

Zuzanna Bielec-Bąkowska



**Silne wyżej nad Europą
(1951—2010)**



WYDAWNICTWO
UNIwersytetu ŚLĄSKIEGO
KATOWICE 2014

Silne wyżej nad Europą
(1951—2010)



NR 3135

Zuzanna Bielec-Bąkowska

**Silne wyże nad Europą
(1951—2010)**

Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego • Katowice 2014

Redaktor serii: Nauki o Ziemi
Andrzej T. Jankowski

Recenzenci
Ewa Bednorz
Joanna Wibig

Badania zostały przeprowadzone w ramach projektu badawczego nr N N306 047939
finansowanego przez
Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego — Narodowe Centrum Nauki

1. Wprowadzenie

W ostatnich latach klimat i jego zmiany stały się jednym z ważnych elementów dyskusji nie tylko naukowych, ale również politycznych i gospodarczych. Dzięki mediom większość mieszkańców naszej planety zrozumiała, jakie znaczenie ma ten element systemu przyrodniczego, co uwarściwiło ją na bardziej świadome korzystanie z naturalnych zasobów środowiska. Jednym z elementów kampanii ekologicznych jest zwrócenie uwagi na znaczące zmiany klimatu, jakie zachodzą w ostatnich dekadach, i na ich wpływ na dalsze losy Ziemi oraz życie i działalność człowieka.

Wpływ zmian klimatu na inne elementy środowiska i aktywność człowieka jest bardzo różnorodny. Zależy m.in. od relacji zachodzących między poszczególnymi komponentami systemu przyrodniczego, wielkości i kierunku zmian, od regionu, w którym się pojawiają, i jego wielkości czy też od trwałości zmiany. Bardzo ważne jest także to, czy zmiana dotyczy wartości średnich, czy istotnych charakterystyk elementów klimatu (wartości ekstremalnych, zakresu zmian, częstości występowania itp.). Z oczywistych przyczyn dotychczasowa uwaga była bardziej skupiona na zmianach wartości średnich, zarówno dobowych czy sezonowych, jak i rocznych (Adams i in. 1990). Wynikało to z postrzegania klimatu jako dość „stabilnego” systemu, który zmienia się bardzo powoli (z perspektywy życia człowieka), z dotychczasowych możliwości adaptacyjnych i w dużym stopniu z uniezależnienia się warunków środowiska. Jednak od pewnego czasu obserwujemy, co prawda zachodzące stopniowo, ale znaczące zmiany klimatyczne. Jednocześnie wraz z rozwojem techniki oraz zmianą naszego trybu życia wzrosła wrażliwość człowieka i jego działalności na warunki pogodowe. W szczególności dotyczy to występowania ekstremalnych zdarzeń klimatycznych (Katz i Brown 1992; Huth i in. 2000). Ich zwiększona częstość wywiera olbrzymi wpływ zarówno na ekosystemy, jak i na życie całych społeczeństw. Największe znaczenie mają zdarzenia charakteryzujące się znaczną długotrwałością. Do najważniejszych należy zaliczyć: fale upałów (wywołujące silny stres cieplny roślin, zwierząt i ludzi), susze i niską wilgotność gleb lub też znaczne opady, będące przyczyną licznych powodzi czy osunięć ziemi. Nie mniej groźne są również zdarzenia krótkotrwałe, takie jak: silny wiatr, burze, tornada czy nagłe i duże zmiany

temperatury. Jednak ten rodzaj zjawisk, mimo znaczących szkód, jakie może spowodować, charakteryzuje ogromna zmienność przestrzenna i zwykle dotyczy ograniczonego obszaru. Najczęściej efekty występowania tych i innych zdarzeń klimatycznych odciskają swoje piętno nie tylko na środowisku naturalnym (w tym zaburzenia cyklu hydrologicznego i obiegu węgla), ale przede wszystkim na naszym codziennym życiu i gospodarce (Changnon 1979; Wigley 1985; Cornford 2002; Trepińska i in. 2006; Llasat-Botija i in. 2007). Należą do nich m.in.: nadumieralność spowodowana wysoką lub bardzo niską temperaturą czy też gwałtownymi zmianami wartości elementów meteorologicznych (ciśnienia, temperatury, prędkości wiatru), zaburzenia w zaopatrzeniu w wodę, spadek plonów i straty w hodowli, pożary lasów, uszkodzenia sieci przesyłowych, zakłócenia komunikacyjne i w przesyłaniu informacji oraz rozprzestrzenianie się chorób (WHO 2003; Fuhrer i in. 2006). Opisywane zdarzenia i ich skutki występowały zawsze, jednak od końca ubiegłego wieku ich częstość niebezpiecznie wzrasta i coraz częściej obejmują one nowe regiony świata (IPCC 2001, 2007; Baldi i in. 2006a i b). Oprócz częstości wzrasta również intensywność i długość zdarzeń ekstremalnych oraz pojawiają się zdarzenia przeciwnych (np. susz i powodzi, fali upałów i mrozów). Jest to szczególnie dobrze widoczne w wyższych szerokościach geograficznych (Easterling i in. 2000) i często związane z zauważalnym wzrostem trwałości charakterystycznych typów cyrkulacji (Kyselý i Domonkos 2006).

