównie wzdłuż równoleżnika 82,5°N w chłodnej porze roku (listopad-luty) oraz sierpniu i wrześniu. Największą wartość trendu stwierdzono w gridzie [82,5; 10] w styczniu (+0,038 m·s<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup>). Wartości trendów w sierpniu i wrześniu są prawie dwukrotnie niższe. Przypadki istotnych dodatnich trendów odnotowano także w styczniu na 80 równoleżniku. Nie stwierdzono natomiast istotnych statystycznie trendów ujemnych miesięcznych prędkości wiatru w latach 1948-2008.

### 3.2. Roczne wartości prędkości wiatru

W analizowanym okresie 61 lat największe prędkości wiatru odnotowano w gridach usytuowanych wzdłuż 75 równoleżnika. Średnia wieloletnia prędkość wiatru osiąga tam 8,0 m·s<sup>-1</sup> (tab. 1). W gridach położonych najdalej na północy [82,5; 10], [82,5; 20] prędkość wiatru spada do 6,0 m·s<sup>-1</sup>. Bezwzględnie najniższą wartość prędkości odnotowano w usytuowanym na lądzie gridzie [80, 20], a wyniosła ona 5,9 m·s<sup>-1</sup>.

Ciekawy obraz zmian prędkości wiatru w czasie daje analiza tabeli 2. Zawarto w niej średnie roczne prędkości wiatru wyliczone dla różnych okresów 30-letnich, 50-lecia (1951-2000) i całego wielolecia (61 lat). Wszędzie poza równoleżnikiem 77,5°N kolejne wartości średnie 30-letnie rosną w miarę przesuwania się okresu uśredniania w czasie. Największe zmiany odnotowano między skrajnymi okresami 1948-1977 a 1978-2008. Wzrost średniej prędkości wiatru między tymi okresami wyniósł od 0,2 m·s<sup>-1</sup> w gridach [75, 10], [80, 20] i [80, 30], przez 0,3 m·s<sup>-1</sup> w gridach [75, 30], [80, 10] do 0,4 m·s<sup>-1</sup> ([75, 20], [82,5; 30]) i aż 0,5 m·s<sup>-1</sup> w rejonie [82,5; 10] i [82,5; 20]. Spadek prędkości w tym samym czasie pojawił się tylko w gridzie [77,5; 20] i wyniósł -0,2 m·s<sup>-1</sup>.

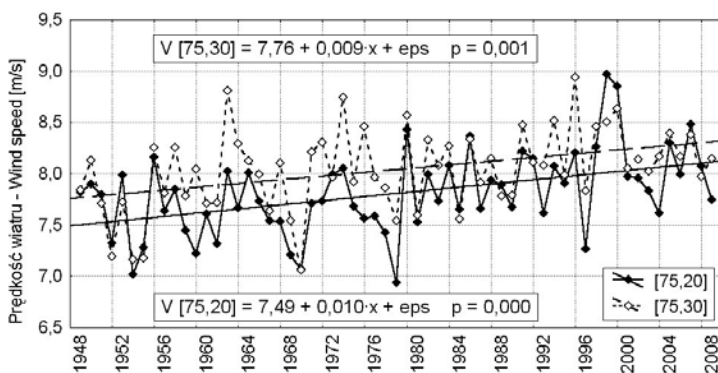
Tabela 2 – Table 2

Średnie roczne prędkości wiatru (m·s<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup>) w różnych przedziałach czasu  
Average annual wind speed values (m·s<sup>-1</sup> per year) for different time periods

Grid	Okres – Period						
	1948-1977	1951-1980	1961-1990	1971-2000	1978-2008	1951-2000	1948-2008
75°N, 10°E	7,9	7,9	7,9	8,1	8,1	8,0	8,0
75°N, 20°E	7,6	7,6	7,7	7,9	8,0	7,8	7,8
75°N, 30°E	7,9	7,9	8,0	8,2	8,2	8,0	8,0
77,5°N, 10°E	7,1	7,0	7,0	7,1	7,1	7,1	7,1
77,5°N, 20°E	6,6	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,5
77,5°N, 30°E	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8
80°N, 10°E	6,1	6,0	6,1	6,3	6,4	6,2	6,3
80°N, 20°E	5,8	5,7	5,8	5,9	6,0	5,8	5,9
80°N, 30°E	6,0	6,0	6,1	6,1	6,2	6,1	6,1
82,5°N, 10°E	5,7	5,7	5,8	6,1	6,2	5,9	6,0
82,5°N, 20°E	5,8	5,8	6,0	6,2	6,3	6,0	6,0
82,5°N, 30°E	5,9	5,9	6,1	6,2	6,3	6,1	6,1

