

10.2478/bfpz-2013-0001

WPŁYW CYRKULACJI ATMOSFERYCZNEJ NA WYSTĘPOWANIE EKSTREMALNYCH OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH W POZNANIU W LATACH 1920–2010

MARCIN BERNAS, LESZEK KOLENDOWICZ

Zakład Klimatologii, Instytut Geografii Fizycznej i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego,
Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu,
ul. Dziegielowa 27, 61-680 Poznań

Abstract: The aim of this work is to define the influence of atmospheric circulation on the occurrence of extreme precipitation in Poznań in the years 1920–2010. The daily totals for atmospheric precipitation taken at the IMGW Poznań Ławica meteorological station were used. The research also uses data collected from the NCEP/NCAR Reanalysis (Kalnay et al. 1996) concerning the distribution of atmospheric pressure at sea level, the geopotential height of 500 hPa as well as an indicator for the availability of precipitable water (PW). Data on the frequency of occurrence of Grosswetterlagen atmospheric circulation from 1920–2000 was also used.

Keywords: daily extreme precipitation, atmospheric circulation, Poznań (Poland)

WSTĘP

Ekstremalne zjawiska pogodowe wywierają znaczący wpływ na funkcjonowanie środowiska przyrodniczego oraz życie człowieka. Do jednych z groźniejszych zjawisk pogodowych zaliczyć można ekstremalne sumy opadów atmosferycznych. Opady o charakterze ekstremalnym oddziałują na procesy hydrologiczne i geomorfologiczne. Na obszarach górskich opady o dużej intensywności przyczyniają się do powstania osuwisk oraz erozji gleb, pośrednio wpływając na uszkodzenia infrastruktury technicznej oraz straty w uprawach rolnych. Opady o charakterze krótkotrwałym, lecz intensywnym (opady nawalne) oraz opady długotrwałe, obejmujące zasięgiem duże powierzchnie – opady rozlewne, często są przyczynami powstawania podtopień lub powodzi. Opady rozlewne w Polsce w latach 1997 i 2010 przyczyniły się do powstania silnych powodzi, które spowodowały olbrzymie straty materialne i społeczne. Celowe zatem staje się wyjaśnienie mechanizmów wpływających na powstawanie oraz częstotliwość występowanie opadów o naturze ekstremalnej w Polsce.

Wyznaczenie wiarygodnego kryterium służącego do klasyfikacji opadów o dużym natężeniu nie jest zadaniem prostym, ponieważ opad jest elementem nieciągłym, zależnym od warunków środowiska przyrodniczego, w tym między

innymi od szerokości geograficznej. Wysokość opadów zmienia się w szerokim spektrum, od sum rocznych wynoszących kilka czy nawet kilkanaście tys. mm w klimatach równikowych i monsunowych do absolutnego braku opadów, nawet przez kilka lat, na obszarach pustynnych. Możliwe jest wyznaczenie poziomu intensywności opadów na podstawie pomiaru czasu i wysokości. Wymaga to jednak wykorzystania pluwiografów. Dysponując takimi danymi, możemy ocenić natężenie opadu za pomocą 13-stopniowej skali Chomicza (1951). Dane takie są jednak trudno dostępne, ponieważ nie na każdej stacji odbywają się takie pomiary, zwykle mierzony jest całkowity opad dobowy. Konieczne zatem jest stosowanie metod statystycznych pozwalających na łatwe wyselekcjonowanie spośród zbioru danych wartości ekstremalnych. Do najczęściej stosowanych w literaturze zalicza się wartości percentylowe (*Intergovernmental Panel on Climate Change*, 2011).

Jednym z najważniejszych elementów meteorologicznych kształtujących stosunki opadowe w Polsce jest cyrkulacja atmosferyczna. Dynamiczne cechy klimatu Polski uwarunkowane są przemieszczającymi się, najczęściej peryferiami, wyżami i niżami, których centra tworzą się poza obszarem naszego kraju. Duże znaczenie w kształtowaniu się sytuacji synoptycznych mają stałe ośrodki baryczne tworzące się nad obszarem Europy i północnego Atlantyku. Warto zauważyć, że na możliwość tworzenia się opadów wpływają właściwości wilgotnościowe i termiczne mas powietrza napływających nad dany obszar, a ich cechy są uwarunkowane obszarem źródłowym (Woś 2006).

PRZEGLĄD LITERATURY

Badaniem mechanizmów wyjaśniających powstawanie opadów ekstremalnych zajmowało się stosunkowo niewielu badaczy. Łupikasa (2007) dokonała analizy ekstremów opadowych dla stacji Horsund na Spitsbergenie w latach 1978–2006. Badała opady w dwóch grupach: $\geq 0,1$ mm i ≥ 1 mm, wyznaczając dla nich wartości ekstremalne definiowane jako wartość 90 i 95 percentyla sum dobowych. Na podstawie wyznaczonych wartości obliczyła: liczbę dni z opadem ekstremalnym, sumę opadów generowaną przez zjawiska ekstremalne oraz udział opadów ekstremalnych w ogólnej sumie opadów rocznych. Powyższe wskaźniki zostały wyznaczone dla: okresu rocznego, okresu akumulacyjnego, półrocza ciepłego i półrocza chłodnego. Łupikasa zbadała również występowanie opadów ekstremalnych w zależności od typu cyrkulacji atmosferycznej według *Kalendarza typów cyrkulacji* Niedźwiedzia.

Ta sama autorka wykonała klasyfikację opadów ekstremalnych w Polsce w sezonie letnim, wyróżniając 9 typów genetycznych. Swoje badania oparła na dobowych sumach opadów atmosferycznych z 51 stacji meteorologicznych IMGW dla czerwca, lipca i sierpnia od roku 1951 do 2007 oraz na dolnych

mapach rozkładu ciśnienia. Ponownie do wyselekcjonowania ekstremów wykorzystano wartość 90 i 95 percentyla. Podana klasyfikacja, jak zauważa sama autorka, ma charakter subiektywny. Ponadto skonstruowała ona dwa wskaźniki pozwalające na analizę czasoprzestrzenną występowania opadów ekstremalnych w Polsce. Były to: wskaźnik częstości przestrzennej (WCZp), definiowany jako liczba stacji, na których przynajmniej raz w danym sezonie letnim zanotowano opad ekstremalny, wyrażony w procentach wszystkich badanych stacji; oraz wskaźnik częstości czasowej (WCZr) będący ilorazem sumy liczby dni z opadem ekstremalnym na każdej z badanych stacji w danym sezonie i liczby stacji, na których chociaż raz w danym sezonie zanotowano opad ekstremalny.

Ustrnul i Czekierda (2009) dokonali analizy opadów ekstremalnych dla obszaru Polski, wykorzystując dane z 60 stacji meteorologicznych IMGW. Podstawą do przeprowadzonych analiz były opady maksymalne, na poszczególnych stacjach, przekraczające bądź równe wartości prawdopodobieństwa na poziomie 1%, a nawet 0,1% (odpowiadające wartościom 99 i 99,9 percentyla). Autorzy zbadali opady ekstremalne w okresie rocznym oraz w zimie, wskazując na ich wartości na poszczególnych stacjach. Dla wybranych dni wykonali także szczegółowe analizy, wykorzystując dolne oraz górne mapy baryczne. Zbadali również częstość występowania opadów ekstremalnych na poszczególnych stacjach ze względu na typ cyrkulacji. Wykorzystali różne typologie cyrkulacji atmosferycznej, m.in.: Osuchowskiej-Klein (1978), Lityńskiego (1969), Chessa, Brezowsky'ego (1977) i Niedźwiedzia (2013).

Problematyka ekstremalnych zjawisk meteorologicznych, w tym ekstremów opadowych, jest podejmowana znacznie częściej w literaturze światowej niż polskiej. Wiele prac dotyczy wpływu cyrkulacji atmosferycznej na tworzenie się ekstremów opadowych. Należy zaliczyć do nich pracę Kenyona oraz Hegerela (2010). Wykazali oni, że głównym czynnikiem wpływającym na opady ekstremalne oraz anomalie opadowe jest cyrkulacja atmosferyczna. Wskazali na dwa efekty mające kluczowe znaczenie dla tworzenia się tego typu zjawisk: ENSO, którego intensywność bada się na podstawie indeksu NPI (*North Pacific Index*) oraz NAO. Stwierdzili, że wpływ ENSO (*El Niño-Southern Oscillation*) ogranicza się do obszarów: Indii, Afryki, Ameryki Południowej, Pacyfiku i Ameryki Północnej, natomiast niewielki wpływ ma on na Europę. Z kolei NAO oddziałuje najsilniej w Eurazji.

Andreoli z zespołem (2011) zajmowała się analizą opadów ekstremalnych w dorzeczu Amazonki. Zbadano anomalie opadowe w środkowej oraz wschodniej części dorzecza Amazonki, które wynikają z oddziaływania Oceanu Spokojnego oraz Atlantyku, wykorzystując miesięczne sumy opadów atmosferycznych ze stacji w: Itaituba, Manaus, Parintins oraz Santarém dla lat 1931–1996. Opady zaklasyfikowano, w zależności od pory suchej i deszczowej, na: suche, bardzo suche, wilgotne i bardzo wilgotne. Do analiz wykorzystano także dane

dotyczące temperatury wody Oceanu Spokojnego i ciśnienia atmosferycznego na poziomie morza. Wykazano, że największy wpływ na anomalie pogodowe w tym rejonie ma zjawisko ENSO (*El Niño-Southern Oscillation*).