W wielu przypadkach wystąpienie wspomnianych zdarzeń klimatycznych związane jest z pojawieniem się nad badanym obszarem układów wysokiego ciśnienia. Dotyczy to w szczególności wyjątkowo silnych wyżów oraz sytuacji blokujących. Wyże te w sposób pośredni lub bezpośredni kształtują warunki meteorologiczne danego regionu. Najbardziej odczuwalnym efektem powstania i długotrwałego utrzymywania się takich układów są fale ciepła lub mrozów. W ostatnich latach, w związku z wystąpieniem dwóch bardzo gorących okresów letnich w latach 2003 i 2006 (Rebetez i in. 2009; Twardosz 2009), zainteresowanie tymi zdarzeniami wzrosło znacząco. Przeprowadzone badania wykazują, że po mniejszej liczbie fal ciepła występujących w Europie w latach 1961—1980 częstość ich pojawiania się zwiększyła się na całym kontynencie (nawet trzykrotnie), a podobne tendencje obserwowane są w wielu miejscach na świecie (Kunkel i in. 1996; Fink i in. 2004; Baldi i in. 2006a i b; Koźmiński i Michalska 2010; Pezza i in. 2012; Shevchenko i in. 2013). Jednocześnie zauważa się wzrost ich zasięgu przestrzennego oraz intensywności (Meehl i Tebaldi 2004; Kyselý 2002; Shevchenko i in. 2013). Ponadto fale upałów stają się coraz dłuższe. W XX w. w Europie zwykle trwały one około tygodnia, natomiast od lat 90. minionego wieku liczba zdarzeń liczących ponad 12 dni wyraźnie wzrosła, a najdłuższe z nich (w latach 1992 i 1994) trwały nawet ponad 22 dni (Kyselý i in. 2000; Kyselý 2002). Z falami upałów związany jest nie tylko wzrost temperatury (często do ponad 40°C), ale także bardzo duże usłonecznienie (ponad 900 godz. w południowej Europie w lecie 2003 r.), znaczący deficyt opadów i występowanie susz (Namias 1964; Chang i Wallace 1987; Wibig 1994; Szinell i in. 1998; Trigo i DaCamara 2000; Baldi i in. 2006b; Fink i in. 2004; Della-Marta i in. 2007). W przypadkach najbardziej intensywnych fal upałów odczucia ciepłne potęgu-

je częste występowanie temperatury maksymalnej wyższej niż 30°C oraz tzw. nocy tropikalnych ($T_{\min.} \geq 20^{\circ}\text{C}$). Wszystkie wymienione czynniki stanowią bardzo poważne zagrożenie zdrowia i życia człowieka. Dotyczy to w szczególności ludzi starszych i dzieci poniżej 4 roku życia oraz mieszkańców dużych miast (WHO 2003; Kozłowska-Szczęсна i in. 2004; Błażejczyk i McGregor 2007). Związane jest to nie tylko ze stresem termicznym, ale także z dużym usłonecznieniem, parnością oraz zanieczyszczeniem powietrza. Przykładem takich zdarzeń są wymieniona już fala ciepła w 2003 r., która pochłonęła w Europie ponad 35 tys. ofiar śmiertelnych, wywołała liczne pożary lasów (ponad 500 tys. ha na Półwyspie Iberyjskim), spadek produkcji paszy i straty ekonomiczne przekraczające 13 mld EUR (Fink i in. 2004; Feudale i Shukla 2011a i b), czy też fala upałów, jaka nawiedziła Stany Zjednoczone w 1995 r. (w centralnej części kraju temperatura przekraczała 42°C), która spowodowała liczne ofiary śmiertelne aż w 19 stanach, a miejska wyspa ciepła w Chicago spotęgowała wzrost temperatury o kolejne 3°C (Kunkel i in. 1996).

Uciążliwe może być również występowanie silnych i trwałych układów wysokiego ciśnienia w okresie chłodnym. Pojawiającym się w tym czasie falom chłodu, związanym ze znaczącym i często gwałtownym spadkiem temperatury, towarzyszą intensywne zjawiska lodowe oraz wymarzenie wielu upraw i uszkodzenia drzew (głównie wiosną, zwłaszcza gdy rośliny nie są chronione grubą pokrywą śnieżną; Malkin i Holzworth 1953). Przykładem takich zdarzeń może być jeden z najsilniejszych wyżów, jaki wystąpił na półkuli północnej (1063 hPa) w styczniu 2008 r. Układ ten rozbudował się nad północno-zachodnią Rosją i swoim zasięgiem objął także Polskę i Skandynawię, powodując długotrwały spadek temperatury nawet do -25°C (Burt 2008). Dobrze opisane w literaturze są również fale chłodu występujące często w Ameryce Północnej. W tych przypadkach rozległy wyż najczęściej przemieszcza się nad kontynentem z północnego zachodu na południe i wymusza adwekcję powietrza znad Arktyki, które może dotrzeć aż nad Florydę. Skutkiem takich warunków pogodowych jest wymarzenie owoców cytrusowych, winorośli, a także szkody w hodowli bydła, w rybołówstwie oraz uprawach zbóż i warzyw (Rogers i Rohli 1991; White i in. 2006). Liczne straty występują także w innych dziedzinach działalności gospodarczej i w Stanach Zjednoczonych w sumie sięgają nawet około 40% przeciętnych kosztów zimowego utrzymania w gospodarstwach domowych i infrastruktury państwowej (Changnon 1979). Utrudnienia pojawiają się również w dostawach wody pitnej i energii czy na drogach i lotniskach (Schmidlin 1993). Jednakże zamrożone jeziora oraz trwała pokrywa śnieżna powodują wzrost turystyki zimowej, wymarzenie szkodników, a także późniejszy spadek zachorowań w efekcie wyginięcia zwiększonej liczby wirusów i bakterii.

