

## CHARAKTERYSTYKA WIATRU PRZYPOWIERZCHNIOWEGO SPRZYJAJĄCEGO NAJWYŻSZYM SUMOM OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH NA POLSKIM WYBRZEŻU BAŁTYKU

MAŁGORZATA ŚWIĄTEK

Zakład Hydrografii i Gospodarki Wodnej, Wydział Nauk o Ziemi,  
Uniwersytet Szczeciński,  
ul. Mickiewicza 16, Szczecin

**Abstract:** The aim of the paper is to analyze directions and speed of the surface wind in one hundred days with the highest daily precipitation totals in years 1954–2003 in selected weather stations located on the Polish seacoast. The study describe wind directions according to the shore-line of the Baltic Sea. The analysis demonstrated that an onshore wind is more conducive for intensive precipitation than offshore one. The wind along the shore-line occurred more frequent from the west (in Gdynia from the north) than from the east. Generally, the domination of the northern and the western wind (with higher than average velocity of the wind) in these days are evident.

**Keywords:** velocity and direction of surface wind, extreme precipitation totals, The Southern Seacoast of the Baltic Sea, exposure of shoreline

### WSTĘP

Główny cel niniejszej pracy to wyznaczenie kierunków oraz prędkości wiatru dolnego najbardziej sprzyjających najwyższym dobowym sumom opadów w wieloleciu 1954–2003 na wybranych stacjach polskiego wybrzeża Bałtyku. Specyfika obszaru badań wiąże się z jego podatnością na oddziaływanie Bałtyku, który bezpośrednio z nim sąsiaduje. Kontakt powierzchni lądowej i wodnej, o zróżnicowanej termice oraz wilgotności związanej z odmienną pojemnością cieplną, przyczynia się do modyfikacji termicznej i barycznej nasuwających się nad wybrzeże mas powietrza. Wpływa to modyfikująco nie tylko na cechy fizyczne, ale również na kierunki i prędkości przemieszczanie się powietrza. Także zróżnicowanie szorstkości powierzchni terenu oddziałuje na prędkość i kierunek przepływu powietrza najniższej warstwy atmosfery, bezpośrednio sąsiadującej z podłożem. Określenie kierunków wiatru względem linii brzegowej w dniach z najwyższymi dobowymi sumami opadów w badanym wieloleciu umożliwi scharakteryzowanie specyfiki obszaru pogranicza morza i lądu oraz wpływu morza na formowanie się opadów na lądzie. Istotne jest również określenie stopnia zróżnicowania przestrzennego związku wiatru przypowierzchniowego z opadami w strefie wybrzeża.

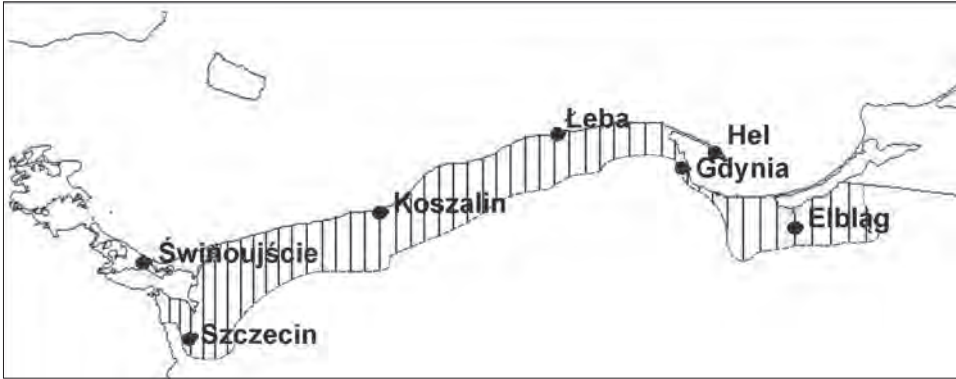
Omawiane w pracy zagadnienie w polskiej literaturze nie było pory często poruszane. O wpływie Morza Bałtyckiego na opady strefy brzegowej pisała między innymi Wielbińska (1962), wykazując wpływ dostatecznie dużej różnicy temperatur powietrze-woda oraz silnego wiatru na zwiększenie natężenia, a także przedłużenie czasu trwania opadów. Perry i Walker (1982) wskazywali na wpływ wiatru na wielkość odległości, na jaką przenoszona jest para wodna z nad akwenów morskich zanim ciepło wyczuwalne nie zostanie uwolnione w procesach kondensacji. Ewert (1984) wykazywał natomiast wpływ nasilenia zjawiska konwergencji brzegowej na polskim wybrzeżu (dotyczy to szczególnie wybrzeża środkowego) przy wietrze o kierunku WSW oraz dywergencji przy wietrze o kierunku ENE nad lądem w rejonie wybrzeża na warunki pluwialne tego regionu. Konwergencja mas powietrza przyczynia się do wzrostu sum opadów, dywergencja zaś ogranicza je. O podobnym zjawisku nasilającym opady w odległości 20–40 km od linii brzegu w głąb lądu w południowo-zachodniej Francji pisali Planchon i Cautent (1997). Na temat jednoczesnego wzrostu sum opadów atmosferycznych oraz prędkości wiatru w Europie Północnej (obejmującej m.in. Basen Morza Bałtyckiego), wywołanego zwiększaniem się aktywności cyklonalnej, pisał Raible i in. (2007). W polskiej literaturze dotychczas znacznie szerzej opisywano wpływ cyrkulacji atmosfery niż wiatru przypowierzchniowego na kształtowanie opadów na stacjach wybrzeża (Kirschenstain, Dederko 2003; Kirschenstain 2004, 2009; Malinowska 2006; Świątek 2004, 2009).

Nie tylko problem współwystępowania wiatru o określonych kierunkach i prędkościach oraz opadów był jedynie sporadycznie poruszany, ale również analiza wiatru na wybrzeżu stosunkowo rzadko stanowiła przedmiot badań naukowych. Prace charakteryzujące warunki areometryczne polskiego pobrzeża dotyczyły: Łeby (Bogucki 1994; Tamulewicz 2001), Szczecina, Świnoujścia, Trzebieży i Dziwnowa (Flak 1988; Prawdzic, Flak 1982) oraz Lubatowa (Miszke 1979). W pracy Nidzgorskiej-Lencewicz i Czarneckiej (2011) analizowano co prawda prędkości i kierunki wiatru w Szczecinie, ale jedynie pod względem topoklimatu miasta.