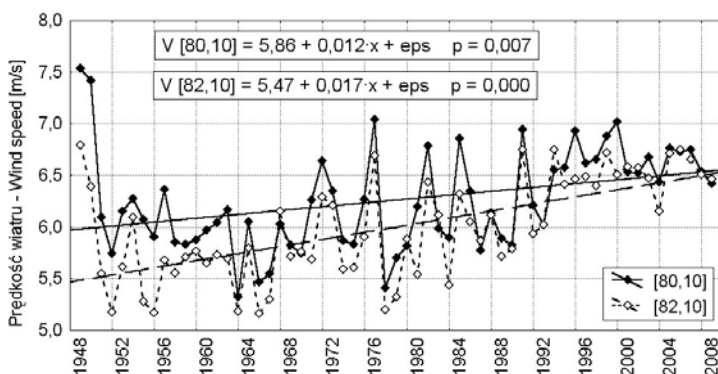
Przebiegi średnich rocznych prędkości wiatru dla wybranych gridów prezentują ryciny 3-5. Ich analiza wykazuje pewne podobieństwa w poszczególnych przebiegach, które widać w zestawieniu „równoleżnikowym” i „południkowym” w sąsiadujących gridach. Przebieg wartości rocznych w analizowanym 61-leciu przy ogólnej tendencji rosnącej jest dość chaotyczny (ryc. 3). Okresy względnej stabilizacji warunków anemometrycznych przypadają na lata 80. i początek 90. oraz w gridzie [75, 30] po 2000 roku. W gridach [75, 20] i [75, 30] najniższe prędkości wiatru odnotowano odpowiednio w latach 1978 i 1969, a najwyższe w latach 90. ubiegłego wieku, chociaż w gridzie [75, 30] podobne wysokie wartości pojawiały się w latach 1962 i 1975. Amplituda zmian wartości rocznej prędkości wiatru w obu gridach jest bardzo zbliżona: 2,0 w [75, 20] i 1,9 m·s<sup>-1</sup> w [75, 30].

W większości przebiegów daje się zauważyć wyraźny skok prędkości w latach 1976-1978, dzielący przebiegi na dwie części. Według Marsza (2007) właśnie w tym okresie nastąpiła zmiana reżimu cyrkulacyjnego półkuli północnej. Podobne bardzo duże wahania międzyroczne wystąpiły na samym początku rozpatrywanego okresu i na przełomie lat 80. i 90. (patrz ryc. 4 i 5). W gridach [80, 10] oraz [82,5; 10] przebieg wieloletni jest bardzo zbliżony. Maksima odnotowano na samym początku badanego okresu, a minima w połowie lat 60. Większą amplitudę (2,2 m·s<sup>-1</sup>) odnotowano w gridzie [80, 10]. Dalej na północ jest ona o ponad 0,5 m·s<sup>-1</sup> mniejsza. W obu przebiegach zauważamy względną stabilizację (zmniejszenie zmienności międzyrocznej) warunków wietrznych w ostatnich 15 latach. Ponadto doszło do zrównania się prędkości wiatru w obu gridach – w ostatnich pięciu latach są one w zasadzie identyczne. Nieco inna sytuacja widoczna jest na ryc. 5. Przy podobnie dużej zgodności przebiegów najwyższe wartości odnotowano w latach 1990 i 2006. Najniższe natomiast w 1951 i 1963 [82,5; 30] oraz 1969 i 1978 w gridzie [80, 30]. Większą amplitudą wahań tym razem wykazał się rejon położony dalej na północ (1,8 m·s<sup>-1</sup>). W gridzie [80, 30] zmienność międzyroczna osiągnęła 1,5 m·s<sup>-1</sup>. W obu przebiegach zaznaczył się okres względnej stabilizacji warunków anemometrycznych przełomu lat 50. i 60. W ostatnich latach zmienność się nasila. Wzrost prędkości wiatru w gridzie [82,5; 30] okazał się na tyle duży, że średnia wieloletnia prędkość wiatru w trzydziestoleciu 1961-1990 zrównała się, a w kolejnych okresach (1971-2000 i 1978-2008) przewyższyła prędkości występujące w rejonie [80, 30] – patrz tab. 2. Podobną sytuację odnotowano wcześniej w tych samych szerokościach na długości 20°E.