Analizą opadów ekstremalnych w tropikalnej części Ameryki Południowej zajmował się także Blain (2011). Autor podjął próbę oceny prawdopodobieństwa wystąpienia ekstremalnych opadów dobowych podczas cyklu rocznego dla okresu badawczego 1890–2009. Dane pochodziły ze stacji meteorologicznej Campinas, leżącej w stanie São Paulo w Brazylii. Do wyznaczenia prawdopodobieństwa posłużyły metody statystyczne pochodzące z ogólnego modelu GEV (*Generalized extreme value distribution*). Wykorzystano dwie metody analiz: metodę maksymalnego prawdopodobieństwa (*the maximum likelihood*) oraz metody L momentów. Wykazano, że pierwsza z przytoczonych metod lepiej nadaje się do estymacji prawdopodobieństwa wystąpienia ekstremów opadowych.

Pfahl i Wernli (2011) zajmowali się badaniem ekstremalnych zjawisk meteorologicznych, głównie wysokich i niskich temperatur oraz wysokich opadów dobowych dla różnych stacji położonych na obszarze Niemiec oraz Szwajcarii. Analizy prowadzili w skali lokalnej i regionalnej. Skupili się raczej na temperaturze powietrza niż na samych opadach, wykazując, że duży wpływ na te zjawiska ma cyrkulacja atmosferyczna oraz relacje przestrzenne – głównie położenie geograficzne.

Li, Dong oraz Yan (2012) analizowali relacje pomiędzy letnim monsunem we wschodnich Chinach i zmianami w ekstremalnych wartościach temperatury oraz opadów w tym regionie. Do analizy wykorzystali metodę rozkładu według wartości osobliwych (*Singular Value Decomposition anaalysis*) opierającą się na rachunku macierzy. Stwierdzili, że w latach 1980–1996 więcej opadów o charakterze ekstremalnym występuje w północnej części regionu, a ekstremów termicznych w południowej. Po roku 1997 nastąpiło odwrócenie tego trendu.

Problematyką wysokich opadów rozlewnych w rejonie zlewiska Morza Śródziemnego zajmował się Trambly z zespołem (2012). Badali oni wysokie opady rozlewne w rejonie zlewiska Morza Śródziemnego. Wykorzystali metodę wartości ponad przyjętym progiem (*a peaks over threshold*), polegającą na analizie wartości pochodzących z nieznanej dystrybuanty przy wykazaniu wartości przekraczającej wysoką wartość progową. Badania prowadzili dla sześciu stanowisk zlokalizowanych w południowej Francji. Autorzy wykazali, że głównym czynnikiem sterującym powstawaniem wysokich opadów w tym rejonie jest strumień wilgotności (*humidity flux FHUM*) pochodzący z Morza Śródziemnego. Do obliczenia zmian w przebiegu strumienia wilgotności wykorzystali dane pochodzące z reanaliz za okres 1958–2008.

CEL I ZAKRES OPRACOWANIA

Zasadniczym celem opracowania jest określenie wpływu cyrkulacji atmosferycznej na pojawianie się opadów ekstremalnych w Poznaniu w 90-leciu 1920–2010.

W pracy wykorzystano sumy dobowe opadów atmosferycznych ze stacji meteorologicznej IMGW Poznań Ławica z lat 1920–2010. Do analizy zbadania wpływu cyrkulacji atmosferycznej na ekstremalne zjawiska opadowe w Poznaniu wykorzystano dane pochodzące ze zbiorów NCEP/NCAR Reanalysis (*National Center for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research*) (Kalnay i in. 1996). Wykorzystano dane ze 120 punktów węzłowych ($5^\circ \times 5^\circ$) siatki geograficznej dla obszaru Europy o rozciągłości 35° – 70° N i 35° W– 40° E. Obejmowały one okres zawężony w stosunku do danych opadowych przypadający na lata 1950–2009, dlatego do analiz wykorzystano tylko ekstremum opadowe dla tego przedziału. Liczba ekstremalnych zdarzeń opadowych uwzględnionych w niniejszym opracowaniu wyniosła 303. Analizując wpływ cyrkulacji atmosferycznej na występowanie ekstremalnych opadów atmosferycznych, wykorzystano rozkład ciśnienia na poziomie morza, wysokość występowania powierzchni izobarycznej 500 hPa oraz wskaźnik dostępności wody opadowej (pw).

Badania typów cyrkulacji sprzyjających powstaniu opadu ekstremalnego zostały przeprowadzone na podstawie danych opublikowanych w *Katalogu der Großwetterlagen Europas* (Hess Brezowsky 1977) za lata 1920–2000.

METODY BADAŃ

Podstawową metodą służącą do wyznaczenia ekstremów opadowych była wartość 99 percentyla (IPCC, 2001). Ze zbioru danych zostało wyznaczonych 341 wartości będących dobowymi sumami opadów przekraczających bądź równych 17 mm.

W dalszej części postępowania badawczego podjęto próbę określenia wpływu cyrkulacji atmosferycznej na występowanie ekstremalnych sum opadów. W celu określenia sytuacji barycznej nad Europą, towarzyszącej ekstremalnym opadom w Poznaniu, wykorzystano dane dotyczące rozkładu ciśnienia na poziomie morza, pochodzące z reanaliz z lat 1950–2010. Na kolejnym etapie badań dokonano grupowania dni z ekstremalnymi opadami, które zostały scharakteryzowane przez rozkład ciśnienia atmosferycznego na poziomie morza nad Europą i północnym Atlantykiem. W przeprowadzonej analizie przyjęto metodę Warda zaliczaną do aglomeracyjnych metod hierarchizacji danych (Ostasiewicz 1998). W rezultacie uzyskano podział analizowanych dni na dwie grupy charakteryzujące się odmiennym rozkładem ciśnienia nad Europą. Dla każdej z wyróżnionych

grup sporządzono mapy: średniego rozkładu ciśnienia atmosferycznego na poziomie morza, wysokości zalegania powierzchni barycznej 500 hPa oraz dostępnej wody opadowej (pw). Obliczona została średnia suma dni oraz średnia wielkość opadów ekstremalnych w obu grupach dla roku, pór roku oraz sezonu ciepłego i chłodnego w badanym wieloleciu, a także ich procentowy udział.

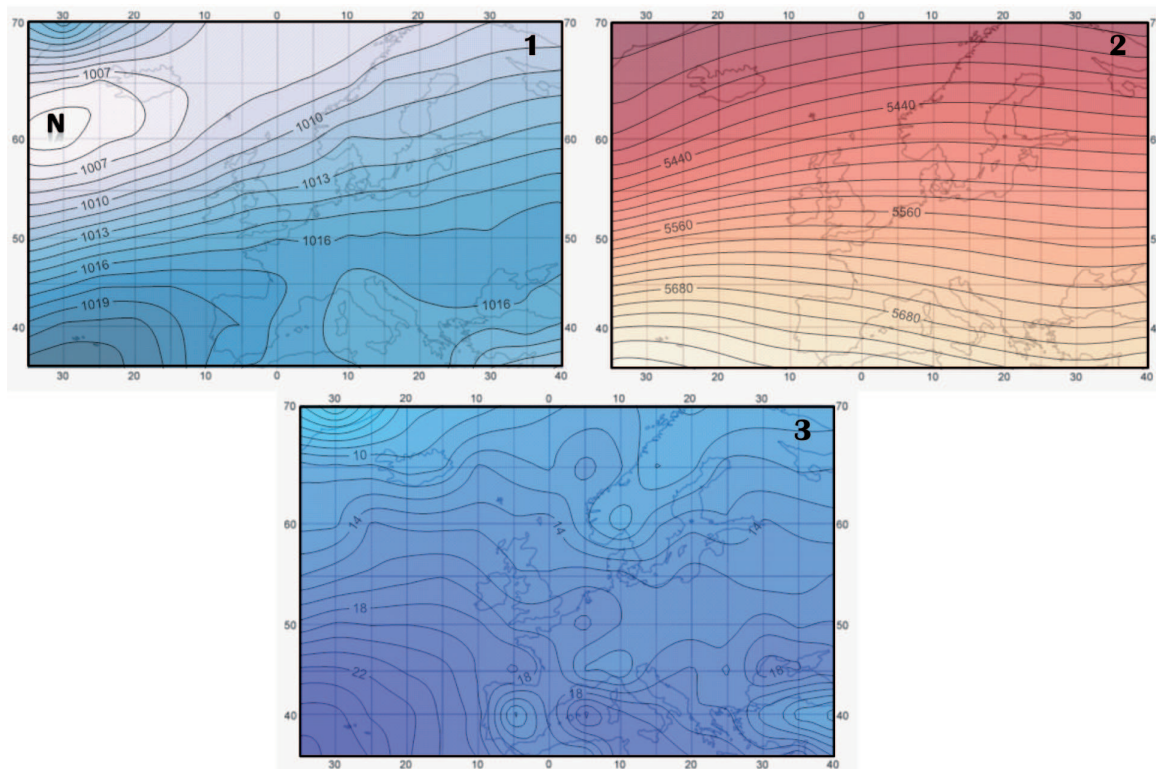
Przeprowadzono analizę częstości oraz prawdopodobieństwa wystąpienia opadów ekstremalnych w typach cyrkulacji atmosfery według klasyfikacji Hessa i Brezowsky'ego (1977). Wyniki zostały zaprezentowane za pomocą wykresów przedstawiających liczbę dni w poszczególnych typach cyrkulacyjnych z opadem ekstremalnym oraz wielkość tych opadów. Wyróżnione zostały trzy typy charakterystyczne dla ekstremów opadowych w Poznaniu. Ponadto porównano dominujące typy cyrkulacji z rozkładem ciśnienia na poziomie morza w wyznaczonych grupach.

REZULTATY BADAŃ

Charakterystyki rozkładu ciśnienia atmosferycznego na poziomie morza oraz wysokości zalegania powierzchni izobarycznej 500 hPa, jak również wskaźnika dostępnej wody opadowej (pw) dokonano, opierając się na danych ze zbiorów NCEP/NCAR Reanalysis. Na rycinie 1 przedstawiono średni rozkład ciśnienia atmosferycznego, wysokości geopotencjału 500 hPa oraz wskaźnika wody dostępnej opadowo (pw) z wielolecia 1951–2009.