## DANE ŹRÓDŁOWE I METODY OPRACOWANIA

W pracy wykorzystano dobowe sumy opadów atmosferycznych oraz wyniki pomiarów terminowych kierunków i prędkości wiatru przypowierzchniowego z lat 1954–2003 na stacjach: Szczecin Dąbie, Świnoujście, Koszalin, Łeba, Hel, Gdynia i Elbląg, pochodzące z publikowanych i niepublikowanych materiałów IMGW. Położenie wymienionych stacji przedstawiono na rycinie 1.

Mniej więcej równomierne rozmieszczenie stacji wzdłuż polskiego wybrzeża Bałtyku oraz ich położenie w różnych warunkach fizjograficznych (odległość



Ryc. 1. Położenie analizowanych w pracy stacji

Szrafem zaznaczono obszar Pobrzeża Południobałtyckiego (Kondracki 1998)

Fig. 1. Location of the weather stations analyzed in the paper on the Polish coast

The southern Baltic Littoral area is marked (according to Kondracki 1998)

od morza, wysokość bezwzględna powierzchni terenu oraz jego ukształtowanie, położenie nad otwartym morzem lub zatoką), modelujących wielkość i rozkład opadów, umożliwia w miarę dokładne reprezentowanie pod względem pluwnym i anemometrycznym całego polskiego wybrzeża (pobrzeża) Bałtyku. Mimo iż część wymienionych stacji znajduje się w stosunkowo dużej odległości od morza, to na klimat ich wszystkich oddziałuje Morze Bałtyckie, co wyraża chociażby ich zakwalifikowanie do Pobrzeży Południobałtyckich (Kondracki 1998).

Analizy wykonano dla 100 dni z najwyższymi dobowymi sumami opadów w badanym wieloleciu, na poszczególnych stacjach. Na każdej ze stacji doby z lat 1954–2003 uszeregowano według kryterium średniej dobowej sumy opadu, począwszy od wartości największej. Do dalszej analizy wybrano pierwszych 100 dób na każdej stacji. Na określonych stacjach najwyższe opady występowały zazwyczaj w różnych terminach i cechowały je odmienne sumy. Wartości progowe przeanalizowanych sum opadów były odmienne na poszczególnych stacjach, na przykład w Koszalinie analizowano dni o sumach przekraczających 26,8 mm, a w Świnoujściu jedynie 19,2 mm. Najwyższe dobowe sumy opadów charakteryzowały środkowe wybrzeże – Łebę (od 25,3 do 141 mm) oraz Koszalin (od 26,8 do 101,3 mm), a najniższe Świnoujście (od 19,2 do 58,7 mm).

W pracy wykorzystano średnie dobowe wartości sum opadów oraz terminowe wartości prędkości i kierunki wiatru przy powierzchniowej z następujących terminów: 6.00, 12.00 i 18.00 GMT doby, w której wystąpił opad oraz z 0.00 GMT doby następniej. Dobierając terminy pomiarów wiatru uwzględniono związek ze środkiem doby pomiarowej opadów o godzinie 18.00 GMT.

Dane dotyczące wiatru przypowierzchniowego zawierały następujące nieścisłości:

- dane z Koszalina dostępne były od 1966 r.,
- w Łebie do lipca 1961 r. pomiary wiatru wykonywane były jedynie dwukrotnie w ciągu doby (o godz. 6.00 i 12.00 GMT),
- dane z Gdyni przedstawione zostały nie w formie stopni, lecz symboli róży wiatrów, pomiary na tej stacji wykonywane były trzy razy w ciągu doby (o godz. 6.00, 12.00 i 18.00 GMT; brak pomiarów nocnych).

Wyznaczono liczby przypadków wiatru o określonych kierunkach. Następnie przeliczono je na udziały procentowe w całkowitej liczbie obserwacji (np. 100 dni x 4 terminy). Najwięcej przypadków przeanalizowano dla Helu ze względu na 103 dni z najwyższym opadem w wieloleciu (4 dni miały takie same sumy opadów równe wartości granicznej).

Kierunki wiatru przypowierzchniowego podczas 100 dni z najwyższym opadem w wieloleciu w Świnoujściu, Koszalinie, Łebie i w Elblągu pogrupowano według następującego schematu:

- wiatr wiejący od morza (w tab. 1 i 2 kierunek *morze*),
- wiatr wiejący wzdłuż brzegu z kierunków zawierających składową wschodnią (w tab. 1 i 2 kierunek *brzeg, E*),
- wiatr wiejący wzdłuż brzegu z kierunków zawierających składową zachodnią (w tab. 2 i 2 kierunek *brzeg, W*),
- wiatr wiejący od lądu (w tab. 1 i 2 kierunek *ląd*).

Tabela 1. – Table 1.  
Zakresy sektorów na poszczególnych stacjach  
The range of sectors on particularly stations

stacja/station	morze/sea (°)	brzeg/shore, E (°)	brzeg/shore, W (°)	ląd/land (°)
Świnoujście	340 - 50	50 - 80	290 - 340	80 - 290
Koszalin	280 - 10	10 - 50	250 - 280	50 - 250
Łeba	270 - 50	50 - 90	240 - 270	90 - 240
Elbląg	320 - 20	20 - 50	290 - 320	50 - 290

Wielkości zakresów sektorów (w stopniach) uzależnione są od kształtu linii brzegowej na danym odcinku wybrzeża, a także od charakteru strefy przejściowej między lądem a morzem (np. w Świnoujściu zakres sektora *brzeg, W* jest szerszy niż na innych stacjach). W przypadku Elbląga do wiatru wiejącego wzdłuż brzegu ze wschodu zakwalifikowano wiatr znad środkowej i wschodniej części Zalewu Wiślanego. W związku z małą dokładnością oznaczenia kierunku wiatru, wynoszącą 10° stopni, przypadki, w których kierunek wiatru przyjmował wartości graniczne, podzielono na połowy, przypisując je do sąsiadujących sektorów (np. gdy granica między kierunkiem *morze* a kierunkiem *brzeg, E* przebiegała na azymucie 60°, połowę przypadków z tym kierunkiem wiatru

przypisano do kierunku *morze*, a pozostałe do kierunku *brzeg, E*). W tabeli 1 nie uwzględniono Szczecina ze względu na znaczną odległość od morza.

