

Opady frontowe na polskim wybrzeżu Bałtyku

Frontal precipitation along the Polish coast

MAŁGORZATA ŚWIĄTEK

Instytut Nauk o Morzu, Uniwersytet Szczeciński, 71-415 Szczecin, ul. Wąska 13;
m.a.swiatek@gmail.com

Zarys treści. Na podstawie dolnych map synoptycznych z lat 1998–2003 wykonano analizę opadów atmosferycznych w obrębie poszczególnych typów frontów atmosferycznych. Wysznuo następujące wnioski dotyczące obszaru polskiego wybrzeża Bałtyku: największe średnie sumy opadów formują się w obrębie frontów zokludowanych, aczkolwiek najwyższe maksymalne sumy opadów towarzyszą frontom chłodnym (pojedyncze bardzo wysokie sumy opadów zdarzają się również w półroczu ciepłym w jednorodnych masach powietrza); wpływ frontów chłodnych na opady jest większy w sezonie ciepłym niż w chłodnym, zaś oddziaływanie frontów ciepłych większe jest w sezonie chłodnym.

Słowa kluczowe: opady frontowe, polskie wybrzeże Bałtyku, testy t-Studenta i χ^2 .

Wprowadzenie

Kluczową rolę w generowaniu opadów odgrywają nize baryczne oraz towarzyszące im fronty atmosferyczne. Szczęólnego znaczenia nabierają one w rejonie Bałtyku, którego klimat, zwłaszcza pluwialny, jest silnie uwarunkowany cyklonami pozatropikalnymi i depresjami ciśnienia w związku z wyjątkowo częstym ich występowaniem w tym rejonie (Miętus i inni, 2003).

Znaczenie frontów atmosferycznych w generowaniu opadów jest powszechnie znane, jednakże w polskiej klimatologii prac badawczych poświęconych temu zagadnieniu jest niewiele (Bogucka, 1997; Malinowska, 2003, 2006).

Zgodnie z danymi pochodzącymi z lat 1950. (Parczewski, 1965) w Polsce najczęściej występują fronty chłodne (125 dni w roku). Fronty zokludowane przemieszczają się nad Polską dużo rzadziej, fronty ciepłe pojawiają się dwukrotnie rzadziej niż chłodne, zaś najrzadziej występują fronty stacjonarne. W związku z częstym występowaniem, fronty generują duże czasowe zróżnicowanie warunków pluwialnych, przejawiające się m.in. znaczną zmiennością pogody z dnia na dzień. Szczęólnie duża częstość przemieszczania się nad obszarem Polski

niżów z rozbudowanym systemem frontów wynika z położenia w strefie frontu polarnego i z ogólnego układu globalnej cyrkulacji atmosferycznej na Ziemi, warunkującej formowanie się dojrzałych niżów i ich przemieszczania się w pasie szerokości geograficznych 50–60°N z zachodu na wschód.

Materiały i metody badań

W pracy wykorzystano dobowe sumy opadów atmosferycznych z lat 1998–2003 na następujących stacjach rozmieszczonych w obrębie Pobrzeża PołudniowoBałtyckiego: Szczecin Dąbie, Świnoujście, Koszalin, Łeba, Hel, Gdynia i Elbląg. Dane pochodzą z materiałów IMGW. Dobowe sumy opadów charakteryzujące fronty poszczególnych typów stanowią średnie z sum na wymienionych stacjach. Fronty ciepłe, chłodne i zokludowane wydzielono na podstawie dolnych map synoptycznych Europy i północnego Atlantyku opracowanych przez brytyjskie Met Office, a publikowanych przez niemiecką Wetterzentrale (www.wetterzentrale.de). W związku ze sporadycznym pojawianiem się na mapach frontów stacjonarnych nie uwzględniono ich w opracowaniu. Ze względu na dostępność danych możliwe było wykonanie analiz opadów występujących w obrębie frontów atmosferycznych w latach 1998–2003. Jest to na pewno zbyt krótki okres, by móc dokładnie scharakteryzować na przykład sezonową zmienność frekwencji poszczególnych frontów, umożliwia jednakże poznanie nieulegających zmianom wraz z upływem czasu relacji między frekwencjami frontów poszczególnych typów a sumami opadów występujących w ich obrębie. Po przeanalizowaniu wszystkich map z lat 1998–2003, uwzględniono tylko te, na których jednoznacznie można było stwierdzić przejście frontu przez polskie wybrzeże Bałtyku lub brak jakiegokolwiek frontu. Brano pod uwagę przede wszystkim te mapy, na których front atmosferyczny wyraźnie przecinał wybrzeże. Dostępność prawie wyłącznie map sporządzanych raz na dobę i prezentujących sytuację synoptyczną o godzinie 00.00 GMT (01.00 lub 02.00 czasu urzędowego) skłoniła do traktowania w większości wypadków zarówno doby mijającej, jak i rozpoczynającej się jako dni z frontem. Wiele przypadków analizowano jako pojedyncze doby – wówczas gdy na kolejnych mapach front znajdował się „tuż przed” a następnie „tuż za” wybrzeżem i oczywiście było, że w danej dobie, której początku i końca dotyczyły określone mapy, front musiał przemieszczać się nad polskim wybrzeżem. Najłatwiej było zinterpretować mapy wykonane o godzinie 18.00 GMT, a więc w środku „doby pomiarowej” – pojawienie się przecięcia wybrzeża przez front na takiej mapie dawało wówczas absolutną pewność wystąpienia frontu na wybrzeżu w danej dobie. Szczególnie surowe kryteria wyboru, zgodne z zasadami przyjętymi przez W. Warakomskiego (1974), zastosowano w stosunku do map wykorzystywanych przy opracowywaniu opadów wewnątrzmasowych. Brano pod uwagę tylko te doby, w przypadku których mapy sporządzane na ich początku oraz końcu nie wyka-