Z analizy map wynika, że najniższe ciśnienie atmosferyczne w roku średnim występuje na obszarze Niżu Islandzkiego. Niż ten jest najbardziej rozbudowany w okresie zimy. W miesiącach od grudnia do marca obejmuje największe obszary i charakteryzuje się bardzo niskimi wartościami ciśnienia. Latem dochodzi do osłabienia tego ośrodka. Najwyższe wartości ciśnienia notowane są w rejonie środkowego Atlantyku w Wyżu Azorskim. Wyż ten osiąga największe wartości ciśnienia w okresie letnim, rozbudowując się. Wyż Azorski słabnie w zimie, gdy silniejszy staje się Niż Islandzki. Oba te ośrodki mają decydujący wpływ na zmiany pogodowe w Europie, a ich współoddziaływanie jest określane mianem Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO).

Ważnym czynnikiem w kształtowaniu warunków pogodowych jest zróżnicowanie ciśnienia atmosferycznego w wyższych warstwach troposfery. Jest to element, który w znaczącym stopniu determinuje cyrkulację atmosferyczną, a co za tym idzie – napływ mas powietrza o określonych właściwościach termicznych i wilgotnościowych. Izohipsy przedstawiające wysokość zalegania powierzchni izobarycznej 500 hPa układają się równoleżnikowo. Wysokość występowania tej powierzchni maleje z kierunku południowego w kierunku północnym. Wynika to ze zróżnicowania termicznego mas powietrza zalegających nad analizowanym obszarem.



Ryc. 1. Rozkład średnich wartości ciśnienia na poziomie morza (1), średnia wysokość występowania powierzchni barycznej 500 hPa (2), średni rozkład zawartości wody opadowej (3)
Dane z lat 1951–2009

Fig. 1. Mean values of SLP (sea level pressure) (1), mean high of geopotential 500 hPa (2) and mean values of precipitable water (pw) (3)
Data from the period 1951–2009

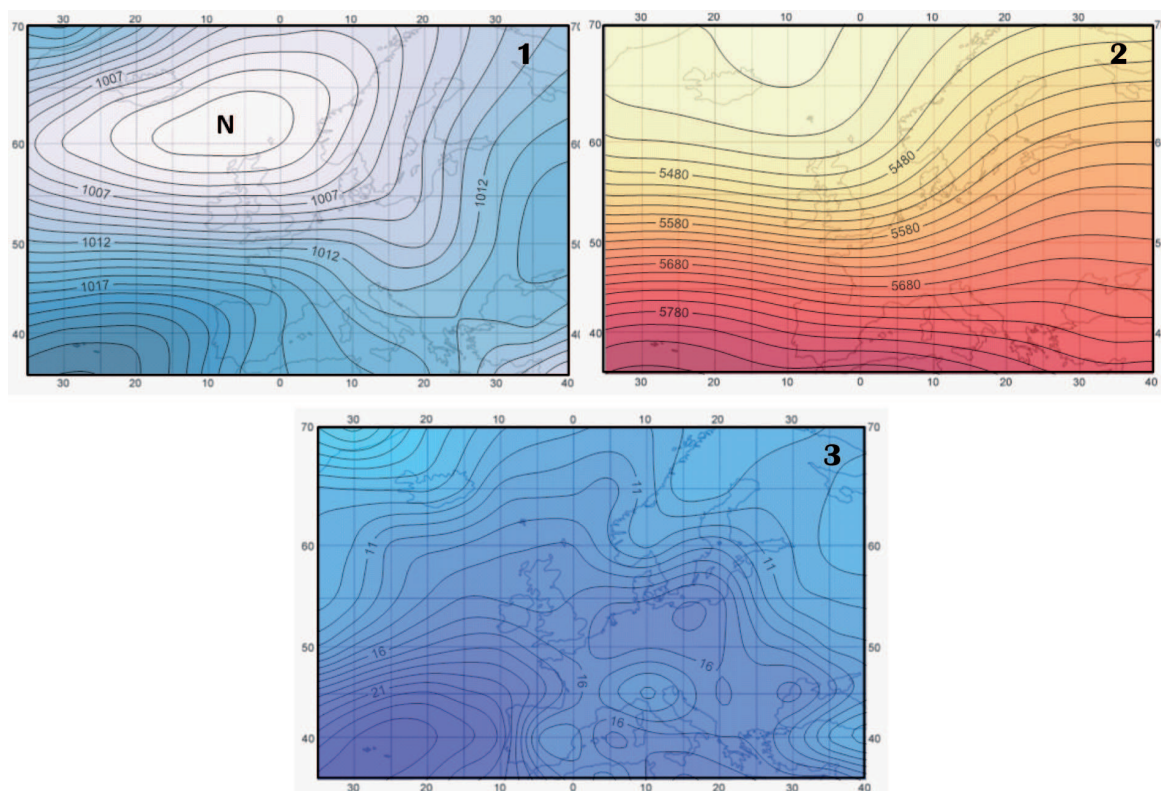
Rozkład przestrzenny zawartości wody opadowej (pw) ilość wody dostępnej w danym słupie powietrza w kg/m^2 przedstawiono na rycinie 1. Wyznaczenie wielkości pw odbywa się na podstawie radiosondaży oraz pomiarów teledetekcyjnych. Zawartość wody opadowej wiąże się bezpośrednio z temperaturą powietrza, gdyż w cieplejszej masie zawiera się więcej pary wodnej. Takie założenie pozwala stwierdzić, że układ tego elementu podlega cykliczności sezonowej. Jak podają Wibig i Strzelecki (2007): „Zmienność średnich miesięcznych jest dużo większa nad kontynentami niż nad Atlantykiem. Nad oceanami zawartość wody opadowej jest największa w lipcu i sierpniu a nad kontynentami w lipcu. Letnie maksima zawartości pary wodnej są wyższe nad kontynentami niż nad oceanem, co wynika z dużej różnicy temperatury”.

Średnie wartości pw wykazują duże zróżnicowanie przestrzenne. Najwyższe wartości są notowane na obszarach morskich: środkowego Atlantyku w rejonie Wysp Azorskich (25 kg/m^2), zachodniej części Morza Śródziemnego (20 kg/m^2) oraz Morza Czarnego (18 kg/m^2). Bardzo niskie wartości dla obszarów wodnych występują w północno-zachodniej części Atlantyku i wynoszą tylko 4 kg/m^2 (absolutne średnie minimum dla analizowanego obszaru). Nad kontynentem

notowane są znacznie niższe wartości tego elementu, co wynika z mniejszej ewaporacji. Lokalne minima w południowej Europie występują nad Półwyspem Iberyjskim (14 kg/m^2) oraz Azją Mniejszą (13 kg/m^2). Ponadto niskie wartości odnotowywane są w Skandynawii ($11\text{--}12 \text{ kg/m}^2$). Nad Europą Środkową notowane są wartości na poziomie 16 kg/m^2 , dla cieplejszej Europy Zachodniej jest to 17 kg/m^2 .

W dalszej części opracowania przedstawiono analizę uśrednionych warunków barycznych oraz rozkład przestrzenny wody opadowej dla wyróżnionych uprzednio dwóch grup dni z ekstremalnymi opadami atmosferycznymi w Poznaniu.

Dla pierwszej grupy dni (ryc. 2) dominującym układem barycznym jest płytki niż, którego centrum lokuje się na północ od Wysp Brytyjskich. Przyjmuje on wartość ciśnienia około 1003 hPa . Polska znajduje się pod wpływem zatyki niskiego ciśnienia. W południowo-zachodniej części analizowanego obszaru zaznacza się klin wysokiego ciśnienia obejmujący głównie rejon środkowego



Ryc. 2. Średni rozkład wartości ciśnienia na poziomie morza (1), średnia wysokość występowania powierzchni barycznej 500 hPa (2) oraz średni rozkład zawartości wody opadowej (3)

Dla grupy 1 dni z ekstremalnymi opadami atmosferycznymi w Poznaniu w latach 1951–2010

Fig. 2. Mean values of SLP (sea level pressure) (1), mean geopotentialhigh of 500 hPa (2) and mean values of precipitable water (pw) (3)

Data from the period 1951–2009 for the first group of days with extreme precipitation amount in Poznań

Atlantyku oraz Morza Śródziemnego. We wschodniej części Europy w tym czasie obserwuje się obszar podwyższonego ciśnienia. Charakterystyczne ugięcie izobar, przebiegające łukiem od centrum niżu przez Europę Środkową (w tym Polskę), wskazuje na prawdopodobne położenie frontu atmosferycznego.