Dane dla Helu pogrupowano w następujące sektory:

- wiatr wiejący od morza: 330–60°,
- wiatr wiejący znad Zatoki Gdańskiej: 60–190°,
- wiatr wiejący znad Zatoki Puckiej, który w związku z niewielką powierzchnią i głębokością Zatoki Puckiej można uznać za wiatr odlądowy: 190–290°,
- wiatr wiejący wzdłuż Mierzei Helskiej, który można uznać za wiatr wiejący wzdłuż brzegu z zachodu: 290–330°.

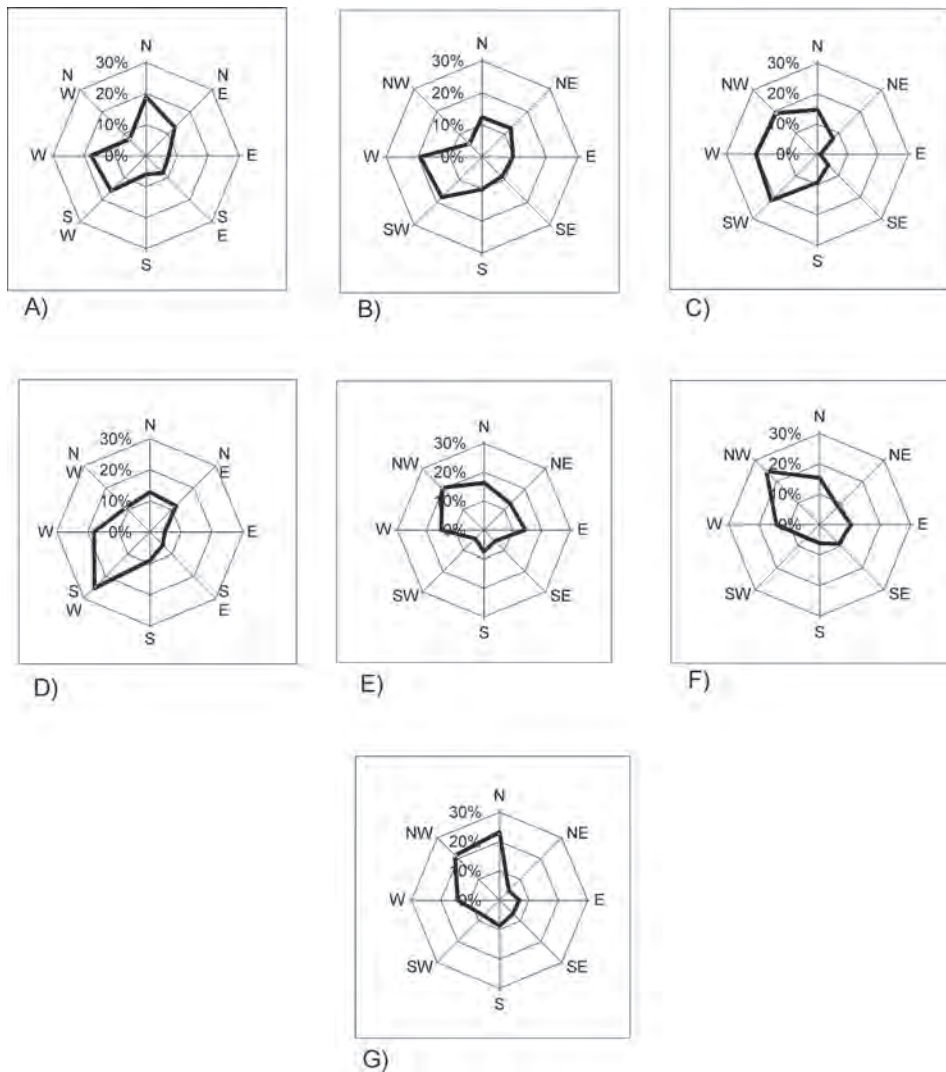
Poniżej przedstawiono pogrupowane w sektory dane dla Gdyni:

- wiatr wiejący od strony Mierzei Helskiej, którą stanowi na tyle wąski pas lądu, że kierunek ten można uznać za *od morza* – kierunki: NNE, NE oraz połowa przypadków z N,
- wiatr wiejący znad Zatoki Gdańskiej – kierunki: ENE, E, ESE i SE,
- wiatr wiejący wzdłuż brzegu z północno-północnego zachodu – kierunki: NNW, połowa przypadków N oraz połowa przypadków NW,
- wiatr wiejący od lądu – kierunki: SSE, S, SSW, SW, WSW, W, WNW oraz połowa przypadków NW.

Liczby przypadków kierunków N i NW podzielono na połowy w związku z przechodzeniem granic między sektorami wzdłuż azymutów odpowiednio 0° i 320°.

## KIERUNKI WIATRU DOLNEGO PODCZAS NAJWYŻSZYCH OPADÓW

W Szczecinie najczęstszym kierunkiem wiatru w dniach z najwyższymi dobowymi sumami opadów jest kierunek północny, na który przypada 19% pomiarów (ryc. 2), w Świnoujściu kierunek zachodni (19,3% pomiarów), w Koszalinie i w Łebie południowo-zachodni (odpowiednio 21,5% i 25,3%), w Helu i w Gdyni północno-zachodni (odpowiednio 20,6% i 24,8%), a w Elblągu północny (23,3%). Dominują więc kierunki z sektora zachodniego i północnego. Pokrywa się to w dużej mierze z kierunkami adwekcji powietrza sprzyjającymi opadom. Najwyższe łączne sumy opadów przypadają na cyklonalną cyrkulację północno-zachodnią CB według klasyfikacji Osuchowskiej-Klein (Kirschenstein 2004; Świątek 2009), co między innymi wiąże się z dużą frekwencją tego typu cyrkulacji. W wielu przypadkach zauważyć można jednocześnie odchylenie najczęstszego kierunku wiatru przy powierzchni w lewo w stosunku do najczęstszego kierunku adwekcji mas powietrza. Wynika to z oddziaływania siły tarcia, która zmienia kierunek przepływu powietrza – w Polsce średnie odchylenie kierunku wiatru przyziemnego wynosi 23° w lewo w stosunku do