zywały wystąpienia frontu nawet w odległym sąsiedztwie polskiego wybrzeża i nie było wątpliwości, że w okresie między 00.00 GMT danej doby i następnej nad badanym obszarem nie przeszedł żaden front. W zasadzie każdy przypadek analizowano indywidualnie, biorąc pod uwagę wiele czynników dających pewność, że w danym dniu przeszedł bądź nie przeszedł front atmosferyczny. Stwierdzono wystąpienie frontu chłodnego w 287 przypadkach (w tym 134 w półroczu chłodnym), frontu zokludowanego w 273 (w półroczu chłodnym 143), frontu ciepłego w 265 (w chłodnym półroczu 138) oraz brak frontu w 126 przypadkach (zaledwie 52 w półroczu chłodnym). Jako średnie dobowe sumy opadów analizowano wartości uśrednione z siedmiu wspomnianych wcześniej stacji rozmieszczonych równomiernie w obrębie Pobrzeża Południowobałtyckiego, nazywanego w pracy polskim wybrzeżem.

Wyniki badań i wnioski

Średnie roczne sumy opadów w latach 1998–2003 na analizowanych stacjach wyniosły od 532 mm w Szczecinie i 534 mm w Gdyni do 716 mm w Koszalinie. Sumy półroczna chłodnego kształtowały się na poziomie od 216 mm w Gdyni do 297 mm w Koszalinie, zaś ciepłego od 306 mm w Świnoujściu do 419 w Koszalinie. Średnio na polskim wybrzeżu Bałtyku suma opadów w półroczu chłodnym była równa 76% sumy opadów w półroczu ciepłym. Według A. Walthera i R. Benartza (2006), analizujących dane radarowe umożliwiające rozgraniczenie opadów na frontowe, orograficzne i konwekcyjne, w północnych Niemczech około 60% opadów jest powiązanych ze strefami frontowymi. Na Bałtyku odsetek ten jest większy – około 2/3 opadów jest pochodzenia frontowego. M. Malinowska (2003) stwierdziła ponad trzykrotnie większy wkład opadów frontalnych niż konwekcyjnych w całkowitą sumę opadu obszarowego na Żuławach Wiślanych w półroczu ciepłym. O niezwykle istotnej roli frontów atmosferycznych w kształtowaniu opadów półroczna letniego na stacjach zlokalizowanych w rejonie Zatoki Gdańskiej wspominali M. Miętus i J. Filipiak (2002), stwierdzając wyjaśnianie 83% wariancji wysokości opadów przez pierwszy wektor własny przestrzennej zmienności opadu, świadczący o frontalnym pochodzeniu opadów.

Przejście frontu przez wybrzeże wpływa na zwiększenie sum opadów, zaś brak frontu – na ich zmniejszenie. Najwyższe sumy opadów uśrednione dla siedmiu stacji wybrzeża związane są z przechodzeniem okluzji towarzyszącej niżom dojrzałego stadium (tab. 1). Średnie dobowe sumy opadów w dniach przejścia frontu chłodnego w półroczu ciepłym (IV–IX) są zbliżone do średnich sum opadów towarzyszących frontowi ciepłemu. W półroczu chłodnym (X–III) natomiast średnie sumy opadów w obrębie frontu chłodnego są niższe niż na froncie ciepłym (tab. 1), a wręcz niewiele różnią się od przeciętnych opadów na wybrzeżu (średniej wieloletniej sumy dobowej) obliczonych na podstawie wszystkich dni wielolecia. Przejście frontu chłodnego nie ma więc dużego wpływu na

kształtowanie się sum opadów w chłodnej połowie roku, natomiast jego znaczenie wyraźnie wzrasta w pozostałej części roku. Średnia suma opadów w obrębie frontu chłodnego w półroczu chłodnym jest niemal dwukrotnie mniejsza niż w półroczu ciepłym. W przypadku opadów związanych z przechodzeniem frontów ciepłych oraz zokludowanych wartości te są zbliżone do wspomnianych ogólnych relacji między sumami opadów w obu półroczach, wynoszą odpowiednio 70% i 71%. Opady wewnątrzmasowe w półroczu chłodnym są wyraźnie niższe niż w ciepłym – ich sumy stanowią 67% sum opadów w ciepłej połowie roku.