Należy również pamiętać o pośrednim efekcie oddziaływania antycyklonów na pogodę. W ostatnich dekadach najbardziej widoczny jest wzrost częstości układów blokujących nad Europą i ich wpływ na spadek liczby układów niskiego ciśnienia na południe od 55°N (Leckebusch i Ulbrich 2004; Leckebusch i in. 2008). Zmieniają się także ich trasy i intensywność. Wyraźnie zauważalne staje się przesunięcie tras cyklonów bardziej ku północy, co sprawia, że omijają Europę Wschodnią i Środkową. Jednocześnie nad Bałtykiem coraz częściej powstają, co prawda słabsze, ale

przemieszczające się dalej na wschód, układy niżowe (Trigo 2006; Bartholy i in. 2006; Bielec-Bąkowska 2010c). Sytuacje blokujące lub też zmiana typowego położenia układów antycyklonalnych występujących w danym regionie często prowadzi do zmian w lokalnej cyrkulacji w regionach sąsiednich. Dotyczy to m.in. zmian lokalizacji cyklonów i ich intensyfikacji w wyniku przesunięcia nad ciepły ocean lub przeszkody orograficzne, czego efektem są intensywne opady, porywiste wiatry czy nawet powodzie (Grela i in. 1999; Federico i Bellecci 2006), które w raportach WMO (*World Meteorological Organization*) uważane są za najgroźniejsze katastrofy naturalne pod względem szkód, jakie powodują (Cornford 2002; Berz 2005). Takie telekoneksje są również widoczne w przypadku innych elementów meteorologicznych, takich jak kształtowanie się pola temperatury czy przepływu strefowego (Wibig 1994; Kłysik 1995; Kłysik i Sazonov 1996; Croci-Maspoli i in. 2007).

Ten krótki przegląd wybranych zdarzeń klimatycznych pokazuje, jak ważne w dzisiejszych czasach jest poznanie współczesnych zmian klimatu i ich prognoz na dalsze dziesięciolecie. Z wiedzy tej można korzystać, by zapobiegać zmianom, za które odpowiada człowiek, i jednocześnie w celu adaptacji do tych, zwykle związanych z czynnikami naturalnymi, które są już nieuchronne (m.in. przez zmiany rodzajów upraw, adaptacji urządzeń inżynierskich oraz budynków do zmienionych warunków pogodowych czy właściwą profilaktykę zdrowotną w społeczeństwie). W szczególności odnosi się to do występowania zdarzeń ekstremalnych, które należą do najtrudniejszych zagadnień badawczych w klimatologii i najtrudniejszych elementów prognoz meteorologicznych. Ze względu na znaczenie cyrkulacji, która determinuje występowanie bardzo wielu zdarzeń pogodowych, dalszych i bardzo szczegółowych badań wymagają przede wszystkim zmiany cyrkulacji atmosferycznej, zarówno w skali globalnej, jak i lokalnej oraz tak w ujęciu całościowym, jak i zmian poszczególnych jej elementów.

1.1. Układy wysokiego ciśnienia jako ważny element cyrkulacji atmosfery

Cyrkulacja atmosfery to, oprócz dopływu promieniowania słonecznego, najważniejszy czynnik kształtujący klimat poszczególnych obszarów Ziemi. Podobne stwierdzenia znajdziemy w większości podręczników poświęconych meteorologii i klimatologii oraz w wielu pracach opisujących cyrkulację atmosfery na kuli ziemskiej. I chociaż cyrkulacja rozumiana jako *system makroskalowych prądów powietrznych w skali całej planety, półkuli lub kontynentu* (Niedźwiedz 2003a) jest już dość dobrze poznana, to nadal pozostaje skomplikowanym systemem, którego mechanizm działania kryje jeszcze wiele niewyjaśnionych procesów. Taki charakter cyrkulacji jest wynikiem wspólnego oddziaływania na atmosferę wielu elementów środowiska przyrodniczego. Powoduje to również jej bardzo dużą zmienność zarówno czasową, jak i przestrzenną. Pewnym odzwierciedleniem cyrkulacji atmosferycznej jest prze-

strzenny rozkład pola ciśnienia oraz związanych z nim elementów meteorologicznych uśrednionych w czasie i przestrzeni (Ustrnul 1997). Jednak bardzo trudno byłoby się doszukać takiego rozkładu występującego w jakimś konkretnym dniu (Chromow 1969). Nawet w klasycznych opracowaniach klimatologicznych zwykle schemat cyrkulacji przedstawia się przynajmniej dla dwóch miesięcy (stycznia i lipca) reprezentujących skrajne położenie Ziemi wobec Słońca.