Ryc. 2. Częstości wiatru o określonych kierunkach w dniach z najwyższymi dobowymi sumami opadów na następujących stacjach: Szczecin (A), Świnoujście (B), Koszalin (C), Łeba (D), Hel (E), Gdynia (F), Elbląg (G)

Fig. 2. Wind directions frequency in days with the highest daily precipitation totals in follow stations: Szczecin (A), Świnoujście (B), Koszalin (C), Łeba (D), Hel (E), Gdynia (F), Elbląg (G)

wiatru geostroficznego (Kozuchowski 2004). W Świnoujściu i w Koszalinie najwyższe sumy opadów występują przy napływie powietrza (powyżej siły tarcia) z północnego zachodu (typ cyrkulacji CB) oraz w mniejszym stopniu z zachodu (Kirschenstain 2004; Świątek 2009), natomiast najczęstszymi kierunkami wiatru przypowierzchniowego są zachodni i południowo-zachodni. Ponadto,



opadom sprzyja adwekcja ze wschodu i północnego wschodu (typ  $E_0$ ). Dotyczy to zwłaszcza wschodniej części wybrzeża (Świątek 2009). Tymczasem wschodnie kierunki wiatru dolnego należą do najrzadziej odnotowywanych w dniach z najwyższym opadem (ryc. 2). Stosunkowo często występuje wiatr o kierunku północnym, będący wypadkową adwekcji z północnego wschodu oraz siły tarcia.

Na większości stacji najwyższe dobowe sumy opadów najrzadziej występowały podczas pogody bezwietrznej. Wyjątek stanowiły stacje położone w większej odległości od morza (Szczecin i Elbląg), co wiąże się z większą frekwencją cisz niż w bezpośrednim sąsiedztwie morza. Najrzadziej występującym kierunkiem wiatru w 100 dniach z najwyższym opadem w wieloleciu był w: Szczecinie kierunek południowy (6% pomiarów), Świnoujściu kierunek północno-zachodni (5,7%), Koszalinie i Łebie wschodni (zaledwie 1% oraz 4,8%), Helu południowo-wschodni (5,6%), Gdyni południowy i południowo-wschodni (po 6,2%), Elblągu północno-wschodni (4,5%) (ryc. 2). Częstość występowania wiatru o określonych kierunkach w dniach z opadami jest odmienna na poszczególnych stacjach ze względu na wpływ na kierunki wiatru warunków lokalnych (ekspozycja linii brzegowej czy ukształtowanie i pokrycie powierzchni terenu).

Po przeanalizowaniu frekwencji przypadków z określonym kierunkiem wiatru względem linii brzegowej (kierunki od morza, od lądu oraz wzdłuż brzegu) zauważono, że na większości stacji wiatr najczęściej wiał od strony lądu (tab. 2). Wiązało się to z dużą rozciągłością kątową tego sektora. W celu uniezależnienia liczby przypadków przypadających na określony sektor od jego rozciągłości kątowej obliczono częstość przypadków przypadających na  $1^\circ$  kąta danego sektora. Zastosowanie tego zabiegu wykazało największe sprzyjanie najwyższym dobowym sumom opadów wiatru wiejącego wzdłuż brzegu z zachodu (w Gdyni niemalże z północy) oraz od strony morza. W Świnoujściu porównywalne wartości otrzymano zarówno dla wiatru od morza, jak i od lądu, co wiąże się z bardzo małą frekwencją wiatru północno-zachodniego w dniach z najwyższą dobową sumą opadów na tej stacji. W Gdyni obserwujemy rzadsze występowanie wiatru od strony morza niż na pozostałych stacjach. Może to wynikać z mniejszej frekwencji wiatru północno-wschodniego we wschodniej części wybrzeża niż w zachodniej, a także z wpływu Mierzei Helskiej na zmianę kierunku i inne zaburzenia przepływu powietrza (tab. 2).

Sprzyjanie najwyższym dobowym sumom opadów wiatru wiejącego wzdłuż brzegu, od strony zachodniej wiąże się z występującej w takich sytuacjach, sprzyjającej opadom konwergencji brzegowej (Ewert 1984). Wynika ona z odmiennych kierunków przemieszczania się powietrza nad powierzchniami wodnymi i lądowymi charakteryzującymi się różnymi wartościami siły tarcia. Wiatr od strony morza natomiast powoduje napływ latem (a właśnie wtedy występuje większa liczba dni z wysoką sumą opadów) znad morza chłodnego i wilgotnego powietrza nad cieplejszą powierzchnią lądową. Zwiększa się w ten sposób chwiejność

stratyfikacji atmosfery sprzyjająca tworzeniu się wypiętrzonych chmur konwekcyjnych, dających opady o wysokich sumach. Konwekcja termiczna przyczynia się między innymi do zwiększenia zachmurzenia frontalnego.

Z reguły pomiary wiatru na stacjach wykonywane były czterokrotnie w ciągu doby (z wyjątkiem Gdyni i Łeby do VII 1961 r.). Łączna liczba obserwacji (tab. 2) najczęściej równa jest czterokrotności przeanalizowanych liczb dni z najwyższymi dobowymi sumami opadów.

Graficzne zestawienie porównawcze liczb obserwacji przypadających na jeden stopień sektora na poszczególnych stacjach przedstawiono na rycinie 3.

Celem określenia specyfiki uwarunkowań wyjątkowo wysokich dobowych sum opadów porównano kierunki i prędkości wiatru przyziemnego w dniach z najwyższą dobową sumą opadów z przeciętnymi kierunkami i prędkościami wiatru przyziemnego w półroczu ciepłym. Charakterystykę porównawczą wykonano na podstawie rycin Koźmińskiego, Michalskiej i Nidzgorskiej-Lencewicz zawartych w *Atlasie zasobów i zagrożeń klimatycznych Pomorza* (2004).

Zdecydowana większość dni należących do 100 z najwyższym opadem w wieloleciu wystąpiła w półroczu letnim (ok. 90%), dlatego ważniejsze z punktu widzenia niniejszych analiz są frekwencje kierunków wiatru w półroczu ciepłym.