Średnie sumy opadów frontowych oraz wewnątrzmasowych zaprezentowane zostały w tabeli 1. Zawarta w niej kolumna „średnia” przedstawia średnią dobową sumę opadu w latach 1998–2003 (po zliczeniu wszystkich dni tego wielolecia).

Tabela 1. Średnia suma opadu (mm) przypadająca na jeden dzień z frontem danego typu oraz bez frontu (wartości uśrednione ze stacji w Szczecinie, Świnoujściu, Koszalinie, Łebie, Helu, Gdyni i Elblągu)

Average precipitation totals (mm) in days with particular fronts and without front (mean values for stations: Szczecin, Świnoujście, Koszalin, Łeba, Hel, Gdynia i Elbląg)

Okres	Front			Brak frontu	Średnia
	chłodny	ciepły	zokludowany		
Rok	2,34	2,38	2,76	0,53	1,79
Półroczne chłodne	1,63	1,98	2,31	0,41	1,55
Półroczne ciepłe	2,97	2,81	3,25	0,61	2.02

Źródło: opracowanie własne.
Source: author's calculations.

Istotność różnic między średnimi sumami opadów (uśrednione wartości z siedmiu analizowanych stacji) na poszczególnych frontach oraz w dniach bez frontu przetestowano testem t dla prób niezależnych. Istotnie statystycznie okazały się różnice między średnimi sumami opadów w dniach z frontem jakiegokolwiek typu i w dniach bez frontu. Dotyczy to zarówno wszystkich przypadków występujących w analizowanych sześciu latach, jak i obu półroczy. Ponadto istotna okazała się różnica między sumami opadów występujących podczas przechodzenia frontów chłodnych oraz zokludowanych w półroczu chłodnym, co wiąże się ze wspomnianym już słabszym oddziaływaniem frontu chłodnego na sumy opadu w tym okresie. Pozostałe różnice między wartościami sum opadu towarzyszącemu frontom poszczególnych typów okazały się nieistotne statystycznie (na poziomie $\alpha = 0,05$). Oznacza to, że na średnie sumy opadu wpływa nie tyle typ frontu, ile sam fakt jego wystąpienia.

Przetestowano również różnice między średnimi sumami opadu w dniach z danym frontem i bez frontu a przeciętnymi dobowymi sumami opadu w wie-

loleciu. Biorąc pod uwagę wszystkie fronty, bez podziału na półrocza, średnie opady występujące zarówno w obrębie frontów określonych typów, jak i w dniach bez frontów różniły się istotnie od średnich wieloletnich dobowych sum opadów. Najwyższe bezwzględne wartości testu otrzymano w przypadku opadów towarzyszących frontowi zokludowanemu oraz występujących w dniach bez frontu (odpowiednio $t = 5,35$ oraz $t = -4,80$). Przy podziale na półrocza chłodne i ciepłe także prawie wszystkie różnice były istotne statystycznie. Wyjątek stanowiła nieistotna różnica między średnią dobową sumą opadu na froncie chłodnym a średnią wieloletnią sumą opadu w półroczu chłodnym. Nieduża w stosunku do pozostałych relacji (wartość statystyki $t = 2,03$, poziom istotności $\alpha = 0,04$), aczkolwiek istotna statystycznie, była różnica między sumą opadu na froncie ciepłym a średnią wieloletnią sumą opadu w półroczu ciepłym.

Przeprowadzony test wykazał największy wpływ frontu zokludowanego, brak istotnego wpływu frontu chłodnego w półroczu chłodnym oraz relatywnie nieduży wpływ frontu ciepłego w półroczu ciepłym na kształtowanie się sum opadu.