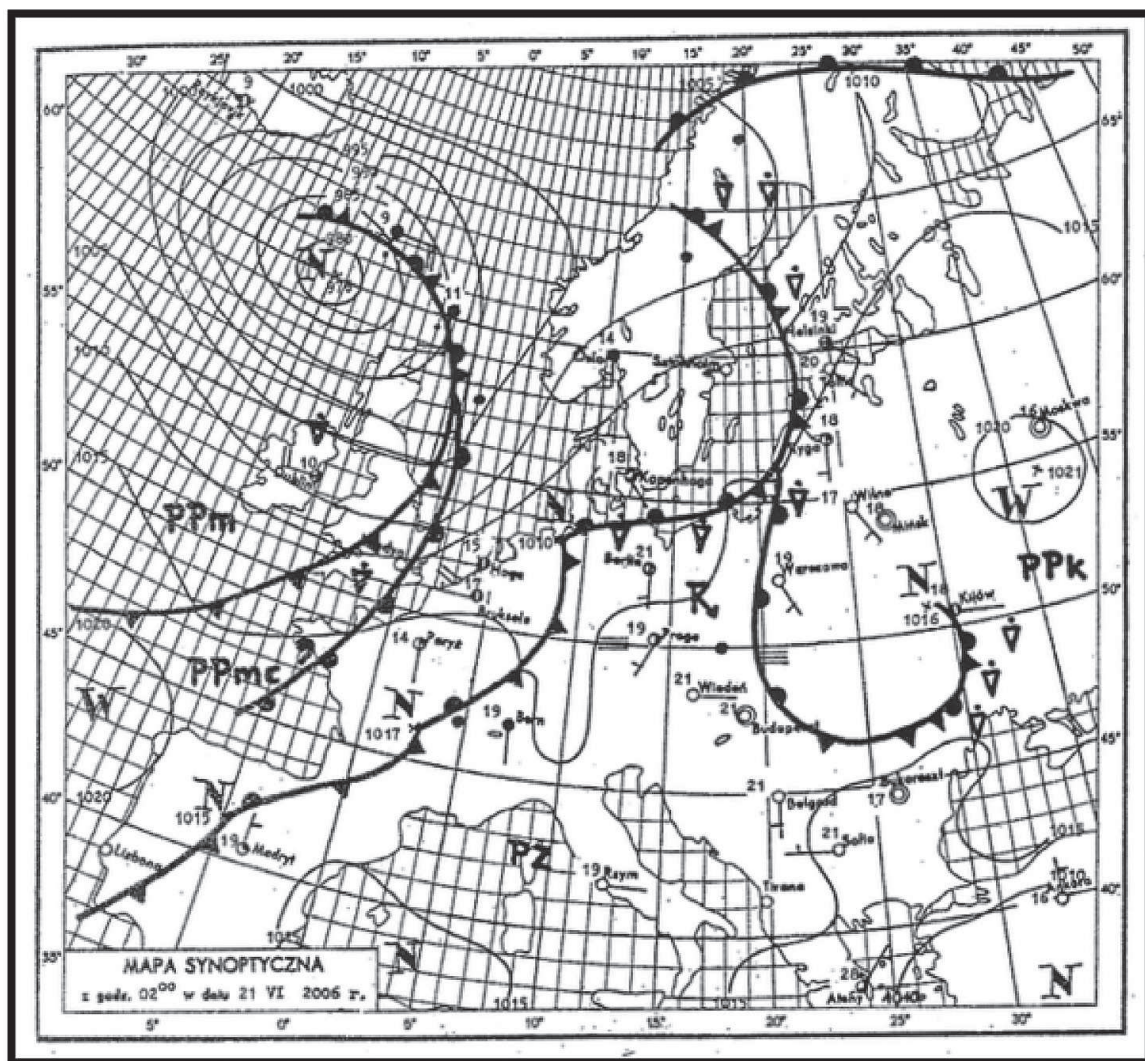
Wysokość zalegania powierzchni izobarycznej waha się od 5840 m w Europie Południowo-Zachodniej do 5420 m w Europie Północnej. Obserwuje się wyraźne odejście od równoleżnikowego przebiegu izolinii w pasie od Islandii po Europę Zachodnią oraz częściowo w rejonie Wysp Azorskich. Taki układ sugeruje występowanie chłodnej masy powietrza zlokalizowanej w rejonie Morza Północnego oraz masy cieplejszej zalegającej nad Europą Wschodnią i Północno-Wschodnią. Chłodna masa powietrza nasuwająca się z sektora zachodniego wypiera, w tym przypadku, powietrze cieplejsze zalegające nad Europą Wschodnią. Następuje turbulencyjny wznos powietrza (konwekcja), które wraz z wysokością ulega ono kondensacji, prowadząc do powstania opadów krótkotrwałych, ale intensywnych (Kossowska-Cezak, Bajkiewicz-Grabowska 2009; Woś 2009).

Analiza rozkładu wartości wskaźnika p_w na obszarze Europy wskazuje na dużą jego zmienność. Najwyższe wartości występują w rejonie Wysp Azorskich (24 kg/m^2). Najmniejsza zawartość wody opadowej odnotowana jest na północny zachód od Islandii (2 kg/m^2). Niskie wartości charakteryzują również obszar Azji Mniejszej (10 kg/m^2), północną część Półwyspu Skandynawskiego (9 kg/m^2) oraz pasmo Alp (13 kg/m^2). Zróżnicowanie tego elementu nawiązuje do przebiegu temperatury – największe zawartości wody opadowej występują na obszarach o podwyższonej temperaturze lub na tych, na które napłynęła ciepła masa powietrza. Taka sytuacja dotyczy właśnie Polski (szczególnie Polski Zachodniej) – 17 kg/m^2 . Średnia zawartość wody opadowej dla Europy Środkowej wynosi około $15/\text{kg m}^2$.

Tylko podczas opisanej średniej sytuacji synoptycznej w badanym wieloleciu opady ekstremalne w Poznaniu wystąpiły w okresie zimy.

Średni obraz sytuacji synoptycznej charakterystycznej dla pierwszej grupy dni z opadem ekstremalnym został uzupełniony wybraną mapą synoptyczną (z 21.06.2006) (ryc. 3). Opad w Poznaniu w tym dniu wyniósł 22,1 mm. Na mapie przedstawiona jest sytuacja, w której na południe od Islandii ulokowany jest głęboki niż baryczny, o ciśnieniu w centrum wynoszącym 970 hPa. Ponadto układy niżowe lokalnie występują w obrębie zachodniej części Morza Śródziemnego, a także Azji Mniejszej. Obszary podwyższonego ciśnienia znajdują się w Europie Wschodniej (Nizina Wschodnio-Europejska) oraz za zachód od Półwyspu Iberyjskiego. Nad obszar Polski z sektora zachodniego napływa masa powietrza polarno-morskiego. Nad Europą obserwuje się kilka frontów atmosferycznych. Nad obszar Polski nasuwają się dwa fronty o charakterze okluzji.

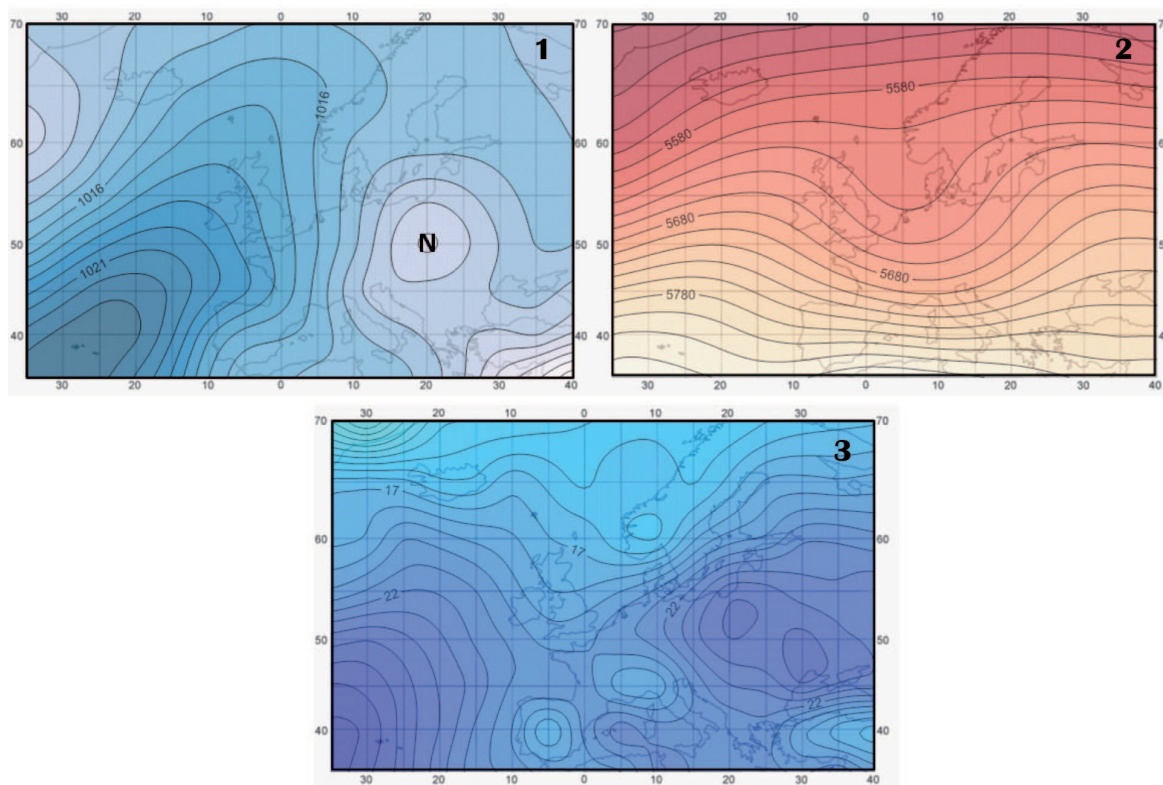
Mapy średnie dotyczące drugiej grupy dni z ekstremalnymi opadami atmosferycznymi w Poznaniu przedstawiono na rycinie 4. Rozkład średni ciśnienia atmosferycznego na poziomie morza ukazuje sytuację, w której Europa znajduje



Ryc. 3. Mapa synoptyczna z dnia 21 czerwca 2006 r. dla godziny 00 UTC
Codzienny Biuletyn Meteorologiczny IMGW

Fig. 3. The Synoptic map for 21 June 2006 at 00 UTC according to The Daily Meteorological Bulletin of The Polish Institute of Meteorology and Water Management (IMGW)

się pod wpływem rozległego klina wysokiego ciśnienia obejmującego obszar niemal całego środkowego Atlantyku od Wysp Azorskich po Morze Norweskie. W Europie Wschodniej i Środkowej dominuje układ niskiego ciśnienia. Jest to typowa sytuacja blokadowa, w której rozległy układ wysokiego ciśnienia na zachodzie prowadzi do zablokowania cyrkulacji strefowej przy jednoczesnym występowaniu centrum układu niskiego ciśnienia nad Polską Południową. Takim lub podobnemu układowi barycznemu nad Europą towarzyszą opady rozlewne charakteryzujące się znaczną długością (nawet do kilku dni) oraz dużym zasięgiem przestrzennym. Właśnie taka sytuacja przyczyniła się do powstania silnych powodzi w roku 1997 (obejmujących głównie dorzecze Odry) i 2010 w Polsce oraz w 2002 na pograniczu Niemiec i Czech, kiedy to zatopione zostało Drezno i Praga.