Badania poświęcone cyrkulacji atmosfery są bardzo liczne i dotyczą różnorodnych zagadnień (np. zmienności czasowej i przestrzennej), związków (np. z warunkami pogodowymi, z antropopresją) i elementów tego systemu (m.in.: układów barycznych, prądów strumieniowych, stref i komórek cyrkulacyjnych). Jednym z nich jest występowanie układów wysokiego ciśnienia. Jest to chyba najslabiej opisany element cyrkulacji atmosfery. Można się o tym przekonać, przeglądając monografie i podręczniki oraz publikacje dotyczące zagadnień klimatologicznych. Ilość miejsca czy też liczba prac poświęconych wyżom jest w nich wielokrotnie mniejsza niż w przypadku układów niskiego ciśnienia (Zwieriew 1965; Chromow 1969; Crowe 1987; Degirmendżić 1998; Barry i Carleton 2001). Ten brak większego zainteresowania występowaniem obszarów o wyższym ciśnieniu zauważalny jest już od początków badań nad cyrkulacją atmosferyczną. Po wynalezieniu barometru przez Torricellego w 1643 r. rozpoczęła się era pomiarów ciśnienia i poznawania praw rządzących jego zmianami w czasie i przestrzeni. Pomiary te były prowadzone głównie w stałych punktach pomiarowych (często związanych z obserwatoriami astronomicznymi), które od 1654 r. zaczęły tworzyć sieci obserwatoriów meteorologicznych (np. Sieć Florentyńska, Pałatyńska czy Sieć Towarzystwa Królewskiego; Trepieńska 1997, 2007; Sorbian 2004). Bardzo ważne były także badania wykonywane podczas podróży morskich, które przyczyniły się m.in. do sformułowania przez Halleya (w drugiej połowie XVII w.) teorii powstawania pasatów (Sorbian 2004). W ciągu kolejnych dwustu lat powstawały pierwsze schematy ogólnej cyrkulacji atmosfery (Hadleya czy Maury'ego). Opisywano w nich przede wszystkim ogólny rozkład wiatrów na kuli ziemskiej oraz wspomniano o strefach wyższego lub niższego ciśnienia. Dzięki wynalezieniu telegrafu (1837) możliwe stało się szybkie zbieranie danych meteorologicznych, na podstawie których zaczęto kreślić pierwsze mapy synoptyczne i zapoczątkowano rozwój prognoz pogody. W ten sposób na mapach możliwa była identyfikacja różnych układów barycznych, w tym niżów i wyżów. Po raz pierwszy wyż jako *układ zamkniętych izobar obejmujących obszar wysokiego ciśnienia* określił Galton w 1863 r. (za: Crowe 1987). Wyże widniały już także na pierwszych mapach średniego rozkładu ciśnienia wykreślonych przez Buchana w 1869 r., a Teisserenc de Bort (1883) główne układy wyżowe i niżowe nazwał *centrami działania atmosfery* (*centers of actions*; Barry i Carleton 2001). Wydaje się zatem, że wyże są równie interesujące, jak szeroko opisywane układy niskiego ciśnienia. Jednak nawet Shaw (brytyjski meteorolog) i współczesny mu Bjerknes (w pierwszej połowie XX w.) bardziej skupiali się na ruchu powietrza i wiązali go przede wszystkim z układami niskiego ciśnienia niż na *antycyklonach*. Sam William Napier Shaw wyże traktował jako „obszary gromadzenia się powietrza”, które w wyniku ruchu atmosfery napłynęły do tego miejsca i niejako oczekuje na kolejną możliwość zmia-

ny położenia (za: Crowe 1987). Dopiero rozwój lotnictwa, odkrycie prądów strumieniowych i coraz bardziej szczegółowe badania atmosfery pozwoliły na stworzenie pełniejszego obrazu cyrkulacji powietrza na Ziemi oraz powstawania i występowania układów wysokiego ciśnienia (Wexler 1937). Wyróżniono wyżej „dynamiczne” i „termiczne”, podzielono je na „chłodne” i „ciepłe”, określono ich zasięg pionowy oraz związki z innymi elementami meteorologicznymi.

Dynamiczny rozwój badań poświęconych powstawaniu i występowaniu antycyklonów zapoczątkowany został w drugiej połowie XX w., a ze względu na zachodzące zmiany klimatu w ostatnich latach zagadnienia te są szczególnie wnikliwie opisywane. Duża liczba powstałych prac dotyczy ogólnego rozkładu ciśnienia i jego zmienności oraz występowania obu rodzajów układów barycznych (Zishka i Smith 1980; Sahsamanoğlu 1990; Ceppa i Colucci 1989; Pezza i Ambrizzi 2003; Pezza i in. 2007). Jednak dominacja badań dotyczących cyklonów spowodowała, że analiza występowania i prognozowania występowania antycyklonów (z wykorzystaniem modeli meteorologicznych) bardzo często jest obciążona znaczącymi błędami. Dotyczą one przede wszystkim ich intensywności, tras i szybkości przemieszczania się oraz trwałości układów (Colucci i Bosart 1979; Grumm i Gyakum 1986; Hawes i Colucci 1986; Ceppa i Colucci 1989; Donohoe i Battisti 2009).

Wśród opracowań dotyczących głównie antycyklonów wyróżniają się badania genezy oraz zmian występowania układów wysokiego ciśnienia zaliczanych do stałych elementów cyrkulacji. Ich rozwój jest związany z różnymi procesami termodynamicznymi, spośród których najbardziej znane to osiadanie powietrza oraz radiacyjne wychładzanie w dolnych warstwach troposfery, szczególnie istotne w okresie zimowym (Curry 1987; Hoskins 1996; Panagiotopoulos i in. 2005; Jones i Cohen 2011). W lecie na powstawanie opisywanych ośrodków barycznych dominujący wpływ ma występowanie stacjonarnych fal Rossby’ego i ich związek z istnieniem wielkoskalowego źródła ciepła nad Azją (Chen i in. 2001). Zauważalny jest też wpływ temperatury powierzchni oceanów, szczególnie w obszarach zimnych prądów morskich u zachodnich wybrzeży kontynentów (Miyasaka i Nakamura 2005, 2010). Temperatura powierzchni oceanów wpływa na powstawanie oraz na położenie wyżów, chociaż jej oddziaływanie jest słabsze na półkuli północnej niż południowej. Tworzenie się antycyklonów wyraźnie wzmacnia również występowanie różnicy temperatury między lądem a oceanem (Shabbar i in. 2001; Seager i in. 2003). Wszystkie te czynniki powodują, że występowanie i położenie układów wysokiego ciśnienia zmieniają się nie tylko w wieloletniu i w ciągu roku, ale zmianie ulega również ich zasięg pionowy. Bardzo często nad wyżami zaznaczającymi się w dolnej troposferze, na górnych poziomach izobarycznych, występują bruzdy lub układy niskiego ciśnienia (Chen i in. 2001). Jednocześnie nad obszarami obniżonego ciśnienia występującymi przy powierzchni ziemi, w środkowej i górnej troposferze, pojawiają się układy podwyższonego ciśnienia, które znacząco mogą wpływać na warunki cyrkulacyjne danego obszaru. Doskonałym przykładem tego rodzaju cyrkulacji są letnie subtropikalne antycyklony występujące nad Afryką i Azją (Zarrin i in. 2010).