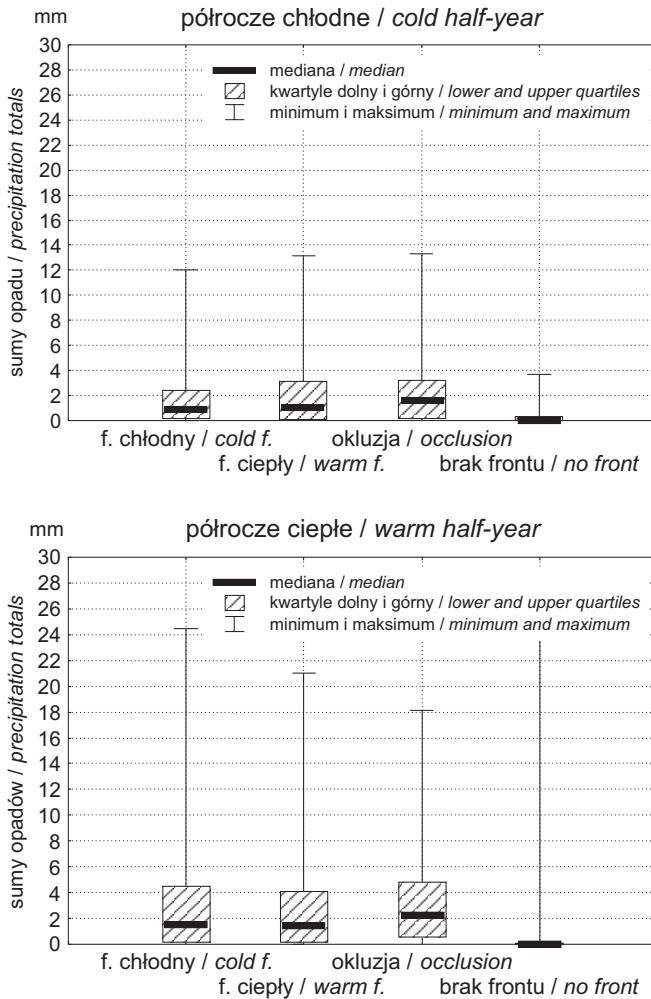
Wyższe sumy opadu w obrębie frontu chłodnego w półroczu ciepłym niż w chłodnym wynikają z większej intensywności prądów wstępujących nad nagrzanym podłożem, sprzyjających formowaniu się w chłodnej masie powietrza burzowych chmur deszczowych Cumulonimbus. Zimą może wystąpić nawet sytuacja zwana maskowaniem frontu (Twardosz, 2005), kiedy front chłodny, wskutek wypierania silnie wychłodzonego w ciągu nocy powietrza kontynentalnego przez wilgotne powietrze znad Atlantyku, powoduje wręcz wzrost temperatury w przyziemnej warstwie powietrza, co zakłóca naturalny na froncie chłodnym proces formowania się chmur konwekcyjnych i powstawanie typowego dla nich opadu.

W związku z asymetrycznym rozkładem prawdopodobieństwa sum opadów (nie jest to rozkład normalny) jako miary tendencji centralnych oraz rozproszenia przyjęto odpowiednie kwartyle, zaprezentowane wraz z maksymalnymi sumami opadów (ryc. 1, tab. 2).

Najwyższe wartości mediany dobowych sum opadów charakteryzują, podobnie jak w przypadku wartości średnich, front zokludowany, a najmniejsze front chłodny w półroczu chłodnym oraz front ciepły w półroczu ciepłym. Porównując średnią z medianą warto zauważyć wyższe wartości tej pierwszej, świadczące o dużym wpływie na wartości średnie bardzo wysokich sum opadów oraz o wyraźnej dominacji pod względem częstości występowania słabych opadów, o sumach dobowych poniżej średniej.

Najniższe są sumy opadów w dniach bez frontów – ich mediana wynosi 0 mm. 75% dni bez frontu w półroczu chłodnym charakteryzowały opady o sumach poniżej 0,3 mm w półroczu chłodnym. W półroczu ciepłym górny kwartyl był jeszcze mniejszy – wyniósł zaledwie 0,11 mm, a więc był mniejszy od analogicznej statystyki opadów frontowych mniej więcej 40-krotnie.

O ile nawet najwyższe opady wewnątrzmasowe w okresie X–III w porównaniu z opadami frontowymi są stosunkowo niskie, o tyle w cieplej części roku mogą sporadycznie występować opady bardzo wysokie, porównywalne z najintensywniejszymi opadami frontowymi (ryc. 1). Mają one wówczas charakter konwekcyjnych opadów burzowych, nawalnych.



Ryc. 1. Kwartyły i ekstrema dobowych sum opadu na polskim wybrzeżu (średnia z siedmiu stacji) w dniach z frontem określonego typu oraz bez frontu (1998–2003)

Quartiles and extremes for daily precipitation totals along the Polish coast (average values for seven stations) on days with different kinds of fronts or without fronts (1998–2003)

W latach 1998–2003 średnia dobowa suma opadu wewnątrzmasowego na polskim wybrzeżu tylko raz przekroczyła 4 mm. Miało to miejsce 13 VIII 1999 r., kiedy suma opadów wyniosła aż 27,1 mm i była najwyższa spośród wszystkich analizowanych w pracy sum dobowych. Tak wysoki opad wystąpił w obrębie bruzdy niskiego ciśnienia usytuowanej pomiędzy dwoma wyżami i przebiegającej wzdłuż całego polskiego wybrzeża, co wraz z silną konwekcją termiczną przyczyniło się do rzadkiego w przypadku opadów wewnątrzmasowych wystąpienia jednoczesnych intensywnych opadów na całym wybrzeżu (z wyjątkiem Świnoujścia), skutkującego bardzo wysoką średnią sumą opadów na wszystkich siedmiu stacjach. Większość opadów wewnątrzmasowych półrocza chłodnego również występuje w obrębie bruzdy niskiego ciśnienia, w półroczu ciepłym decydującego znaczenia nabiera konwekcja termiczna.