Ryc. 4. Rozkład wartości ciśnienia na poziomie morza (1), wysokość występowania powierzchni barycznej 500 hPa (2), rozkład zawartości wody opadowej (3) w dniach z opadami ekstremalnymi w Poznaniu

W latach 1951–2009 dla grupy 2 dni z ekstremalnymi opadami atmosferycznymi w Poznaniu

Fig. 4. Mean values of SLP (sea level pressure) (1), mean geopotentialhigh of 500 hPa (2) and mean values of precipitable water (pw) (3)

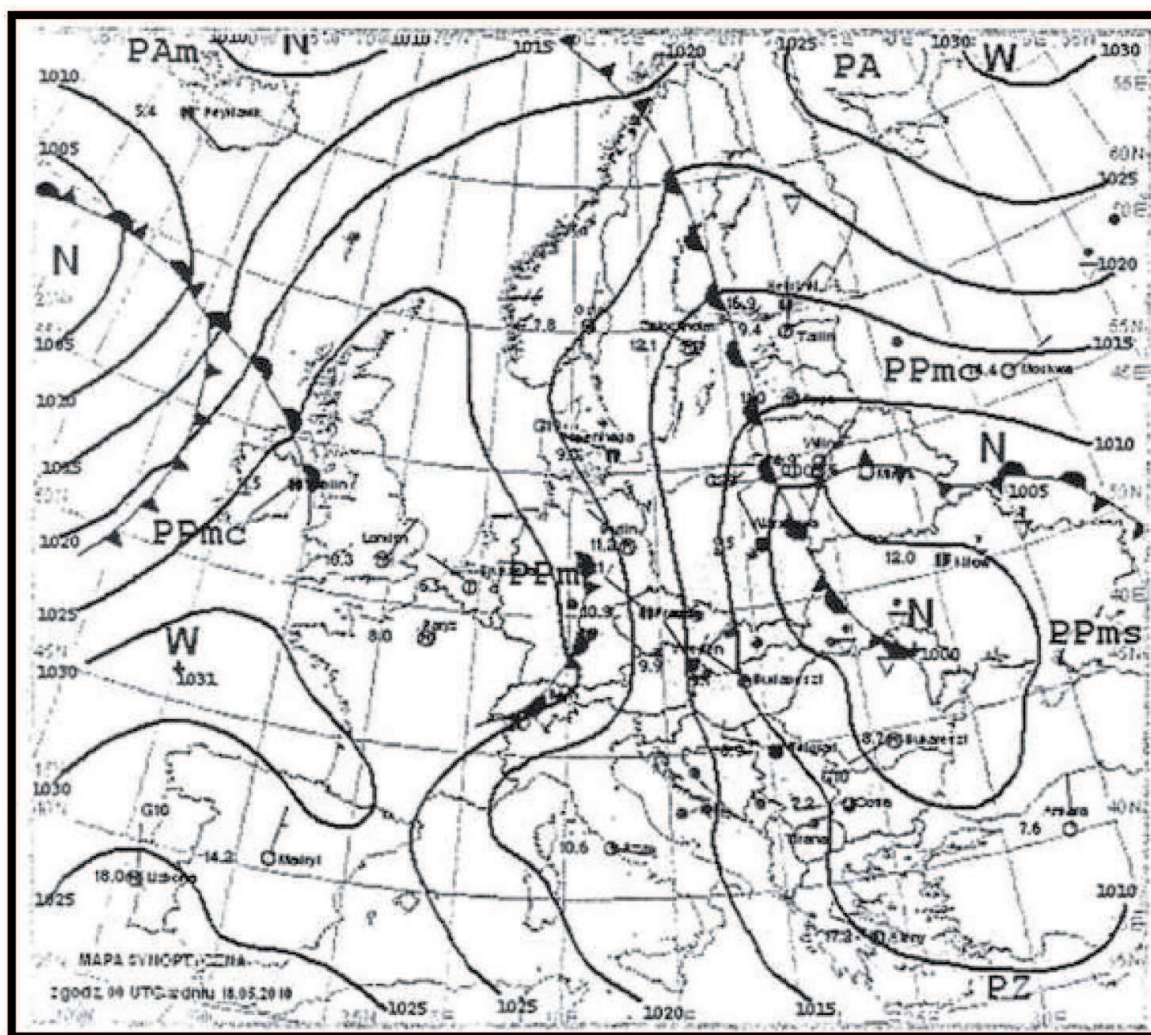
Data from the period 1951–2009 for the second group of days with extreme precipitation amount in Poznań

Obniżenie wysokości zalegania powierzchni izobarycznej 500 hPa nad obszarem Morza Północnego, Danii oraz Niemiec wskazuje na występowanie nad tym terenem masy chłodnego powietrza. Ten układ sugeruje również możliwość obecności frontu chłodnego, podobnie jak w pierwszej sytuacji synoptycznej.

Analiza rozkładu przestrzennego wskaźnika dostępnej wody opadowej (pw) świadczy o dużej jego wartości nad Europą Środkową, w tym Polską (ponad 24 kg/m²) objętą w tym czasie niżem barycznym. Mniej wody dostępnej opadowo znajduje się w atmosferze nad Europą Północną, Półwyspem Iberyjskim oraz nad obszarem Alp, (ok. 19 kg/m²).

Średni obraz sytuacji synoptycznej charakterystycznej dla drugiej grupy dni z opadem ekstremalnym został również uzupełniony wybraną mapą synoptyczną (z 18.05.2010) (ryc. 5). Opad ekstremalny w tym dniu w Poznaniu wyniósł 23,5 mm.

Przebieg izobar na mapie synoptycznej wskazuje na występowanie sytuacji blokadowych wyżu rozciągającego się w postaci klina od Półwyspu Iberyjskiego



Ryc. 5. Mapa synoptyczna z dnia 18 maja 2010 r. dla godziny 00 UTC
Codzienny Biuletyn Meteorologiczny IMGW

Fig. 5. The Synoptic map for 18 May 2010 at 00 UTC according to
The Daily Meteorological Bulletin of The Polish Institute of Meteorology and Water Management
(IMGW)

ku Morzu Norweskiemu. Ciśnienie w centrum tego ośrodka wynosi aż 1030 hPa. Ponadto, nad Europą występują dwa wyraźne układy niżowe. Pierwszy na północny zachód od Wysp Brytyjskich, z ciśnieniem w centrum na poziomie 1005 hPa, oraz rozległy ośrodek obejmujący swoim zasięgiem Europę Wschodnią (1005 hPa). Obserwuje się dwie powierzchnie frontowe: pierwszą związaną z niżem na zachodzie (front chłodny i zokludowany) oraz front zokludowany mający charakter frontu stacjonarnego. Nad obszar Polski napływa w tym czasie powietrze polarno-morskie. Sytuacja ta była przyczyną katastrofalnych powodzi, jakie miały miejsce na obszarze Polski w maju 2010 r.

Podsumowując rezultaty analizy dolnych map barycznych, wyróżniono dwie sytuacje synoptyczne, podczas których w Poznaniu występowały ekstrema

opadowe. Pierwsza związana jest z rozległym ośrodkiem niżowym w Europie Północnej, który na obszarze Polski oddziałuje w postaci zatoki niskiego ciśnienia. Układowi temu towarzyszą fronty chłodne przynoszące opady deszczu o dużej intensywności. Podczas tej sytuacji synoptycznej opady ekstremalne występowały zarówno w półroczu ciepłym, o największej ich koncentracji, jak i w półroczu chłodnym (łącznie 22 przypadki w badanym okresie) (tab. 1). Średni opad ekstremalny roczny w tej grupie wyniósł 22,37 mm, a największy średni opad wystąpił latem – 27,55 mm. Zgodnie z typologią genetyczną opadów ekstremalnych według Łupikaszy (2010), sytuacja ta klasyfikowana jest jako opady związane z frontem chłodnym (typ F_z). Zdaniem autorki są to ekstrema występujące najczęściej obok opadów wewnątrzmasowych w roku.