S. Nigam i S.C. Chan (2008) w swojej pracy poświęconej występowaniu i zasięgowi letnich antycyklonów na północnym Pacyfiku i w północnej części Oceanu Atlantyckiego (które w lecie zajmują prawie połowę półkuli północnej) wykazali związki między wyżami umiarkowanych szerokości i monsunami oraz występowaniem zimowych układów niskiego ciśnienia. Na relacje między Wyżem Syberyjskim a monsunami wskazali także Ch.-P. Chang i M.-M. Lu (2012). Zwrócili oni uwagę na spadek częstości występowania układów blokujących nad Uralem w trakcie pozytywnej fazy Oscylacji Arktycznej (AO), co może zostać wykorzystane do prognozowania występowania układów wyżowych nad Azją. Podobny związek Wyżu Syberyjskiego z AO wykazali także B. Wu i J. Wang (2002a i b) oraz A. Tubi i U. Dayan (2013). Y. Ding i T.N. Krishnamurti (1987), M.J. Rodwell i B.J. Hoskins (2001), jak również R. Seager i in. (2003) zauważyli, że monsuny co prawda sprzyjają powstawaniu antycyklonów, ale z reguły wpływają na tworzenie się słabych układów barycznych.

Wpływ Wyżu Syberyjskiego zaznacza się w zmianach wielu elementów meteorologicznych, także w bardziej odległych regionach (Degirmendżić 1998). W największym stopniu warunkuje on zmiany cyrkulacji, temperatury powietrza i pokrywy lodowej, szczególnie w obszarze Arktyki i Pacyfiku, co przedstawili B. Wu i J. Wang (2002a i b) oraz F. Panagiotopoulos i in. (2005). Wymienieni autorzy zwrócili jednocześnie uwagę na zauważalny spadek ciśnienia w centrum tego największego z wyżów półkuli północnej, jaki jest notowany od końca lat 70. XX w., co potwierdziły też wyniki badań przeprowadzonych przez D.-Y. Gong i C.-H. Ho (2002). Uzupełnienie badań dotyczących występowania zimowych wyżów stanowi opracowanie J.E. Jones'a i J. Cohena (2011), w którym autorzy opisali najsilniejsze wyże, jakie występowały na Syberii i Alasce w latach 1957—2002. W pracy tej zaprezentowane zostały nie tylko liczba i obszary występowania najsilniejszych antycyklonów (odpowiednio o ciśnieniu w centrum układu równym lub wyższym niż 1060 hPa czy 1050 hPa), ale także rozkład pola ciśnienia, jaki związany jest z wystąpieniem takich zdarzeń, oraz charakterystyka procesów sprzyjających ich powstaniu.

Ciekawe są również prace poświęcone nieco słabszym antycyklonom. M.C. Serreze i A. Barrett (2011) opisali występowanie dość stałego wyżu nad Morzem Beauforta i jego wpływ na temperaturę powietrza nad Oceanem Arktycznym, a N. Sato i M. Takahashi (2007) — powstawanie wyżu nad Morzem Ochockim. Z kolei związek temperatury powietrza z Wyżem Grenlandzkim już w latach 70. XX w. przedstawili H. van Loon i J.C. Rogers (1978). Występowanie wyżów w południowej Europie dość szczegółowo zostało scharakteryzowane m.in. w opracowaniach: N. Goddeva (1971), T.J. Makrogiannisa i B.D. Gilesa (1980), B.D. Katsoulisa i in. (1998) oraz E. Kostopoulou i P.D. Jones'a (2007). Autorzy zwrócili uwagę na rozmiary występujących w tym regionie wyżów (500—2000 km), ich przebieg roczny (z maksimum w lecie) i zmienność wieloletnią (wyraźny wzrost ich częstości we wschodniej części regionu). Wskazali również obszary największej częstości występowania antycyklonów, opisali zmiany ich położenia oraz wpływ Wyżu Azorskiego i Syberyjskiego na kształtowanie pogody tego regionu. Analizie została również poddana długość trwania występujących tam antycyklonów, a także wpływ orografii na ich genezę.

Przykładem prac poświęconych Wyżowi Azorskiemu są opracowania: R.E. Davisa i in. (1997), A. Zarrina i in. (2010) czy M.J. Iqbala i in. (2013). Zwrócono w nich szczególną uwagę na typy pola ciśnienia, jakie towarzyszą występowaniu tego układu, oraz na ich zmienność wieloletnią (1899—1990). Zbadano także roczne zmiany położenia centrum Wyżu Azorskiego i jego oddziaływanie na elementy klimatu w dolnej troposferze. Z kolei H.S. Sahsamanoğlu (1990) zaprezentował zmiany intensywności Wyżu Azorskiego oraz — na tej podstawie — wydzielił 3 epoki występowania tego układu barycznego. Wyniki badań poświęconych temu układowi wysokiego ciśnienia wskazują na wzrost jego intensywności, jaki nastąpił w drugiej połowie XX w., oraz na jego silne oddziaływanie na występowanie opadów na Środkowym Wschodzie. I mimo że pod koniec XX w. zauważa się spadek liczby wyżów półkuli północnej (Şen i Koçak 1999), w ostatnich latach wzrasta nie tylko intensywność, ale i zasięg (w kierunku zachodnim) subtropikalnych wyżów występujących na północnym Atlantyku. Podejrzewa się, że opisywane zmiany mogą mieć związek z antropopresją, co sugeruje pogłębianie się tych tendencji w przyszłości (Li i in. 2011).