Tabela 2. Kwartyle i ekstrema dobowych sum opadu na polskim wybrzeżu (średnia z siedmiu stacji) w dniach z frontem określonego typu oraz bez frontu (1998–2003)

Quartiles and extremums of daily precipitation totals on the Polish sea-coast (the mean for seven stations) in days with different kinds of fronts and without of front (1998–2003)

Okres	Statystyka	Front			Brak frontu
		chłodny	ciepły	zokludowany	
Półrocze chłodne	mediana	0,89	1,07	1,57	0,00
	dolny kwartył	0,20	0,09	0,20	0,00
	górnny kwartył	2,41	3,11	3,20	0,30
	minimum	0,00	0,00	0,00	0,00
	maksimum	12,06	13,14	13,34	3,73
Półrocze ciepłe	mediana	1,51	1,49	2,21	0,00
	dolny kwartył	0,14	0,14	0,53	0,00
	górnny kwartył	4,46	4,07	4,81	0,11
	minimum	0,00	0,00	0,00	0,00
	maksimum	24,43	21,03	18,14	27,13

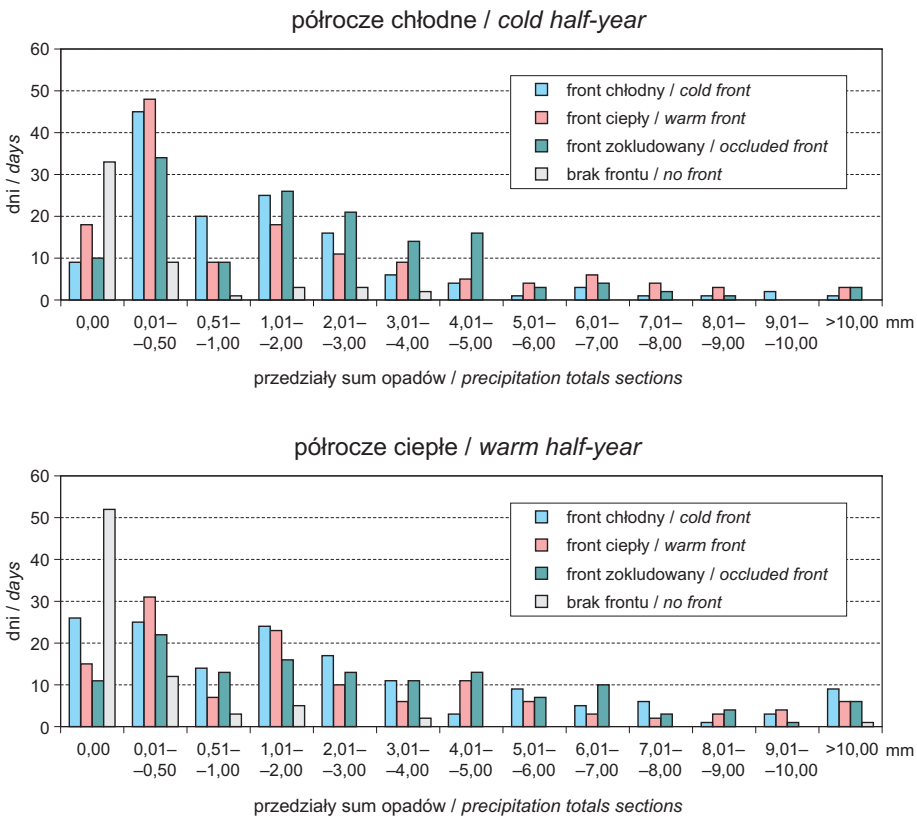
Źródło: opracowanie własne.

Source: author's calculations.

Wyższe wartości sum opadów w półroczu ciepłym niż w chłodnym są szczególnie wyraźnie widoczne w przypadku ekstremalnie wysokich opadów. Wśród przeanalizowanych przypadków, najwyższe sumy opadów zaobserwowano w obrębie jednorodnej masy powietrza (wspomniany pojedynczy przypadek pojawienia się średniego dla wybrzeża opadu 27,1 mm) oraz frontu chłodnego.

W półroczu chłodnym najwyższą sumę opadu odnotowano w obrębie okluzji. W półroczu ciepłym maksymalne sumy opadów na froncie zokludowanym były niższe niż opady związane z przechodzeniem frontów zarówno ciepłych, jak i chłodnych przy jednocześnie wyższych niż na frontach pozostałych typów wartościach mediany i kwartyli, zwłaszcza pierwszego (ryc. 1, tab. 2), co świadczy o mniejszym zróżnicowaniu sum opadów w dniach z frontem zokludowanym.

Oprócz podstawowych charakterystyk dobowych sum opadów przeanalizowano również frekwencje dni z opadami o sumach z przedziałów zaprezentowanych na rycinie 2.