Drugi opisany przypadek to sytuacja z układami blokadowymi znajdującymi się na wschodzie i zachodzie Europy oraz niżem stacjonującym na obszarze Europy Środkowej. Oddziałujące między sobą ośrodki wysokiego i niskiego ciśnienia sprawiają, że podczas tej sytuacji synoptycznej powstają długotrwałe opady o znacznym zasięgu przestrzennym (opady rozlewne), będące przyczyną

Tabela 1. Wielkość opadów ekstremalnych w latach 1950–2009 w Poznaniu w wyróżnionych sytuacjach synoptycznych

Table 1. The amount of extreme precipitation in the period 1950–2009 in Poznań in distinguished synoptic situations

	Suma opadu [mm] Sum of precipitation [mm]		Udział opadów [%] Amount of participation [%]		Średni opad ekstremalny [mm] Mean extreme precipitation [mm]	
	sytuacja 1 situation 1	sytuacja 2 situation 2	sytuacja 1 situation 1	sytuacja 2 situation 2	sytuacja 1 situation 1	sytuacja 2 situation 2
Rok Year	4928,1	6166,6	44,42	55,58	22,37	24,78
Półrocze ciepłe The warm half of the year	2046,95	2892,2	41,44	58,56	25,00	24,70
Półrocze chłodne The cold half of the year	417,1	191,1	68,58	31,42	19,73	25,01
Wiosna Spring	396,6	506,6	43,91	56,09	20,17	22,57
Lato Summer	1296,85	2247	36,59	63,41	27,55	26,65
Jesień Autumn	607	329,7	64,80	35,20	21,38	24,37
Zima Winter	163,6	0	100	–	20,38	–

powodzi w dorzeczu Wisły i Odry. Średni opad ekstremalny dla tej sytuacji wynosi 24,8 mm. Opady ekstremalne tego typu nie występują w zimie, a ich sumy jesienne są znacznie niższe niż w pierwszym przypadku. Ich duża koncentracja przypada na miesiące letnie, głównie lipiec, kiedy całkowity opad ekstremalny jest dwukrotnie wyższy niż w pierwszej sytuacji. W półroczu ciepłym opadów ekstremalnych jest prawie o 20% więcej, a w półroczu chłodnym niemal o 50% mniej niż podczas pierwszej sytuacji (tab. 1, 2). Według Łupikasz (2010) są to opady związane z frontem stacjonarnym (typ Fs). Określa ona, że opady tego typu występują z największą częstotliwością obok opadów wewnątrzmasowych oraz związanych z frontem chłodnym w sezonie letnim.

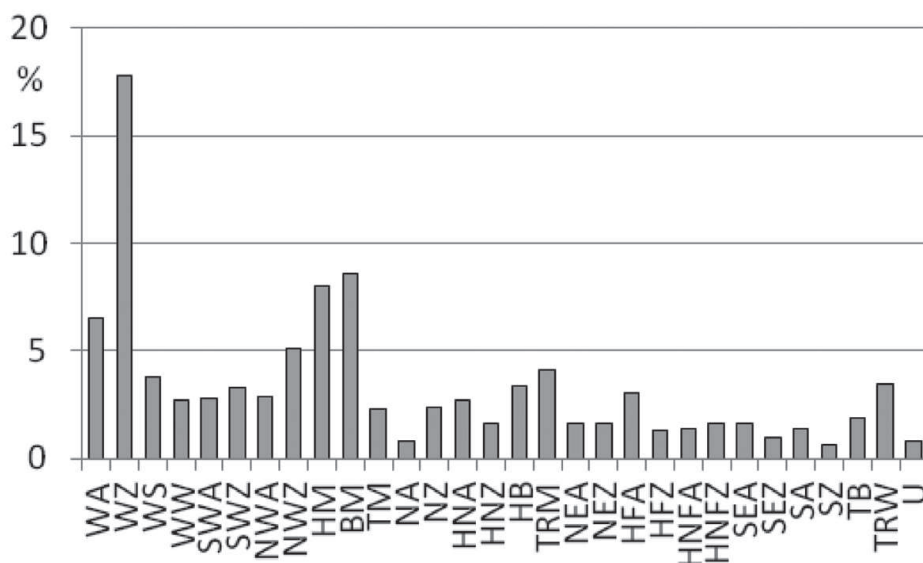
W dalszej części opracowania zbadano związek opadów ekstremalnych w Poznaniu z częstością występowania typów cyrkulacji atmosferycznej zaproponowanych przez Hessa i Brezowsky'ego (1977) (*Großwetterlagen*). W przeprowadzonej analizie wykorzystano wszystkie przypadki opadów ekstremalnych z wielolecia 1920–2000. Zbadano częstość występowania opadów ekstremalnych oraz ich łączną wielkość w każdym z typów cyrkulacji. Wyróżniono po trzy przypadki, które cechowały się największą częstością występowania ekstremów opadowych.

Najczęściej w badanym okresie odnotowano typ WZ. W całym analizowanym wieloleciu stanowił on aż 17,8% wszystkich dni (ryc. 6). Koreluje to bezpośrednio

Tabela 2. Liczba dni z wyróżnionymi sytuacjami synoptycznymi oraz sumy opadów ekstremalnych w wyróżnionych sytuacjach synoptycznych w Poznaniu w latach 1950–2009

Table 2. The number of days with distinguished synoptic situations and sums of extreme precipitation in distinguished synoptic situations in Poznań in the period 1950–2009

	Liczba dni The number of days		Udział sytuacji synoptycznych [%] Participation of synoptic situations [%]	
	sytuacja 1 situation 1	sytuacja 2 situation 2	sytuacja 1 situation 1	sytuacja 2 situation 1
Rok Year	101	118	46,11	53,88
Półrocze ciepłe The warm half of the year	79	111	41,58	58,42
Półrocze chłodne The cold half of the year	22	7	75,86	24,14
Wiosna Spring	19	22	46,34	53,66
Lato Summer	47	83	36,15	63,85
Jesień Autumn	27	13	67,5	32,5
Zima Winter	8	0	100	0



Ryc. 6. Częstość występowania poszczególnych typów cyrkulacji atmosferycznej *Grosswetterlagen* w latach 1920–2000

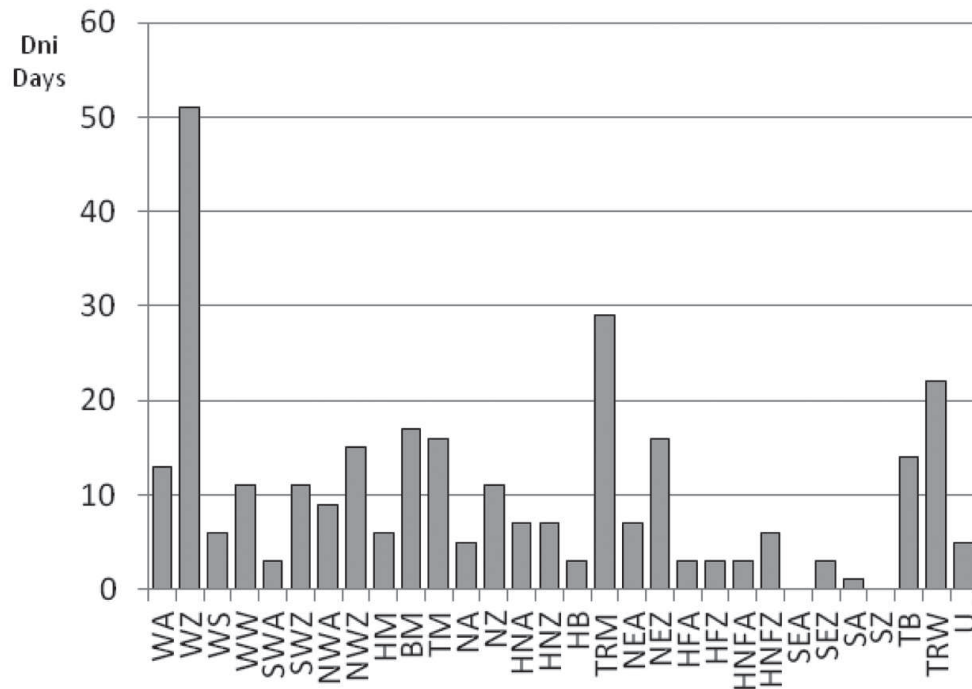
Fig. 6. The frequency of particular types of atmospheric circulation *Grosswetterlagen* in the period 1920–2000

z częstością występowania ekstremów opadowych w Poznaniu, których 13% przypadło właśnie przy tym typie cyrkulacji atmosferycznej. Duża jest częstość również typów: HM (8%), BM (8,6 %) oraz WA (6,5 %). Opady ekstremalne w Poznaniu są jednak dość rzadkie podczas trwania tych typów. Pozostałe dwa typy cyrkulacji, które miały duży udział w tworzeniu ekstremów opadowych w Poznaniu – TRM i TRW, występują z niewielką częstością w badanym wieloleciu, kolejno 4,1% i 3,5%. Trzy dominujące typy (WZ, TRM i TRW), podczas których opady ekstremalne w Poznaniu pojawiały się z największą częstością, obecne były w półroczu ciepłym, szczególnie w miesiącach wiosennych i letnich.

W latach 1920–2000 odnotowano 303 dni z opadem ekstremalnym w Poznaniu. Najwięcej z nich wystąpiło podczas trwania typu WZ, łącznie 51 takich przypadków. Dużo dni z opadem ekstremalnym wystąpiło ponadto podczas typów: TRM (29 dni), TRW (22) oraz NEZ (16). Udział procentowy trzech dominujących typów cyrkulacji WZ, TRM i TRW łącznie wyniósł 25%. Najmniej przypadków opadu ekstremalnego wystąpiło podczas typu SA. W trakcie trwania typów SZ oraz SEA nie stwierdzono ekstremów opadowych (ryc. 6).