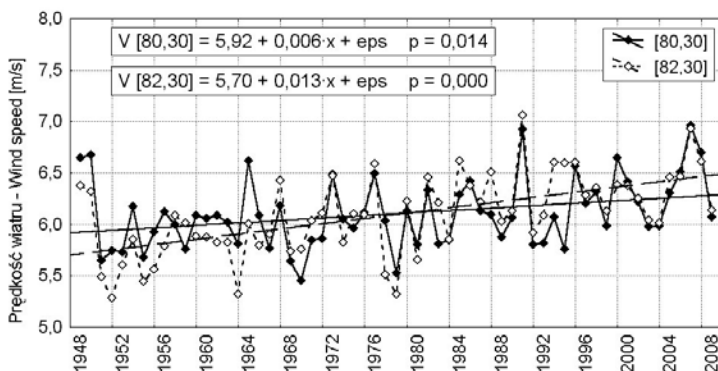


Ryc. 3. Przebieg średnich rocznych prędkości wiatru w gridach [75, 20] i [75, 30] oraz ich linie trendu

Fig. 3. Course of mean annual wind speed values in grids [75, 20] and [75, 30] with their linear trend lines



Ryc. 4. Przebieg średnich rocznych prędkości wiatru w gridach [80, 10] i [82,5; 10] oraz ich linie trendu  
 Fig. 4. Course of mean annual wind speed values in grids [80, 10] and [82,5; 10] with their linear trend lines



Ryc. 5. Przebieg średnich rocznych prędkości wiatru w gridach [80, 30] i [82,5; 30] oraz ich linie trendu  
 Fig. 5. Course of mean annual wind speed values in grids [80, 30] and [82,5; 30] with their linear trend lines

### 3.3. Trendy rocznych prędkości wiatru

Analizę trendów wartości rocznych wykonano, podobnie jak w przypadku wartości średnich dla różnych okresów czasu. Współczynniki trendu liniowego zestawiono w tabeli 3.

W wieloletniu 1948-2008 obserwujemy statystycznie istotne trendy wzrostu średniej rocznej prędkości wiatru wszędzie, poza równoleżnikiem 77,5°N i gridem [80, 20]. Największy wzrost notowany jest w NW części badanego obszaru [82,5; 10] i wynosi +0,017 m·s<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup> (co daje przyrost prędkości wiatru o ponad 1 m·s<sup>-1</sup> w ciągu 61 lat). Na północy badanego obszaru wartości trendów są największe i maleją przy przesuwaniu się na wschód. W szerokościach 75 i 80°N wartości trendów zawierają się w przedziale od +0,006 do +0,01 m·s<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup>.

W pozostałych wydzielonych przedziałach czasu na równoleżniku 75°N istotne trendy dodatnie pojawiły się w okresie 1971-2000 w gridach [75, 10] i [75, 20] – +0.015 i +0.021 m·s<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup> odpowiednio, oraz 50-leciu 1951-2000 we wszystkich trzech gridach. Niższe wartości trendu w latach 1948-2008

w porównaniu z okresem 1951-2000 oraz brak istotnych wartości w okresie 1978-2008 świadczą o załamaniu się tendencji wzrostowej po 1999/2000 roku.