Na wybrzeżu zachodnim i środkowym (stacje Świnoujście, Kołobrzeg i Ustka) dominującymi kierunkami wiatru przypowierzchniowego w półroczu ciepłym są: zachodni, północno-wschodni oraz południowo-zachodni, czyli wiejące mniej więcej wzdłuż brzegu (Koźmiński, Michalska 2004). Wiatr wiejący od strony morza jest zjawiskiem zdecydowanie rzadszym. Tymczasem wśród dni z najwyższą dobową sumą opadów w wieloleciu 1954–2003 w Świnoujściu i w Łebie dominuje wiatr od morza. Świadczy to o sprzyjaniu intensywnym opadom wiatru o tym kierunku. W Koszalinie wysokie sumy opadów zwykle przynosi wiatr wiejący wzdłuż brzegu z zachodu, czyli z kierunku najczęściej występującego na środkowym wybrzeżu.

Kierunki wiatru w 100 dniach z najwyższym opadem w wieloleciu w Helu i w Gdyni odniesiono do kierunków w półroczu ciepłym w Gdańsku. Na stacji tej dominującym kierunkiem wiatru jest zachodni, co częściowo wyjaśnia dużą frekwencję wysokich opadów w Helu przy wietrze od lądu, a dokładnie od Zatok Puckiej. Kierunek *ląd* w przypadku Helu obejmuje bowiem między innymi wiatr zachodni. W Gdyni najbardziej sprzyjającym wysokim sumom opadów kierunkiem wiatru jest wiatr wiejący wzdłuż brzegu z północno-północnego zachodu i jest to kierunek o przeciętnej częstości występowania w tym rejonie.

Należy podkreślić, iż mimo zbliżonej częstości występowania w półroczu ciepłym wiatru wiejącego wzdłuż wybrzeża zarówno ze wschodu, jak i z zachodu zdecydowanie częściej opady występują przy wietrze wiejącym wzdłuż brzegu z zachodu. Zatem częstość występowania opadów bardziej wiąże się z kierunkiem wiatru niż z cechami podłoża, nad którym się przemieszczają.

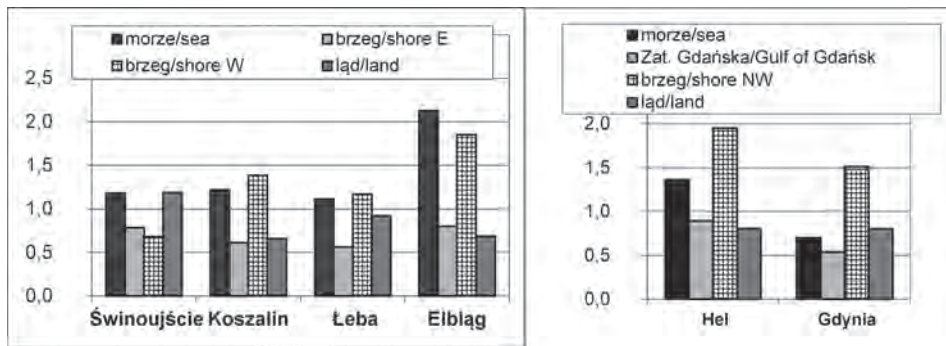


Tabela 2 – Table. 2  
 Częstości wiatrów wiejących z określonych sektorów w dniach z najwyższą dobową sumą opadów na poszczególnych stacjach  
 The frequency of the wind from particularly sectors in days with the highest precipitation totals in selected weather stations

sektor		l. obserwacji/obs. number*	%	1	2
Świnoujście	morze	82,5	20%	70	1,18
	brzeg E	23,5	6%	30	0,78
	brzeg W	34	8%	50	0,68
	brzeg łącznie	57,5	14%	80	0,72
	łąd	249	62%	210	1,19
	cisza	15	4%	-	-
Koszalin	morze	109,5	35%	90	1,22
	brzeg E	24,5	8%	40	0,61
	brzeg W	41,5	13%	30	1,38
	brzeg łącznie	66	21%	70	0,94
	łąd	131,5	42%	200	0,66
	cisza	5	2%	-	-
Łeba	morze	155,5	44%	140	1,11
	brzeg E	22,5	6%	40	0,56
	brzeg W	35	10%	30	1,17
	brzeg łącznie	57,5	16%	70	0,82
	łąd	138	39%	150	0,92
	cisza	5	1%	-	-
Elbląg	morze	127,5	32%	60	2,13
	brzeg E	24	6%	30	0,80
	brzeg W	55,5	14%	30	1,85
	brzeg łącznie	79,5	20%	60	1,33
	łąd	165	41%	240	0,69
	cisza	28	7%	-	-
Hel	morze	122,5	30%	90	1,36
	Zat. Gdańska	116	28%	130	0,89
	brzeg	78	19%	40	1,95
	łąd	80,5	20%	100	0,81
	cisza	15	4%	-	-
Gdynia	morze/sea	42	14%	60	0,70
	Zat. Gdańska/ Gulf of Gdańsk	43	14%	80	0,54
	brzeg/shore NNW	60,5	20%	40	1,51
	łąd/land	144,5	47%	180	0,80
	cisza/calm	16	6%	-	-

Zasięg sektorów określono w tabeli 1: \* – wartości niepełne związane z wartościami granicznymi (dzielonymi na 2), 1 – szerokość sektora w stopniach, 2 – liczby obserwacji przypadających na stopień sektora; wyróżniono najwyższe wartości liczb obserwacji przypadających na stopień sektora

The sector's range is defined in table 1: \* – partial values caused by boundary value (divide into 2), 1 – range of sector in degrees, 2 – number of observations per sector's degree; the highest values of number of observations per sector's degree are marked



Ryc. 3. Liczby obserwacji wiatru z określonych sektorów przypadających na jeden stopień sektora