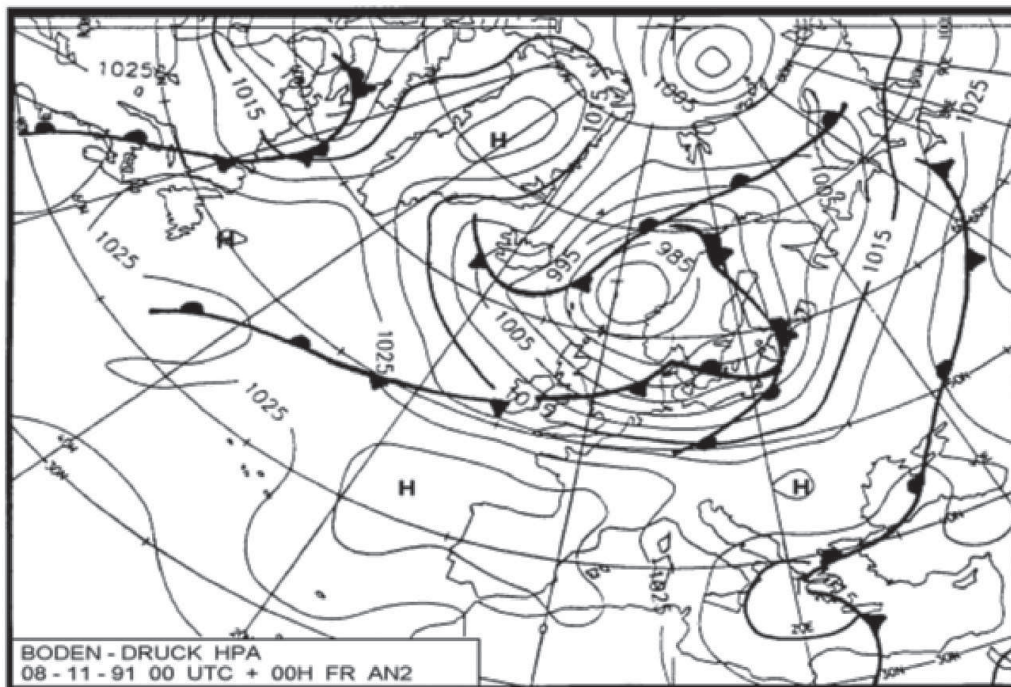
Poniżej przedstawiono mapy z typami cyrkulacji według Hessa i Brezowsky'ego charakteryzujące się największą częstością występowania opadów ekstremalnych w Poznaniu.

Typ WZ – typ zachodniej cyrkulacji cyklonalnej (ryc. 8) – odpowiedzialny jest za adwekcję mas powietrza polarno-morskiego nad obszar Europy Środkowej. Opisany typ cyrkulacji charakteryzuje się największą częstotliwością występowania w sierpniu, a najmniejszą w kwietniu.



Ryc. 7. Liczba dni z opadem ekstremalnym w Poznaniu w poszczególnych typach cyrkulacji atmosferycznej *Grosswetterlagen* w latach 1920–2000

Fig. 7. The number of days with extreme precipitation in Poznań in particular types of atmospheric circulation (*Grosswetterlagen*) in the period 1920–2000

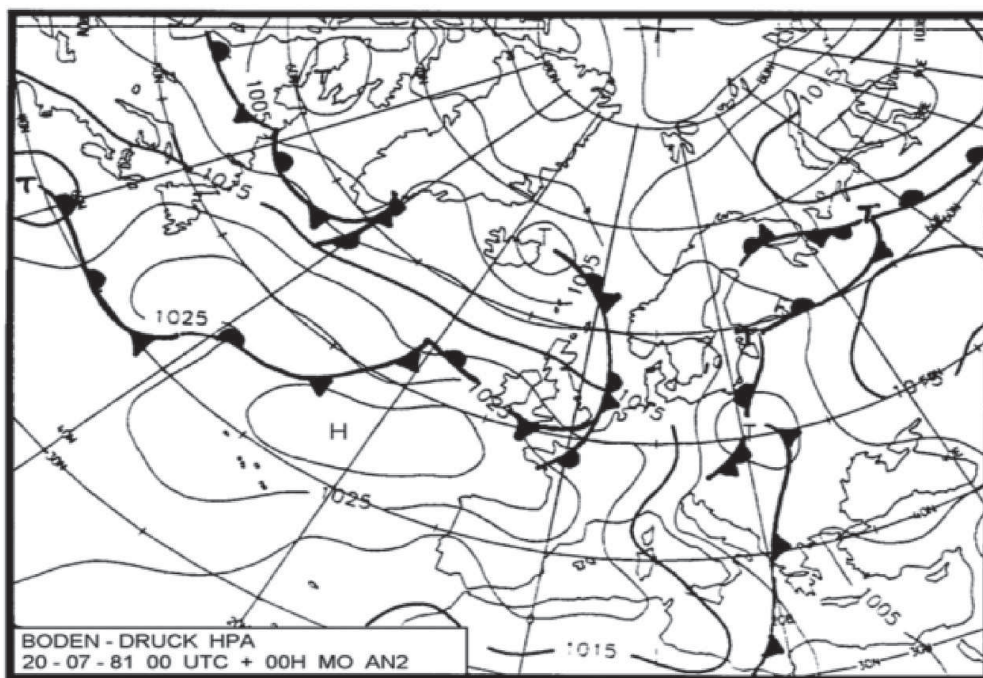


Ryc. 8. Typ WZ cyrkulacji atmosferycznej według Hessa i Brezowsky'ego (1999)
Katalog der Großwetterlagen Europas

Fig. 8. Type WZ of atmospheric circulation according to Hess and Brezowsky (1999)
Katalog der Großwetterlagen Europas

Typ TRM – typ z zatoką niskiego ciśnienia w Europie Środkowej (ryc. 9). Nad obszarem Polski znajduje się centrum niżu. Ten typ cyrkulacji osiąga największą częstotliwość w kwietniu, a najmniejszą w sierpniu.

Typ TRW – typ z zatoką niskiego ciśnienia w Europie Zachodniej. Cechą charakterystyczną dla tej sytuacji jest występowanie układów niżowych nad Atlantykiem od Półwyspu Iberyjskiego po Archipelag Svalbardu (ryc. 10). Największa częstotliwość tego typu odnotowywana jest w maju, a najmniejsza w styczniu.



Ryc. 9. Typ TRM cyrkulacji atmosferycznej według Hessa i Brezowsky'ego (1999)

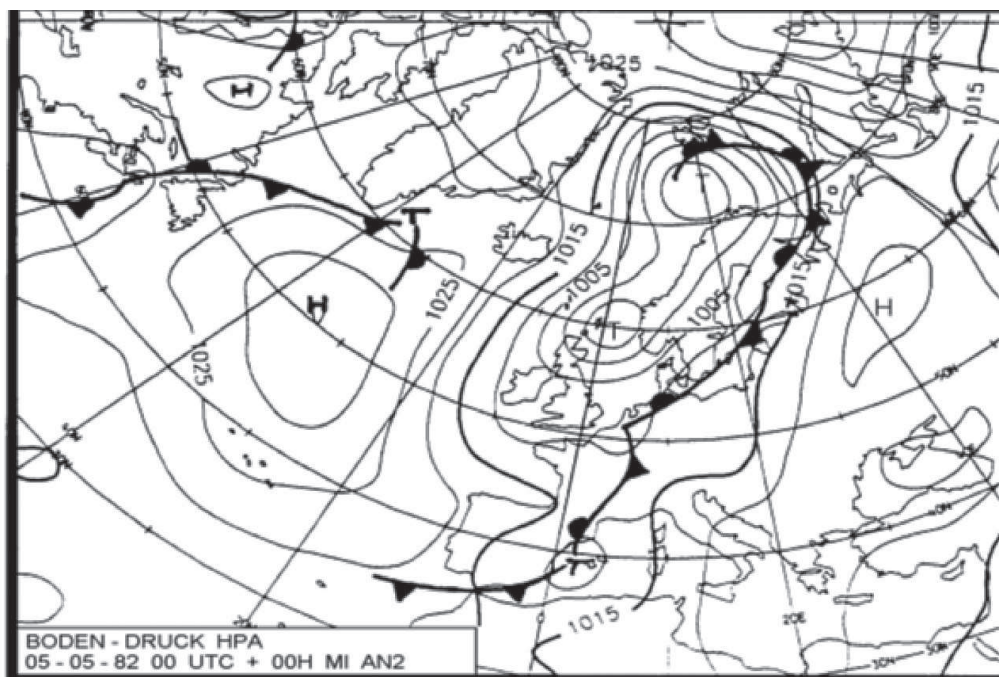
Katalog der Großwetterlagen Europas

Fig. 9. Type TRM of atmospheric circulation according to Hess and Brezowsky (1999)

Katalog der Großwetterlagen Europas

WNIOSKI

Z analizy rozkładu ciśnienia na poziomie morza nad Europą i Północnym Atlantykiem, towarzyszącego ekstremalnym opadom atmosferycznym w Poznaniu, wynika istnienie dwóch sytuacji barycznych generujących odmienne typy opadów. Są to opady występujące na froncie chłodnym, związane z układem niskiego ciśnienia na północy Europy, oraz opady powstałe na froncie stacjonarnym stymulowanym układami blokadowymi. Każda z sytuacji znacząco różni się pod względem występowania oraz wielkości opadów ekstremalnych. Opady podczas obecności nad obszarem Polski frontu stacjonarnego mają charakter opadów rozlewnych, są większe niż dla pierwszej sytuacji i praktycznie



Ryc. 10. Typ TRW cyrkulacji atmosferycznej według Hessa i Brezowsky'ego (1999)
Katalog der Großwetterlagen Europas

Fig. 10. Type TRW of atmospheric circulation according to Hess and Brezowsky (1999)
Katalog der Großwetterlagen Europas

nie występują podczas zimy. Z kolei opady związane z frontem chłodnym szybko przemieszczającym się przez obszar kraju, mają charakter nawalny i mogą występować również w chłodnej połowie roku. Oba typy zostały także wskazane w opracowaniu Łupikaszy (2010).

Zawartość wody opadowej w każdej z przedstawionych sytuacji synoptycznych była podwyższona nad Europą Środkową. Ponadto wartości wskaźnika pw były zbliżone do średnich wartości opadów ekstremalnych wyliczonych dla poszczególnych sytuacji synoptycznych; zatem wielkość opadu jest ściśle związana ze średnią dobową wartością tego wskaźnika.