Na szerokości 77,5°N odnotowano jedyne przypadki istotnych statystycznie trendów ujemnych. Występowały one w latach 1948-1977 na długościach 10 i 20°E (-0,027 i -0,021 m·s<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup>) oraz na 10°E w okresie 1951-1980 (-0,019 m·s<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup>). Trendy te w kolejnych okresach traciły na sile i istotności statystycznej, a począwszy od 30-lecia 1971-2000 ich tendencja uległa odwróceniu. Stąd w wieloleciu 1978-2008 odnotowuje się na szerokości 77,5°N, przy przesuwaniu się na wschód, trendy dodatnie rocznych prędkości wiatru (+0,012, +0,018 i +0,015 m·s<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup>), z których dwie ostatnie wartości posiadają istotność statystyczną. Dalej ku północy, w gridach usytuowanych wzdłuż 80. równoleżnika, sytuacja jest podobna. Początkowe okresy charakteryzowały się trendami ujemnymi, lecz bez istotności statystycznej. Natomiast w latach 1971-2000 notuje się już istotny trend wzrostu w gridzie [80, 10], a w latach 1978-2008 we wszystkich gridach na tej szerokości (+0,025, +0,024 oraz +0,017 m·s<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup>).

Tabela 3 – Table 3

Wartości współczynników trendu liniowego rocznych prędkości wiatru (m·s<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup>)  
w różnych przedziałach czasu

Linear trend coefficient values in annual wind speed (m·s<sup>-1</sup> per year) for different time periods

Grid	Okres – Period						
	1948-1977	1951-1980	1961-1990	1971-2000	1978-2008	1951-2000	1948-2008
75°N, 10°E	-0,003	-0,002	+0,010	<b>+0,015</b>	+0,008	<b>+0,009*</b>	<b>+0,006*</b>
75°N, 20°E	-0,001	+0,004	+0,013	<b>+0,021</b>	+0,013	<b>+0,014*</b>	<b>+0,010*</b>
75°N, 30°E	+0,016	+0,015	+0,000	+0,008	+0,010	<b>+0,012*</b>	<b>+0,009*</b>
77,5°N, 10°E	<b>-0,027*</b>	<b>-0,019</b>	-0,003	+0,015	+0,012	+0,001	-0,002
77,5°N, 20°E	<b>-0,021</b>	-0,015	-0,009	+0,004	<b>+0,018</b>	-0,003	-0,003
77,5°N, 30°E	+0,005	+0,003	-0,004	-0,001	<b>+0,015</b>	+0,002	+0,003
80°N, 10°E	-0,015	+0,003	+0,015	<b>+0,022</b>	<b>+0,025*</b>	<b>+0,015*</b>	<b>+0,009*</b>
80°N, 20°E	-0,014	-0,002	+0,010	+0,015	<b>+0,024*</b>	<b>+0,009</b>	+0,006
80°N, 30°E	-0,000	+0,003	+0,008	+0,008	<b>+0,017</b>	<b>+0,007</b>	<b>+0,006</b>
82,5°N, 10°E	+0,002	+0,011	<b>+0,018</b>	<b>+0,027*</b>	<b>+0,032*</b>	<b>+0,021*</b>	<b>+0,017*</b>
82,5°N, 20°E	+0,007	+0,012	<b>+0,020</b>	<b>+0,021</b>	<b>+0,023*</b>	<b>+0,019*</b>	<b>+0,015*</b>
82,5°N, 30°E	+0,011	+0,012	<b>+0,022*</b>	<b>+0,015</b>	<b>+0,014</b>	<b>+0,017*</b>	<b>+0,013*</b>

Wartości pogrubione istotne na poziomie p = 0.05; oznaczone \* na poziomie p = 0.01

Values printed in bold significant on 95% level; marked \* significant on 99% level

Na równoleżniku 82,5°N sytuacja jest najbardziej klarowna. Przez cały czas ma się tu do czynienia z tendencją wzrostu prędkości wiatru. Od lat 60. trendy są istotne statystycznie, przy czym na długościach 10 i 20°E ulegają wzmocnieniu w kolejnych okresach 30-letnich, natomiast na 30°E słabną. Bezwzględnie najwyższą wartość współczynnika trendu odnotowano w gridzie [82,5; 10] w ostatnim trzydziestoleciu (+0,032 m·s<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup>), co daje w tym okresie przyrost rocznej prędkości wiatru o 1,0 m·s<sup>-1</sup>, a więc taki sam jak i w całym 61-leciu. Nie powinno to jednak dziwić, zważywszy wysokie wartości na początku szeregu (efekt dźwigni) i wyraźną dwudzielność przebiegu z załamaniem w roku 1977 (ryc. 4).