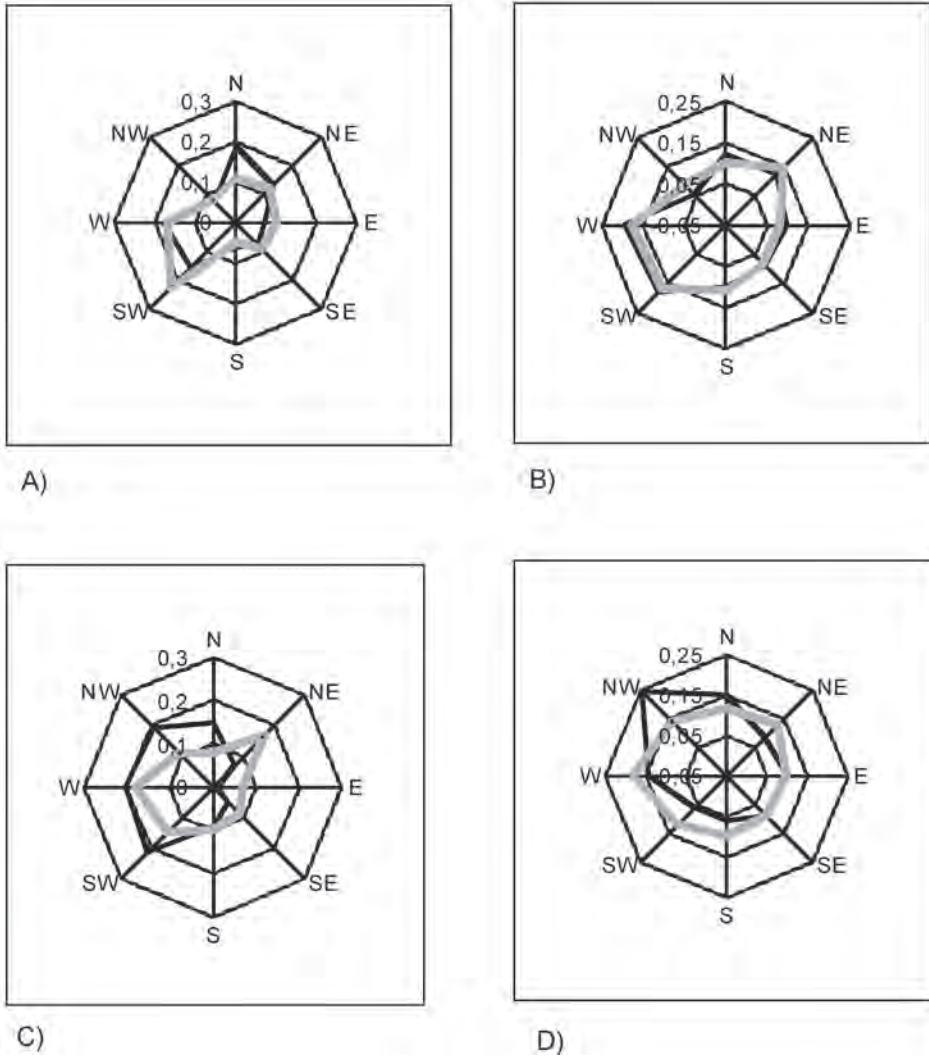
Fig. 3. The number of wind's incidents per one degree of sector

Największe różnice między częstościami występowania wiatru przyziemnego o określonych kierunkach w dniach z najwyższą sumą opadów a średnią ich częstością w półroczu ciepłym odnotowano w Szczecinie dla kierunku północnego, w Koszalinie i w Gdyni dla kierunku północno-zachodniego (ryc. 4.) – wiatr od morza, a w przypadku Gdyni wzdłuż brzegu (północny i północno-zachodni), najbardziej sprzyja występowaniu wysokich dobowych sum opadów. Najmniej sprzyjającym kierunkiem w Szczecinie i w Gdyni jest południowo-zachodni, a w Koszalinie północno-wschodni. W Świnoujściu częstości poszczególnych kierunków wiatru w dniach z wysokimi sumami opadów praktycznie nie odbiegają od średnich częstości w półroczu ciepłym, trudno więc, porównując, wykazać jakieś szczególnie istotne z punktu widzenia występowania opadów kierunki wiatru.

Sporządzając rycinę 4, do odpowiednich porównań wykorzystano dane publikowane w formie rycin w *Atlasie zasobów i zagrożeń klimatycznych Pomorza* (Koźmiński, Michalska 2004). W związku z ograniczonymi zasobami dostępnych materiałów kierunki wiatru w Koszalinie odniesiono do pomiarów z Kołobrzegu, a w Gdyni do Gdańska.

## PRĘDKOŚCI WIATRU DOLNEGO PODCZAS NAJWYŻSZYCH OPADÓW

Do porównania średnich prędkości wiatru w dniach z najwyższą dobową sumą opadów ze średnimi prędkościami wiatru w cieplej połowie roku wykorzystano dane ze stacji Szczecin, Łeba i Gdańsk, do których odniesiono średnie prędkości wiatru w półroczu ciepłym w Gdyni (Koźmiński, Michalska 2004). Stwierdzono występowanie wyjątkowo wysokich dobowych sum opadów w dniach z większymi niż przeciętne prędkościami wiatru dolnego (ryc. 5).



Ryc. 4. Średnie częstości wiatru o określonych kierunkach w dniach z najwyższymi dobowymi sumami opadów oraz w półroczu ciepłym na następujących stacjach:

Szczecin (A), Świnoujście (B), Koszalin (C), Gdynia (D)

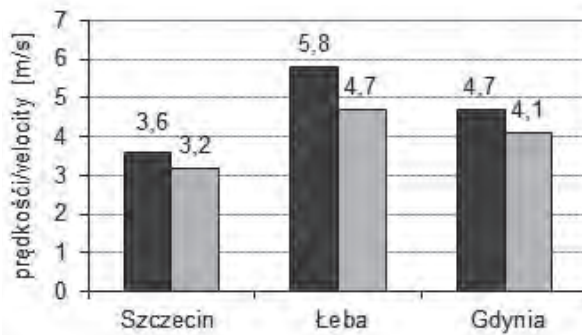
– dni z najwyższymi sumami opadów

– półrocze ciepłe

Fig. 4. The mean wind direction frequency in days with the highest daily precipitation totals and in the warm half-year in follow stations: Szczecin (A), Świnoujście (B), Koszalin (C), Gdynia (D)

– days with highest precipitation totals

– warm half-year



Ryc. 5. Średnie prędkości wiatru w dniach z najwyższą dobową sumą opadów oraz w półroczu ciepłym na poszczególnych stacjach