Ryc. 2. Liczba dni na polskim wybrzeżu (średnia z siedmiu stacji) z frontem określonego typu lub bez frontu oraz jednocześnie dobową sumą opadu z danego przedziału (1998–2003)

Numbers of days along the Polish coast (as represented by the average value for seven stations) with different kinds of fronts or without fronts, as well as daily precipitation totals from particular sections (1998–2003)

Rycina 2 prezentuje wyraźną dominację opadów o bardzo małych sumach – do 0,50 mm – w półroczu chłodnym. W półroczu ciepłym ta przewaga ilościowa nie jest już tak znaczna. Szczególnie często opady z przedziału wielkości sum do 0,50 mm występują w obrębie frontu ciepłego. Te bardzo niewielkie opady relatywnie rzadko towarzyszą frontowi zokludowanemu, z którym w półroczu chłodnym zdecydowanie częściej niż z pozostałymi frontami wiążą się opady o umiarkowanych sumach od 1,01 do 5,00 mm. W dniach bez frontów najczęściej brak jakiegokolwiek opadu, a jeśli już wystąpi, to jest to najczęściej opad o sumie równej średniej z siedmiu stacji, wynoszącej poniżej 0,50 mm.

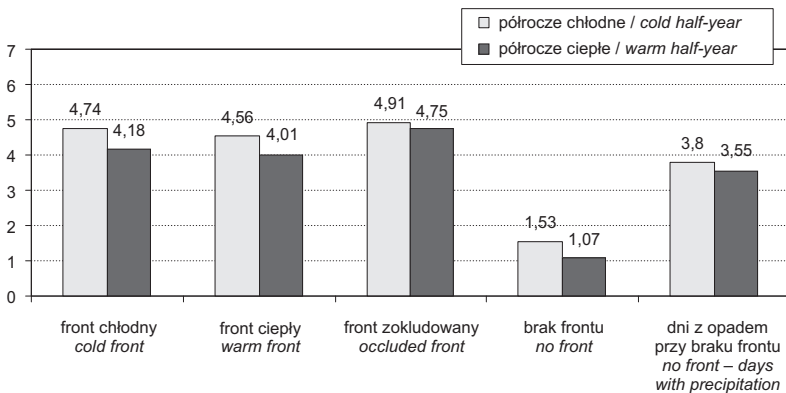
W celu sprawdzenia, czy wyznaczone frekwencje opadów o określonych sumach towarzyszących frontom poszczególnych typów lub brakowi frontów różnią się między sobą istotnie, wykonano test χ^2 różnic między liczebnościami obserwowanymi i oczekiwanymi. W tym wypadku porównywano dwie zmienne obserwowane. Analizie poddano sumy opadów związanych z przechodzeniem określonych frontów oraz w dniach bez frontów w obu półroczach.

W każdym przypadku uzyskana wartość χ^2 była większa od wartości krytycznej przy określonej liczbie stopni swobody na poziomie istotności $\alpha = 0,05$, co skłaniało do odrzucania hipotezy o niewpływności typu frontu oraz braku frontu na rozkład prawdopodobieństwa występowania określonej sumy opadów. Największe różnice między rozkładami sum opadów w danym półroczu zaobserwowano porównując opady na froncie chłodnym z opadami w dniach bez frontu – w półroczu ciepłym wartość statystyki χ^2 wyniosła 244,1, a w półroczu chłodnym aż 748,2 (na przykład istotną statystycznie różnicę między rozkładem sum opadów towarzyszących frontowi ciepłemu i okluzji w półroczu ciepłym charakteryzuje χ^2 równe 28,9), co świadczy o dużym wpływie frontu chłodnego na reżim opadowy, zwłaszcza w półroczu chłodnym. Wpływ ten nie dotyczy średnich sum opadów (co zostało wykazane wcześniej), lecz rozkładu prawdopodobieństwa wystąpienia opadów o określonych sumach (reżimu opadowego).

Poszczególnym typom frontów towarzyszą opady o odmiennych rozkładach sum. Front ciepły sprzyja najczęściej powstawaniu opadów o mniejszym natężeniu. Odmienne reżimy opadowe towarzyszące frontom chłodnym i ciepłym wiążą się ze znacznym zróżnicowaniem form zachmurzenia powstających w obrębie strefy frontów poszczególnych typów. Frontom chłodnym towarzyszą najczęściej opady pochodzące z silnie wypiętrzonych chmur burzowych Cumulonimbus dających opad przelotny, intensywny. Na froncie ciepłym natomiast tworzą się przede wszystkim niskie chmury warstwowe Nimbostratus dające opad jednostajny, mniej gwałtowny lecz o dłuższym czasie trwania. W trakcie i po przejściu frontu ciepłego pojawiają się ponadto chmury Stratus mogące stanowić przyczynę długotrwałej mżawki o niewielkiej łącznej sumie opadu. Silniejsze opady w obrębie frontu chłodnego latem stanowią ważny wkład w ogólną wysoką sumę opadów tej pory roku. Z przeprowadzonych analiz wynika, że opady wewnątrzmasowe stanowią stosunkowo nieduży odsetek wszyst-