#### 4. Podsumowanie i wnioski

W analizowanym okresie 1948-2008, w rejonie Svalbardu obserwuje się statystycznie istotny wzrost wartości rocznych prędkości wiatru. Dodatnie trendy zaznaczają się najsilniej w północno-zachodniej części analizowanego obszaru (82,5°N, 10°E). Przyrosty prędkości w szerokościach 80°N i 75°N są wyraźnie niższe. Taki rozkład trendów doprowadził do zmian rozkładu przestrzennego prędkości wiatru pomiędzy wieloleciem 1948-1977 i 1978-2008. W pierwszym okresie obserwowano wyraźny spadek prędkości wiatru w kierunku północnym (średnio o 2 m·s<sup>-1</sup>), a najdalej na północy, na szerokości 82,5°N, także niewielki wzrost prędkości z zachodu na wschód (0,2 m·s<sup>-1</sup>). Obserwowane tendencje zmian doprowadziły do zaniku różnic (wyrównania się prędkości) wzdłuż równoleżnika 82,5°N w drugim z okresów (1978-2008), a także zmniejszenia się różnicy prędkości pomiędzy południową i północną częścią badanego obszaru (do około 1,8 m·s<sup>-1</sup>). Szybszy wzrost prędkości na 82,5°N w stosunku do 80°N doprowadził także do tego, że średnie wieloletnie prędkości wiatru w gridach [80, 20] i [80, 30] są o 0,25 i 0,1 m·s<sup>-1</sup> niższe niż w gridach usytuowanych dalej na północy. Nieznaczny spadek prędkości między analizowanymi wieloleciami 1948-1977 i 1978-2008 odnotowano jedynie w gridzie [77,5; 20].

Wzrost współczynników kierunkowych trendów jak i ich istotności statystycznej w okresie 1978-2008, w stosunku do poprzedzającego trzydziestolecia 1971-2000, świadczy o wzroście intensywności cyrkulacji atmosfery w rejonie Svalbardu (a szczególnie jego północnej części) w ostatnich latach. Jest to o tyle ciekawe, że właśnie w tym rejonie obserwuje się równolegle intensywny wzrost temperatury wody (Kruszewski 2004) i regres pokrywy lodów morskich. Związki prędkości wiatru z wartościami ciśnienia atmosferycznego na poziomie morza w tych samych punktach gridowych są słabe. Dla przykładu w gridach [75, 10] i [82,5; 10] nie obserwuje się istotnych statystycznie trendów wartości rocznych ciśnienia w okresach 1948-1977 i 1978-2008. Natomiast w całym wieloleciu 1948-2008 obserwuje się słabe, ale istotne statystycznie ( $p < 0,01$ ), ujemne trendy ciśnienia w obu gridach na poziomie  $-0,04$  hPa·rok<sup>-1</sup>. Zmiany wartości rocznej ciśnienia atmosferycznego w okresie 1948-2008 objaśniają zaledwie 3% zmian rocznej prędkości wiatru w gridzie [75, 10]. W gridzie [82,5; 10] związek ten jest silniejszy ( $r = -0,39$ ) i statystycznie istotny na poziomie  $p = 0,002$ , a zmiany ciśnienia tłumaczą około 13% rocznej zmienności prędkości wiatru. Związek ten jest jednak niestabilny w czasie. W okresie 1948-1977 odpowiedni współczynnik korelacji wyniósł  $r = -0,61$  ( $p = 0,000$ ), a w latach 1978-2008, gdy wzrost prędkości wiatru był największy, związku brak ( $r = -0,04$ ,  $p = 0,84$ ). Ponieważ w obu gridach obserwujemy identyczny trend zmian wartości ciśnienia, a różne trendy zmian prędkości wiatru, sugeruje to, że za zmiany prędkości wiatru w rejonie Svalbardu odpowiadają w głównej mierze zmiany ciśnienia poza rozpatrywanym obszarem (poprzez zmiany wartości gradientu barycznego) lub też należy szukać dodatkowych przyczyn – na przykład wynikających ze zmian współczynnika tarcia, będących następstwem zmian temperatury wody i redukcji pokrywy lodowej. Stwierdzono między innymi, że zmiany rocznej temperatury powierzchni morza w rejonie 79-81°N, 09-11°E objaśniają prawie 26% wariacji rocznej prędkości wiatru w gridzie o współrzędnych 82,5°N, 10°E. Wzmiankowane związki wykraczają poza podstawowy zakres tematyczny artykułu i mogą stanowić temat dalszych badań.