– dni z najwyższymi sumami opadu

– półrocze ciepłe

Fig. 5. The mean wind velocity in days with highest precipitation totals

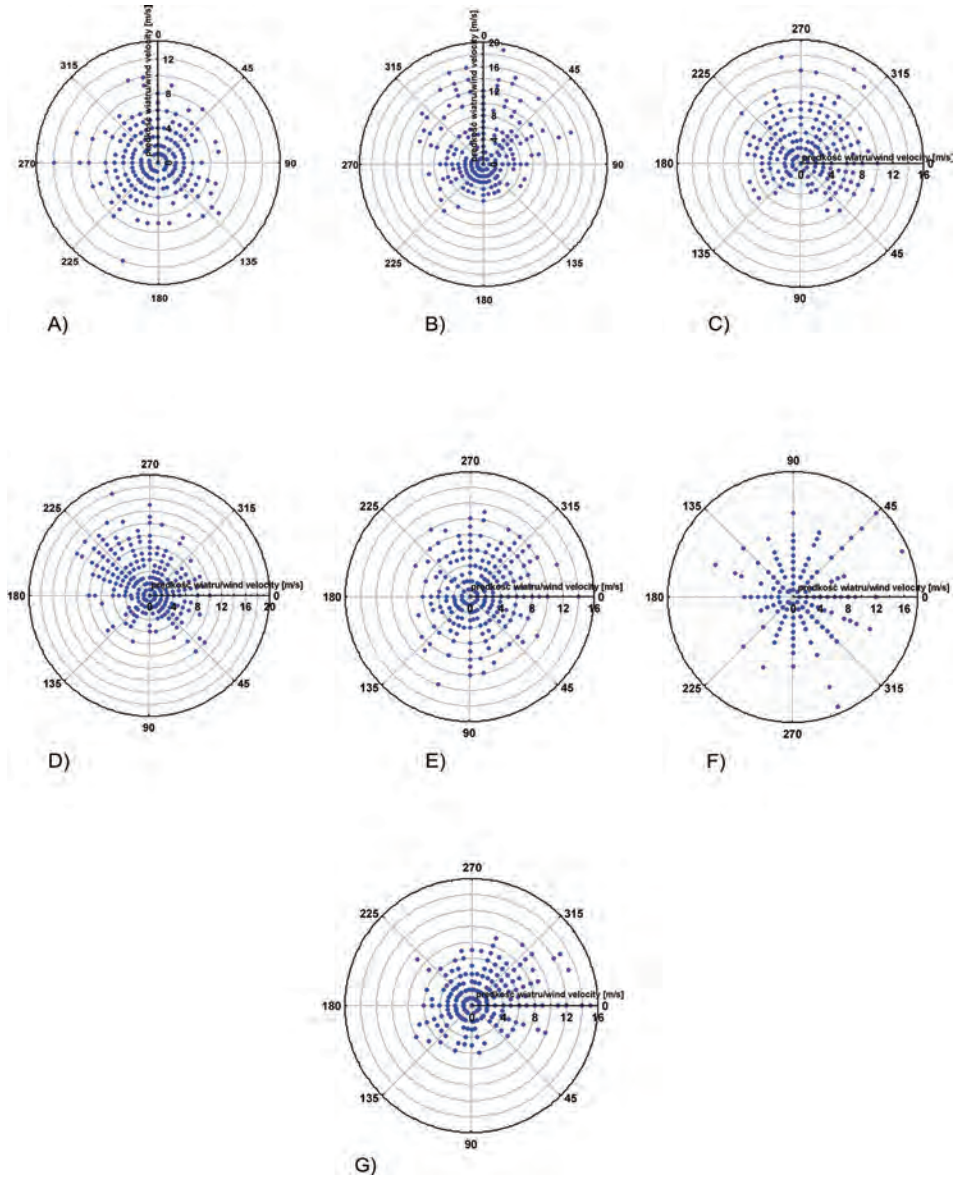
and in warm half-year in particularly stations

– days with highest precipitation totals

– warm half-year

Sprzyjanie najwyższym dobowym sumom opadów o stosunkowo dużych prędkościach wiatru wiąże się z ich występowaniem podczas przemieszczania się w rejonie polskiego wybrzeża Bałtyku niżów barycznych wraz z towarzyszącymi im frontami atmosferycznymi. Niżej warunkują pojawianie się wiatru o dużej prędkości, rzutujących na dodatnią anomalię średnich prędkości wiatru podczas 100 dni z najwyższymi dobowymi sumami opadów w wieloletniu. Duże prędkości wiatru z reguły towarzyszą również bardzo wysokim sumom opadów wewnątrzmasowych.

Prędkości wiatru z nad morza najczęściej są większe niż wiatru z nad lądu (ryc. 6), co wiąże się z mniejszą siłą tarcia oddziałującą na ruch powietrza nad powierzchnią wodną niż nad powierzchnią lądową. Średnie prędkości wiatru o określonych kierunkach na części stacji między sobą różnią się niewiele. Znacznie wyższe od wartości średnich prędkości wiatru występują w przypadku wiatru północnego w Świnoujściu (średnia prędkość wiatru północnego obserwowanego w 100 dniach z najwyższą dobową sumą opadu to 8,78 m/s, podczas gdy średnia prędkość wiatru we wszystkich analizowanych dniach wyniosła 4,79 m/s) i w mniejszym stopniu w Elblągu (odpowiednio 5,34 m/s w stosunku do 3,77 m/s) oraz wiatru południowo-zachodniego, czyli wiejącego od strony Jeziora Łebsko, w Łebie (8,20 m/s w stosunku do 5,20 m/s). Właśnie wiatr południowo-zachodni jest kierunkiem wyraźnie dominującym pod względem częstotliwości w rejonie Łeby, nie tylko podczas silnego opadu (Bogucki 1994). Największe zróżnicowanie prędkości wiatru w zależności od kierunku



Ryc. 6. Kierunki [°] i prędkości [m/s] wiatru przy powierzchni w dniach z najwyższą dobową sumą opadów na następujących stacjach: Szczecin (A), Świnoujście (B), Koszalin (C), Łeba (D), Hel (E), Gdynia (F), Elbląg (G)

Fig. 6. Directions [°] and velocity [m/s] of the surface wind in days with highest precipitation totals in the follow stations: Szczecin (A), Świnoujście (B), Koszalin (C), Łeba (D), Hel (E), Gdynia (F), Elbląg (G)

występuje w Świnoujściu. Inną prawidłowość to mniejsze prędkości wiatru na stacjach położonych dalej od morza – w Szczecinie oraz w Elblągu.