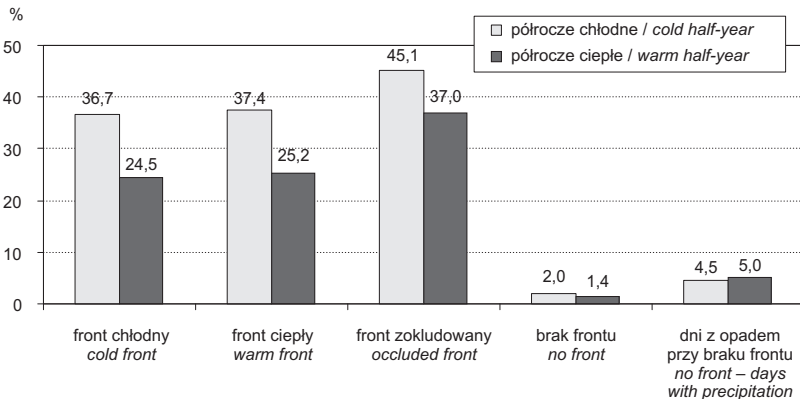
kich opadów półrocza letniego, a konwekcja termiczna występująca w cieplej części roku przede wszystkim „wzbogaca” zachmurzenie na frontach chłodnym i zokludowanym.

Obliczono średnią liczbę stacji (spośród siedmiu analizowanych w niniejszej pracy), na których wystąpił opad podczas przejścia frontu określonego typu (ryc. 3). W przypadku dni bez frontu przeprowadzono również analizę z pomiarem dni, w których nie było opadu na żadnej ze stacji.



Ryc. 3. Średnia liczba stacji na polskim wybrzeżu, na których wystąpił opad podczas przejścia frontu określonego typu oraz w dniach bez frontów (1998–2003)

Average number of Polish coastal stations experiencing precipitation on days with different kinds of fronts or without fronts (1998–2003)



Ryc. 4. Częstość jednoczesnego wystąpienia opadu na wszystkich analizowanych stacjach polskiego wybrzeża podczas przejścia frontu określonego typu oraz w dniach bez frontów (1998–2003)

Frequency of occurrence of simultaneous precipitation at all the Polish coastal stations, during the passage of fronts of different types or on days without fronts (1998–2003)

Średnio na największej liczbie stacji opad wystąpił podczas przejścia okluzji, co świadczy o najszerszej strefie opadów towarzyszącej temu frontowi. Mimo że podczas przejścia frontu opad występował średnio na czterech lub pięciu stacjach, to najczęściej padało na wszystkich siedmiu stacjach. W dniach bez frontu w obu półroczach najczęściej nie padało na żadnej stacji. Po pominięciu dni bez opadu na wszystkich stacjach, okazało się, że w półroczu chłodnym opady wewnątrzmasowe najczęściej występowały tylko na jednej stacji (25% obserwacji), co świadczy o zaledwie lokalnym występowaniu opadów tej klasy genetycznej w półroczu chłodnym. W półroczu ciepłym natomiast opady miały szerszy zasięg – opad występował najczęściej jednocześnie na dwóch lub pięciu stacjach (po 27% obserwacji). Niewielki zasięg opadów wewnątrzmasowych wpływa na małe średnie sumy opadu po zliczeniu wartości z wszystkich siedmiu stacji.

W półroczu chłodnym strefy opadów towarzyszące frontom miały większy zasięg niż w ciepłym, co odzwierciedla częstsze występowanie opadów wzdłuż całego polskiego wybrzeża Bałtyku (na wszystkich analizowanych stacjach) podczas przejścia frontu (ryc. 4). Najczęściej sytuacja taka miała miejsce w przypadku przejścia okluzji – opad na wszystkich stacjach w półroczu chłodnym występował niemalże w połowie obserwacji. Na froncie chłodnym i ciepłym frekwencja występowania opadów na wszystkich stacjach była praktycznie jednakowa. W dniach bez frontu opad na wszystkich stacjach wystąpił tylko raz w półroczu ciepłym i raz w chłodnym.

Podsumowanie

Przejście przez polskie wybrzeże frontu atmosferycznego wpływa na zwiększenie sum opadu, przy czym typ frontu ma znaczenie drugorzędne. Najwyższe średnie sumy opadu występują w obrębie frontu zokludowanego. Frontom tego typu towarzyszy jednocześnie najszersza strefa opadów. Najwyższe maksymalne sumy opadów wiążą się natomiast z przesuwaniem się frontu chłodnego nad wybrzeżem. Najwyższa zaobserwowana w badanym wieloleciu średnia z wybrzeża wystąpiła w jednorodnej masie powietrza – był to jednak pojedynczy, wyjątkowy przypadek. W półroczu chłodnym front chłodny wywiera stosunkowo niewielki wpływ na średnie sumy opadów, wpływa jednakże na opady poprzez silnie oddziaływanie na rozkład prawdopodobieństwa występowania opadów o określonych sumach. W półroczu ciepłym mniejsze znaczenie niż pozostałe fronty ma front ciepły. W obrębie frontu zokludowanego występują najczęściej opady wyższe niż w przypadku frontów pozostałych typów, frontowi ciepłemu towarzyszą natomiast najczęściej opady bardzo małe – do 0,5 mm. W dniach bez frontów najczęściej brak jakiegokolwiek opadu, a jeśli już wystąpi, to jest to najczęściej opad bardzo mały, choć w półroczu ciepłym pojawiają się pojedyncze przypadki opadów wewnątrzmasowych o sumach porównywal-

nych lub nawet przewyższających najwyższe opady frontowe. Reżimy opadowe na frontach poszczególnych typów różnią się istotnie między sobą; najbardziej specyficzny jest rozkład opadów towarzyszących frontowi chłodnemu. Kolejne zaobserwowane prawidłowości – to szersze strefy opadów towarzyszące frontom w półroczu chłodnym niż w ciepłym oraz zdecydowanie mniejszy zasięg opadów wewnątrzmasowych niż frontowych.