Analiza częstości obecności typów cyrkulacji atmosferycznej (według dwóch różnych klasyfikacji) pozwoliła na określenie typów, które mają największy wpływ na występowanie ekstremów opadowych w Poznaniu. Uwagę zwraca fakt, że wyznaczane w ten sposób typy cyrkulacji w większości przypadków były typami cyklonalnymi, podobnie jak sytuacje wyróżnione w pierwszej części opracowania. Typy cyrkulacji atmosferycznej, podczas których odnotowano najwięcej ekstremów opadowych, w obu klasyfikacjach były do siebie podobne, a różnice między nimi wynikały bezpośrednio z większej dokładności klasyfikacji Hessa i Brezowsky'ego. Nie można jednak w pełni porównywać przedstawionych klasyfikacji z uwagi na różniące się okresy badawcze. Wysokość średniego opadu ekstremalnego podczas poszczególnych typów cyrkulacji

nie korelowała bezpośrednio z ich częstością. Z analizy prawdopodobieństwa warunkowego wystąpienia opadu ekstremalnego przy danym typie cyrkulacji wynika, iż najwyższe opady, o wysokości ≥ 30 i ≥ 40 mm, raczej nie występowały podczas dominujących typów, a były charakterystyczne dla typów o małej częstości.

LITERATURA

- Andreoli R.V. et al., 2011: *Seasonal anomalous rainfall in the central and eastern Amazon and associated anomalous oceanic and atmospheric patterns*. Internat. Journ. of Clim.
- Baranowski D., 2003: *Dynamiczne cechy klimatu Polski – dominujące typy cyrkulacji atmosferycznej*. Słupskie Pr. Geogr., Słupsk.
- Blain G.C., 2011: *Extreme daily rainfall totals observed between 1890–2009 in the weather station of Campinas, State of São Paulo, Brazil*, Statistical evaluations evaluations. Bragantia, Vol. 70, No. 3, 722–728.
- Bogdanowicz E., Stachy J., 1998: *Maksymalne opady deszczu w Polsce. Charakterystyki projektowe. Materiały badawcze IMGW*. Ser. Hydrol. i Ocean., 23, IMGW, Warszawa.
- Browning K.A., 1985: *Conceptual Models of Precipitation Systems*. The Meteorological Magazine, 1359, 114, 293–319.
- Cebulak E., Frat R., Kaczorowska R., Niedźwiedz T., Plenzler W., 1987: *Opady atmosferyczne. Maksymalne sumy opadów ulewnych*. [W:] J. Stachy (red.), *Atlas hydrologiczny Polski*. WG, Warszawa.
- Cebulak E., Niedźwiedz T., 1988: *Ekstremalne zjawiska opadowe w dorzeczu górnej Wisły w latach 1995–1996*. [W:] L. Starkel (red.), *Geomorfologiczny i sedimentologiczny zapis lokalnych ulew*. Dok. Geogr., 11.
- Chomicz K., 1951: *Ulewy i deszcze nawalne w Polsce*. Wiad. Służby Hydrol. i Meteorol., 6, 5, 207–215.
- Dai A., 2001: *Global Precipitation and Thunderstorm Frequencies*. Part II: *Diurnal Variations*. Journ. of Climate, 14, 1112–1128.
- Hess P., Brezowsky H., 1977: *Katalog der Grosswetterlagen Europas 1881–1976*, 3. verbesserte und ergänzte Aufl. Berichte des Deutschen Wetterdienstes 113. Offenbach am Main.
- Kaczmarek Z., 1970: *Metody statystyczne w hydrologii i meteorologii*. Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S., White G., Woollen J., Zhu Y., Leetmaa A., Reynolds R., Chelliah M., Ebisuzaki W., Higgins W., Janowiak J., Mo K.C., Ropelewski C., Wang J., Jenne R., Joseph D., 1996: *The NMC/NCAR 40-Year Reanalysis Project*. Bull. Amer. Meteorol. Soc., 77, 437–471.
- Karwowski A., 1963. *Opady o większym stopniu wydajności występujące w Polsce w okresie 1954–1958*. Pr. PIHM, 77, 1–84.
- Kenyon J., Hegerl G.C., 2010: *Influence of Modes of Climate Variability on Global Precipitation Extremes*. Journ. Climate, 23, 6248–6262.
- Kirschenstein M., 2001: *Charakterystyka częstości występowania wysokich dobowych sum opadów w zależności od typów cyrkulacji atmosferycznej na obszarze północno-zachodniej Polski i ich uwarunkowania*. Pr. i Stud. Geogr., Wydz. Geogr. i Stud. Reg. UW, t. 29.
- Kirschenstein M., 2002: *Opady a typy cyrkulacji atmosferycznej w północno-zachodniej Polsce*. Bad. Fizjogr. nad Polską Zach., Ser. A – Geogr. Fiz., t. 53.
- Kossowska-Cezak U., Mrugała S., 1999: *Opady atmosferyczne o anomalnej wysokości (na przykładzie Warszawy i Lublina)*. Przegl. Geofiz., t. 44, z. 1–2.
- Li J., Dong W., Yan Z., 2012: *Changes of climate extremes of temperature and precipitation in*

- summer in eastern China associated with changes in atmospheric circulation in East Asia during 1960–2008*. Chinese Science Bull.
- Lityński J., 1969: *Liczbowa klasyfikacja typów cyrkulacji i typów pogody dla Polski*. [Numerical classification of circulation and weather types for Poland]. Pr. PIHM, z. 97, 3–14.
- Lorenc H., 1978: *Opady nawalne i ulewne na obszarze Wielkiej Warszawy*. Przegł. Geofiz., z. 4.
- Lorenc H., 1998: *Przyczyny, wielkość i skutki katastrofalnych opadów w lipcu 1997 w Polsce*. Przegł. Geofiz., t. XLIII, z. 3–4.
- Łupikasza E., 2007: *Wieloletnia zmienność występowania ekstremów opadowych w Hornsundzie (Spitsbergen) i ich związek z cyrkulacją atmosfery*. Probl. Klimatol. Polarnej, 17, 87–103.
- Łupikasza E., 2010: *Klimat Polski na tle klimatu Europy. Warunki termiczne i opadowe*. [W:] E. Bednorz (red.), *Genetyczne typy opadów ekstremalnych w sezonie letnim w Polsce oraz ich zmienność wieloletnia w okresie 1951–2007*. Wyd. Nauk. Bogucki, Poznań.
- Mrugała S., 2000/2001: *Częstość występowania typów cyrkulacji atmosferycznej a anomalie opadowe w Polsce*. Ann. UMCS, Sec. B, VOL. 30.
- Mrugała S., 2001: *Opady atmosferyczne o normalnej i anormalnej wysokości na obszarze Polski (1951–1990)*. Wyd. UMCS, Lublin.
- Niedźwiedz T., 1989: *Heavy Rainfalls in Cracow*. Zesz. Nauk. UJ, Pr. Geogr., 75, 11–22.
- Niedźwiedz T., 2013: *Kalendarz typów cyrkulacji atmosfery dla Polski południowej – zbiór komputerowy*. Uniw. Śląski, Kat. Klimatol., Sosnowiec.
- Osuchowska-Klein B., 1978: *Katalog typów cyrkulacji atmosferycznej (1901–1975)*. Wyd. Komun. i Łącz., Warszawa.
- Pfhal S., Wernili H., 2011: *Spatial coherency of extreme weather events in Germany and Switzerland*. Internat. Journ. of Climatol.
- Sevruk B., Geiger H., 1981: *Selection of Distribution Types for Extremes of Precipitation*. Operat. Hydrol., Report 15, WMO, Geneva.
- Świątek M., 2000/2001: *Związki między częstością występowania poszczególnych typów cyrkulacji atmosferycznej a liczbą dni z opadem silnym na polskim wybrzeżu*. Ann. Univ. Marie Curie-Skłodowska, Vol. LV/LV1.
- Tramblay Y. et al., 2012: *Extreme value modelling of daily areal rainfall over Mediterranean catchments in a changing climate*. Hydrol. Process.
- Twardosż R., 1997: *Ekstremalne sumy dobowe opadów w Krakowie*. [W:] *Ekstremalne zjawiska meteorologiczne, hydrologiczne i oceanograficzne*. Symp. Jubil. PTGeof., Warszawa.

INFLUENCE OF ATMOSPHERIC CIRCULATION ON APPEARANCE OF EXTREME PRECIPITATION IN POZNAŃ (POLAND) IN THE PERIOD 1920–2010

Summary

An analysis of the distribution of MSLP (Mean sea level pressure) over Europe and the North Atlantic accompanying extreme precipitation in Poznań revealed the existence of two barometric situations generating different types of precipitation. These are rainfall occurring on a cold front associated with a low pressure system in northern Europe and rainfall arising on a stationary front connected with a low-pressure system. Each of these situations vary significantly in terms of the occurrence and scale of the resulting extreme precipitation. Rainfall

associated with a stationary front over Poland is expansive, greater than in the first situation and doesn't occur during winter. In turn, rainfall associated with a fast moving cold front are intensive and can also occur during the colder half of the year. Both types were also indicated in the study by Łupikasza (2010).

The amount of PW in each of the described situations is higher over the area of Central Europe. In addition, the PW indicator was close to the mean value for extreme precipitation calculated for each barometric situation; whereas the amount of precipitation is closely connected with the average daily value for this indicator.

An analysis of the frequency of the occurrence of types of atmospheric circulation (according to two different classifications), made it possible to identify the types that have the greatest influence on the occurrence of extreme precipitation in Poznań. One fact stands out, that the circulation types identified in this manner were, in most cases, cyclonic, similar to the situation identified in the first part of the research. The types of circulation during which the greatest number of extreme precipitations took place were similar in both classifications, and the differences resulted directly from the greater accuracy of the Hessa and Brezowsky classification. However, the classifications cannot be compared in full due to the differences in the research periods. The average level of extreme precipitation during particular types of circulation are not directly correlated with their frequency. As the analysis revealed, the likely occurrence of extreme precipitation for a given circulation type, the highest with a value of ≥ 30 mm and ≥ 40 mm tended not to occur under the dominant types, but was more typical of less frequent varieties.