Nieco mniej jest opracowań poświęconych układom wysokiego ciśnienia występującym po południowej stronie równika. Do najważniejszych należy zaliczyć pracę M.R. Sinclaira (1996), w której autor przedstawił bardzo szczegółową charakterystykę występowania wyżów południowej półkuli. W ostatnich latach podobne prace, uwzględniające wieloletnią zmienność wyżów o różnej intensywności, trasy i regiony ich występowania oraz ich relacje ze wskaźnikami cyrkulacji, zaprezentowali A.B. Pezza i T. Ambrizzi (2003), S.B. Cerne i N.E. Possia (2004) oraz A.B. Pezza i in. (2007). J.D. Lenters i K.H. Cook (1997) opisali genezę Wyżu Boliwijskiego oraz jego wpływ na opady w Ameryce Południowej. Natomiast analizę roli różnych czynników, w tym orografii, determinujących występowanie antycyklonów półkuli południowej można znaleźć w pracy J. Richtera i C.R. Mechoso (2008).

Osobną grupę prac stanowią badania poświęcone wyżom występującym w obszarach polarnych, głównie zaś w Arktyce. Teoria powstawania w tych obszarach układów podwyższonego ciśnienia pojawiła się już pod koniec XIX w. (Helmholtz 1888, za Barrym, Carletonem 2001) i występowała w większości koncepcji dotyczących cyrkulacji atmosfery (Crowe 1987), a jeden z pierwszych fizycznych opisów powstawania polarnych antycyklonów został przedstawiony przez H. Wexlera (1937). Rozbudowa sieci stacji meteorologicznych w regionach polarnych w drugiej połowie ubiegłego wieku oraz rozwój badań satelitarnych pozwoliły na dokładniejsze poznanie cyrkulacji atmosferycznej tych obszarów. Zagadnienie to jest szczególnie ważne, ponieważ klimat tego regionu w znacznej mierze zależy od dopływu energii z niższych szerokości geograficznych (w Arktyce 95% energii dopływa dzięki cyrkulacji atmosferycznej; Aleksiejew i in. 1991). Ponadto klimat regionów polarnych jest bardzo czuły na wszelkie zmiany zachodzące w systemie klimatycznym i bywa traktowany jako wskaźnik przyszłych zmian w regionach z nim graniczących (Przybylak 2000; Serreze i in. 2000; IPCC 2007).

Ogólne prawidłowości występowania wyżów arktycznych czy antarktycznych omówione zostały m.in. w pracach: D. Martyn (1987), T. Niedźwiedzia (1997) czy

R.G. Barry'ego i A.M. Carletona (2001). Natomiast już B.L. Dzerdzeevskii (1975a) wykazał, że wyże występujące w Arktyce nie odznaczają się taką stałością, jak wyże nad Antarktydą i bardzo często ich miejsce zajmują szybko przemieszczające się układy niskiego ciśnienia. Wyniki te znalazły swoje potwierdzenie również w późniejszych pracach, w których podkreślano znaczący udział niżów w kształtowaniu klimatu Arktyki (Jones 1987; Serreze i in. 1993). W pracy J. Cassano i in. (2006) prognozowany jest spadek częstości występowania wysokich wartości ciśnienia w Arktyce, i to zarówno w półroczu chłodnym, jak i ciepłym. Jednocześnie, zdaniem autorów, coraz częściej do tego obszaru miałyby docierać nize północnego Atlantyku. Przewiduje się, że układy wysokiego ciśnienia będą dominowały jedynie nad Oceanem Arktycznym i Grenlandią w okresie letnim. Na wzrost liczby i intensywności cyklonów występujących w obszarze Arktyki wskazują również wyniki prac A.A. Dmitriewa (1994) czy M.C. Serreze'a i in. (1993, 1997, 2000). Ich autorzy stwierdzają także pewien wzrost liczby wyżów w ciepłej połowie roku, zauważalny w drugiej połowie XX w. (Serreze 1993). Największy spadek ciśnienia został odnotowany w azjatyckiej części Arktyki i występował przede wszystkim w lecie i jesienią. Natomiast nad Grenlandią zmiany ciśnienia były niewielkie lub też można mówić o pewnym wzroście ciśnienia w okresie zimowym (Walsh i in. 1996). Takie regionalne zróżnicowanie zmian ciśnienia w Arktyce, zarówno w ujęciu wieloletnim, jak i rocznym, wynikające ze zmian częstości występowania układów barycznych, odpowiada za występowanie różnych kierunków i wielkości zmian innych elementów meteorologicznych w tym regionie oraz obszarach przyległych (Barry i in. 1975; Maslanik i in. 1996; Przybylak 1996; Niedźwiedź 2001, 2003b). Większą stałością charakteryzują się układy wysokiego ciśnienia występujące nad Antarktydą. Jednak również w rejonie bieguna południowego zauważa się spadek średnich wartości ciśnienia. Towarzyszy mu wzrost temperatury, związany z większą częstością cyrkulacji strefowej oraz powstawaniem coraz silniejszych układów niskiego ciśnienia (Jones i Wigley 1988; Turner i in. 2005), co jest szczególnie dobrze widoczne we wschodniej części Antarktyki (Kejna 2007).