Piśmiennictwo

- Bogucka M., 1997, *Ekstremalne opady atmosferyczne w Polsce w przedziałach 6-godzinnych i ich związek z sytuacją synoptyczną*, [w:] *Materiały Symposium Jubileuszowego Polskiego Towarzystwa Geofizycznego „Ekstremalne zjawiska meteorologiczne, hydrologiczne i oceanograficzne”, Warszawa 12–14 XI 1997*, IMGW, Warszawa, s. 22–25.
- Malinowska M., 2003, *Sytuacje synoptyczne w Polsce Północnej a opady na Żuławach Wiślanych*, *Badania Fizjograficzne nad Polską Zachodnią*, Seria A: Geografia Fizyczna, 54, s. 113–130.
- , 2006, *Makroskalowe uwarunkowania opadu atmosferycznego na Żuławach Wiślanych*, *Wiadomości IMGW*, 1, s. 25–48.
- Miętus M., Filipiak J., 2002, *Struktura czasowo-przestrzennej zmienności warunków opadowych w rejonie Zatoki Gdańskiej*, *Materiały Badawcze IMGW*, Seria: Meteorologia, 34.
- Miętus M., Filipiak J., Owczarek M., 2003, *Czasowo-przestrzenna struktura opadów w rejonie Zatoki Gdańskiej i jej możliwe zmiany w skali XXI wieku*, [w:] J. Cyberski (red.), *Powódź w Gdańsku 2001*, *Gdańskie Towarzystwo Naukowe*, Gdańsk, s. 35–56.
- Parczewski W., 1965, *Fronty atmosferyczne nad Polską*, *Wiadomości Służby Hydrologicznej i Meteorologicznej*, 59, 4, s. 20–36.
- Twardosz R., 2005, *Dobowy przebieg opadów atmosferycznych w ujęciu synoptycznym i probabilistycznym na przykładzie Krakowa (1886–2002)*, *Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ*, Kraków.
- Walther A., Bennartz R., 2006, *Radar-based precipitation type analysis in the Baltic area*, *Tellus*, 58 A, s. 331–343.
- Warakomski W., 1974, *Zachmurzenie wewnątrzmasowe w Polsce*, *Annales UMCS*, sec. B, 29, 4, s. 77–105.
- www.wetterzentrale.de/topkarten

[Wpłynęło: kwiecień; poprawiono: wrzesień 2008 r.]

MAŁGORZATA ŚWIĄTEK

FRONTAL PRECIPITATION ALONG THE POLISH COAST

The climate of the Baltic coastline is strongly affected by prevailing cyclones and frontal activities. Frontal precipitation is shown to dominate in the Baltic area, with about two-thirds of rainfall events being frontal in origin (Walther and Bennartz, 2006).

The aim of the work described here was to study precipitation totals in relation to selected atmospheric fronts and days without fronts. The analysis took in the daily precipitation totals recorded during both the cold seasons (October–March) and the warm ones (April–September) in the years 1998–2003, at seven stations along the Baltic coast (i.e. Szczecin, Świnoujście, Koszalin, Łeba, Hel, Gdynia and Elbląg). The lower weather charts from the years 1998–2003 published by *wetterzentrale* (www.wetterzentrale.de/topkarten) formed a basis upon which to state the occurrence of different kinds of fronts.

Irrespective of kind, the occurrence of a front causes an increase in precipitation totals, while there is a decrease on days without fronts (Table 1). The t-Student test shows that the influence of cold fronts on the precipitation pattern is more important in a warm season than in a cold one, while the effect of warm fronts is greater in a cold season. The highest mean daily precipitation totals along the Polish coast relate to the passage of an occluded front (Tab. 1, Tab. 2). Extreme high totals for precipitation are associated with cold fronts. There are single events with very high totals on days without fronts (Fig. 1) – 27.1 mm was the maximum daily precipitation total (mean for seven stations) recorded for days analyzed in the study. It was noted on September 13th 1999 and was associated with convective rainfall in conditions of a barometric trough.

The breakdown of precipitation totals was also studied by size category, with the frequency of occurrence of daily totals within selected size intervals being presented (Fig. 2). The most frequent daily totals were of between 0.01 and 0.50 mm. The probability of moderate precipitation totals (in the 1.01–5.00 range) is higher in the presence of occluded fronts than when warm or cold fronts are passing through.

Mean numbers of stations experiencing precipitation as selected fronts pass through were also calculated, as was the frequency of occurrence of precipitation at all stations in days with or without fronts (Figs. 3, 4).