Prędkości i kierunki wiatru przypowierzchniowego jednocześnie we wszystkich analizowanych przypadkach przedstawiono na rycinie 6. W Gdyni (ryc. 6f), ze względu na mało dokładne określenie kierunków wiatru za pomocą oznaczeń literowych róży wiatrów, punkty opisujące poszczególne obserwacje nakładają się, co sprawia wrażenie małej ich liczby.

## PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Z analizy wiatru dolnego w dniach z najwyższą dobową sumą opadów w wieloleciu na poszczególnych stacjach wynika dominacja wiatru o kierunkach zawierających składową zachodnią i północną. Najrzadziej najwyższe dobowe sumy opadów w wieloleciu występowały, z wyjątkiem Szczecina i Elbląga, podczas ciszy. Kierunki wiatru najmniej sprzyjające bardzo wysokim opadom są odmienne na poszczególnych stacjach. W Szczecinie jest to kierunek południowy, w Świnoujściu północno-zachodni, w Koszalinie i w Łebie wschodni, w Helu południowo-wschodni, w Gdyni południowy i południowo-wschodni, a w Elblągu północno-wschodni.

Pogrupowanie kierunków wiatru dolnego na podstawie ich stosunku do linii brzegowej wykazało silniejsze sprzyjanie opadom wiatru wiejącego wzdłuż brzegu, z zachodu (w przypadku Gdyni jest to kierunek północny) oraz od strony morza niż z pozostałych kierunków. Z analizy prędkości wiatru natomiast wynika, że najwyższym sumom opadów sprzyjają większe niż przeciętne prędkości wiatru.

Odnosząc się do zagadnienia jednolitości przestrzennej oddziaływania parametrów wiatru dolnego na opady, stwierdzić należy, iż mimo stosunkowo niedużego obszaru badań istnieją pewne różnice w relacjach zachodzących na poszczególnych stacjach między analizowanymi w pracy czynnikami anemometrycznymi a sumami opadów. Największe zróżnicowanie przestrzenne zaobserwowano, badając kierunki wiatru dolnego najmniej sprzyjające najwyższym opadom (np. w Szczecinie był nim kierunek południowy, a w Świnoujściu północno-zachodni). Wynikało to ze znacznego uzależnienia kierunków wiatru od warunków lokalnych, na przykład zróżnicowanej w zależności od typu podłoża siły tarcia, morfologii terenu, ekspozycji linii brzegowej oraz odległości od morza.

## LITERATURA

- Bogucki J. 1994: *Dobowa zmienność kierunku wiatru na Mierzei Łebskiej*, Badania Fizjograficzne nad Polską Zachodnią, Ser. A – Geografia Fizyczna, 45, 5–24.
- Ewert A. 1984: *Opady atmosferyczne na obszarze Polski w przekroju rocznym*. WSP, Słupsk.



- Flak A. 1988: *Rozkład czasowo-przestrzenny i prawdopodobieństwo występowania wiatrów silnych, bardzo silnych i sztormowych w rejonie polskiej części Zalewu Szczecińskiego*, *Studia i Materiały Oceanologiczne*, 53, *Fizyka Morza*, 5, 221–245.
- Kirschenstein M. 2004: *Rola cyrkulacji atmosferycznej w kształtowaniu opadów w północno-zachodniej Polsce*, Akademia Pomorska, Słupsk.
- Kirschenstein M. 2009: *Extreme twenty-four-hour precipitation sums in north-western Poland*, *Baltic Coastal Zone*, No. 13, 53–65.
- Kirschenstein M., Dederko G. 2003: *Cyrkulacyjne uwarunkowania opadów w Koszalinie w latach 1951–1990*, *Badania Fizjograficzne nad Polska Zachodnią*, Ser. A – Geografia Fizyczna, 54, 85–100.
- Kondracki J. 1998: *Geografia regionalna Polski*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Koźmiński, Michalska 2004: *Atlas zasobów i zagrożeń klimatycznych Pomorza*, AR w Szczecinie, Szczecin.
- Koźuchowski K. 2004: *Cyrkulacja atmosferyczna nad Polską i jej wpływ na warunki klimatyczne*, [w:] K. Koźuchowski (red.), *Skala, uwarunkowania i perspektywy współczesnych zmian klimatycznych w Polsce*, Wydawnictwo Biblioteka, Łódź, 69–81.
- Malinowska M. 2006: *Makroskalowe uwarunkowania opadu atmosferycznego na Żuławach Wiślanych*, *Wiadomości IMGW*, 1, 25–48.
- Miszke M. 1979: *Przebieg prędkości wiatru*, *Studia i Materiały Oceanologiczne*, 27, *Meteorologia Morska*, 1, 55–68.
- Nidzgorska-Lencewicz J., Czarna M. 2011: *Deformacja warunków anemometrycznych w Szczecinie*, *Prace i Studia Geogr.*, 47, 401–408.
- Perry A.H., Walker J.M. 1982: *System ocean–atmosfera*, Wydawnictwo Morskie, Gdańsk.
- Planchon O., Cautenet S. 1997: *Rainfall and sea-breeze circulation over south-western France*, *Int. J. of Clim.*, 17, 535–549.
- Prawdź K., Flak A. 1982: *Analiza częstości wiatrów silnych i bardzo silnych wzdłuż toru wodnego Szczecin–Świnoujście w latach 1951–1979*, *Zesz. Nauk*. AR w Szczecinie, 93, 159–179.
- Raible C.C., Yoshimori M., Stocker T.F., Casty C. 2007: *Extreme midlatitude cyclones and their implications for precipitation and wind speed extremes in simulations of the Maunder Minimum versus present day conditions*, *Clim. Dyn.*, 24, 409–423.
- Świątek M. 2004: *Effects of zonal circulation over the southern Baltic on precipitation at polish coastal stations*, *Baltic Coastal Zone*, 8, 23–35.
- Świątek M. 2009: *Wpływ cyrkulacji atmosfery na zmienność opadów na polskim wybrzeżu Bałtyku*, Uniwersytet Szczeciński, Szczecin.
- Tamulewicz J. 2001: *Prędkość wiatru w sezonie letnim w Słowińskim Paru Narodowym w obrębie Mierzei Lebskiej*, *Badania Fizjograficzne nad Polska Zachodnią*, Ser. A – Geografia Fizyczna, 52, 149–159.
- Wielbińska D. 1962: *Wpływ Bałtyku na opady w strefie brzegowej*, *Wiadomości SHiM*, 48, 11–22.