Układy wysokiego ciśnienia w szczególny sposób kształtują warunki pogodowe i klimat obszarów, nad którymi występują. Ich wpływ jest wyjątkowo silny w rejonach, w których występują jako układy stacjonarne lub *quasi*-stacjonarne (wyże podzwrotnikowe, kontynentalne wyże zimowe czy też wyże występujące nad lodami morskimi i lądolodami). Nieco inny charakter ma występowanie wyżów w szerokościach umiarkowanych. Ich pojawienie się zwykle przerywa przepływ strefowy nad danym regionem i nazywane jest sytuacją blokującą (*blocking*) (Liu 1994; Barry i Carleton 2001). Zaistnienie takiej sytuacji synoptycznej wymusza przepływ południkowy, kształtowanie się typowej dla danej pory roku pogody wyżowej, odchylenie trajektorii pozostałych układów barycznych ku północy lub południowi (Elliott i Smith 1949; Barry i Carleton 2001). Blokujące wyże zaliczane są do wielkoskalowych zjawisk synoptycznych (Tsou i Smith 1990; Liu 1994; Lupo i Smith 1994). Zwykle należą do ciepłych i wysokich układów barycznych, występujących najczęściej zimą i wiosną, a ich trwałość może dochodzić do kilku tygodni (Lejenäs 1984; Niedźwiedź 2003b). Pierwsze, dość szczegółowe i kompleksowe, badania występo-

wania sytuacji blokujących miały miejsce już w połowie ubiegłego wieku, czego przykładem może być praca R.D. Elliotta i T.B. Smitha (1949). W tym czasie przeprowadzono także próby zdefiniowania i wydzielenia sytuacji blokujących, korzystając z subiektywnych (rozkład pola ciśnienia na poziomie 500 hPa, zmiany położenia prądu strumieniowego, nagła zmiana przepływu zachodniego na południkowy i trwałość układu barycznego — minimum 5 lub 10 dni; Rex 1950a i b; Treidl i in. 1981; Tyrlis i Hoskins 2008a i b), a następnie obiektywnych kryteriów (wielkość i trwałość anomalii wysokości powierzchni 500 hPa oraz jej położenie geograficzne; Illiari i in. 1981; Lejenäs i Økland 1983; Shukla i Mo 1983; Dole 1986; Liu 1994). W kolejnych latach badania dotyczące wyżów blokujących były uzupełniane charakterystyką ich dynamiki i związków z falami planetarnymi (Egger 1978; Austin 1980; Frederiksen 1982; Tsou i Smith 1990), poruszano również problemy prognozowania pogody w sytuacjach pojawiania się wyżów blokujących (Watson i Colucci 2002). Powstało wiele prac poświęconych ich charakterystyce klimatologicznej. Autorzy tych prac wskazują na dość duże fluktuacje rocznej liczby wyżów blokujących i niewielkie okresy większej częstości ich występowania (około 1890 r., w 1930 r. i w latach 60. XX w.), ale równocześnie na brak wyraźnej tendencji ich zmian (Stein 2000). W wielu opracowaniach zwraca się uwagę na: roczną zmienność częstości występowania sytuacji blokujących, wzrost ich liczby w ujemnej fazie NAO, obszary ich najczęstszego występowania na północnym i południowym Atlantyku oraz Oceanie Spokojnym, nad Nową Zelandią oraz wschodnią Europą i zachodnią Azją (Dole i Gordon 1983; Lejenäs 1984; Knox i Hay 1985; Trenberth i Mo 1985), czas trwania (średnio 10—15 dni, wyjątkowo ponad 30 dni) czy intensywność układów wyrażoną różnymi indeksami intensywności (Brezowsky i in. 1951; Treidl i in. 1981; Lejenäs i Økland 1983; Økland i Lejenäs 1987; Stein 2000). Podobne prace poświęcone zostały blokującym wyżom występującym na półkuli południowej (Leighton 1994; Sinclair 1996). Ich wyniki wskazują na duże podobieństwa między wyżami blokującymi obu półkul i ich związek z El Niño (Trenberth i Mo 1985; Marques i Rao 1999, 2000). Bardzo dobre podsumowanie badań dotyczących tego zagadnienia oraz porównanie występowania sytuacji blokujących na kuli ziemskiej można znaleźć w pracy J.M. Wiedenmanna i A.R. Lupo z 2002 r. oraz w opracowaniu D. Barriopedro i in. (2006).

Uzupełnieniem badań poświęconych występowaniu antycyklonów, niejako pośrednią metodą badań, jest analiza zmienności cyrkulacji atmosferycznej oparta na klasyfikacjach typów cyrkulacji (sytuacji synoptycznych) oraz wskaźników cyrkulacji. Ze względu na makrosynoptyczną skalę wyróżnionych typów cyrkulacji najbardziej podobne do prac poświęconych sytuacjom blokującym są badania, w których wykorzystuje się jedne z najstarszych klasyfikacji synoptycznych G.J. Wangenheima (1938), A.A. Girsy (1948, 1971, 1977), B.L. Dzerdzeewskiego (1970) czy L.A. Dydyń (1982). W klasyfikacjach tych autorzy wydzili od 3 makrotypów do kilkunastu typów cyrkulacji (połączonych w kilka głównych grup procesów cyrkulacyjnych). Wśród typologii powstałych dla mniejszych obszarów należy wyróżnić podział na te powstałe w wyniku subiektywnej lub obiektywnej metody klasyfikacji. Przykładem