#### Literatura:

Kalany E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell L., Saha S., White G., Woollen J., Zhu Y., Chelliah M., Ebisuzaki W., Hihhins W., Janowiak J., Mo K.C., Ropelewski C., Wang J., Leetmaa A.,

- Reynolds R., Jenne R., Joseph D., 1996. The NCEP/NCAR 40-year Reanalysis Project. *Bulletin American Meteorological Society*, 77 (3): 437-471.
- Kolstad E. W., 2008. A QuikSCAT climatology of ocean surface winds In the Nordic seas: Identification of features and comparison with the NCEP/NCAR reanalysis. *Journal Geophysical Research*, 113, D11106, doi:10.1029/2007JD008918.
- Kruszewski G., 2004. Zmienność temperatury powierzchni morza w rejonie Spitsbergenu (1982-2002) jako przejaw współcześnie zachodzących zmian klimatycznych. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 14: 79-86.
- Marosz M., 2005. Ekstremalne prędkości wiatru w Europie na podstawie reanalizy NCEP/NCAR (1971-2000). [w:] *Ekstremalne zjawiska hydrologiczne i meteorologiczne*. PTG – IMiGW, Warszawa: 336-343.
- Marsz A.A., 2007. Czy w latach 1976-1978 nastąpiła zmiana reżimu cyrkulacyjnego i klimatycznego półkuli północnej? *Przegląd Geofizyczny*, 52 (1): 7-25.
- Miętus M., Filipiak J., 2005. Strumienie energii i masy pomiędzy morzem i atmosferą w rejonie Arktyki Norweskiej. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 15: 65-81.
- Niedźwiedz T. 2006. Główne cechy cyrkulacji atmosfery nad Spitsbergenem. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 16: 91-105.

Wpłynęło: 16 lipca 2009, poprawiono: 28 września 2009.

## Summary

The aim of this work was to analyse the surface wind speed changeability in twelve grids points situated in the vicinity of Svalbard (Fig. 1) Gridded surface data from *NCEP Reanalysis Derived data provided by the NOAA/OAR/ESRL PSD, Boulder, Colorado, USA from their Web site at <http://www.cdc.noaa.gov/>* were used for statistical analysis over the period 1948–2008. The highest annual wind speed values ( $8.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) were noted in the south of area ( $75^\circ\text{N}$ ), the lowest in situated over land grid [80, 20] and in the northern part of area at  $82.5^\circ\text{N}$  ( $5.9\text{-}6.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ). During the year maximum wind speed were noted in winter months, minimum in June or July in all grid points. The differences between winter and summer values are over two times higher at  $75^\circ\text{N}$  than in north ( $82.5^\circ\text{N}$ ) – see Tab. 1., Fig. 2. Maximum difference ( $3.9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) was noted in [75, 10], minimum ( $1.6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) in [82.5, 30] grid point. Differences in wind speed between selected grid points are bigger during winter and smaller in summer.

Statistically significant positive trends in annual wind speed values were found in years 1948-2008 in whole area, except at  $77.5^\circ\text{N}$  and [80, 20] grid point.. The trend value is the greatest in [82.5, 10] grid ( $+0.017 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  per year) – see Tab. 3. At latitudes  $75$  and  $80^\circ\text{N}$  values of linear trend coefficients are lower (from  $+0.006$  to  $+0.01 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  per year). In shorter 30-year periods continuous significant increase in wind speed is observed at  $82.5^\circ\text{N}$  from 60. to the present. The highest positive trend value was noted in [82.5, 10] grid over the 1978-2008 period ( $+0.032 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  per year). During the last 30 years significant positive trends in wind speed are present at latitude  $80^\circ\text{N}$  and in grid points [77.5, 20]; [77.5, 30].

**Keywords:** surface wind speed, Svalbard, trends analysis.