pierwszej metody są kalendarze cyrkulacji H.H. Lamba (1950), „Grosswetterlagen” P. Hessa i H. Brezowsky’ego (1977), B. Osuchowskiej-Klein (1991) czy T. Niedźwiedzia (1981, 2012). W drugiej metodzie typy cyrkulacji wydziela się na podstawie wartości charakteryzujących pole ciśnienia na poziomie morza oraz w górnej troposferze, stosując różne metody grupowania. W ten sposób powstają „uniwersalne” typy cyrkulacji (które mogą być później wykorzystywane do opisu związków cyrkulacji z innymi elementami meteorologicznymi) lub też typy cyrkulacji związane z występowaniem określonych zjawisk meteorologicznych czy klimatologicznych (Lund 1963; Lityński 1969; Kozuchowski 1989; Jones i in. 1993; Buishand i Brandsma 1997; Ustrnul 1997; Hanssen-Bauer i Førland 2000; Wibig 2001; Philipp 2009; Back i Philipp 2010; Philipp i in. 2010). Wszystkie te klasyfikacje, niezależnie od domeny i okresu, na podstawie którego zostały stworzone, uwzględniają występowanie układów wysokiego ciśnienia. Zazwyczaj są one opisywane jako typy bezadwekcyjne (np. Ca — centrum wyżu; Niedźwiedź 1981, 2012) lub charakterystyczne rozkłady pola ciśnienia nad danym obszarem (np. HFA — wyż nad Fennoscandią, Grosswetterlagen; typ środkowoeuropejski (blokadowy); Wibig 2001). Tak wydzielone typy cyrkulacji mogą być również wykorzystane do tworzenia indeksów cyrkulacji, które następnie służą do badania zmian zachodzących w atmosferze nad danym regionem lub też do szukania związków między występowaniem wyżów a innymi elementami czy zjawiskami meteorologicznymi (Niedźwiedź 1993). Przez wielu autorów opisywane są również relacje między występowaniem wyżów (blokujących) a wskaźnikami cyrkulacji „sterującymi” cyrkulacją, szczególnie w obszarach pozazwrotnikowych. Dotyczy to przede wszystkim wskaźników NAO (Oscylacja Północnego Atlantyku) i PNA (Wskaźnik Pacyficzno-Amerykański), które wykazują silną ujemną korelację z występowaniem układów blokujących (Crocini-Maspoli i in. 2007). Jednak podobne związki są analizowane, z uwzględnieniem takich wskaźników, jak: AO (Oscylacja Arktyczna), ENSO (El Niño-Southern Oscillation) czy też PDO lub IPO (Dekadowa lub Międzydekadowa Oscylacja Pacyficzna), (Shabbar i in. 2001; Wu i Wang 2002a i b; Scherrer i in. 2006; Pezza i in. 2007; Cheung i in. 2012, 2013; Athar i in. 2013).

Na zakończenie warto również wspomnieć o badaniach typów pogody. Przy czym należy pamiętać, że pojęcie typu pogody oznacza zespół (kompleks) współdziałających elementów meteorologicznych, charakteryzujących pogodę występującą danego dnia nad rozpatrywanym obszarem (Piotrowicz 2010), a nie, jak czasami określa się w klimatologii synoptycznej, wyróżniony typ sytuacji synoptycznej (Stefanicki i in. 1998; Brown 2004). Wśród prac dotyczących typów pogody można wydzielić dwa główne nurty. Pierwszy to ogólna charakterystyka występujących w określonym regionie typów pogody, ich przebieg roczny i wieloletni czy zmiany z dnia na dzień (Maheras 1984; Woś 1999; Piotrowicz 2010; Piotrowicz i Szlagor 2013). Drugą i liczną grupę prac stanowią badania dotyczące występowania określonych typów pogody i ich relacji z typami cyrkulacji atmosfery (Kaszewski 1992; Bogucki i Woś 1994; Sheridan 2003; Michailidou i in. 2009a i b). Tego rodzaju badania, ponownie w sposób pośredni, pozwalają śledzić zmiany występowania układów wysokiego ciśnienia i jednocześnie ich oddziaływanie na pogodę. Przykładem tego rodzaju analizy

jest praca P. Domonkosa i in. (2003), przedstawiająca znaczący wpływ układów wyżowych na występowanie najzimniejszych i najcieplejszych dni w Europie Środkowej w XX w., czy też prace opisujące typy pogody towarzyszące silnym układom barycznym w Krakowie (Bielec-Bąkowska i Piotrowicz 2011, 2012).

1.2. Cel i zakres pracy

Jak wykazano w poprzednim rozdziale, wiedza dotycząca występowania układów wysokiego ciśnienia na Ziemi ma albo bardzo ogólny, albo bardzo regionalny charakter. Można także zauważyć, że wiele prac zostało poświęconych zbadaniu zależności między występowaniem ekstremalnych zdarzeń klimatycznych czy specyficznych zmian klimatu a pojawianiem się antycyklonów. Bardzo często miały one charakter studiów poszczególnych przypadków. Niewiele jest natomiast badań, w których dominuje podejście klimatologiczne, uwzględniające występowanie wyżów w ujęciu wieloletnim i w dużej skali przestrzennej. Ponadto w dotychczasowych analizach z reguły nie rozpatrywano intensywności układów wysokiego ciśnienia, a jedynie fakt ich wystąpienia i ewentualnie trwałość systemu.

Wspomniane przesłanki oraz opinie o wzroście częstości zdarzeń ekstremalnych, w tym tych związanych z silnymi wyżami, stały się inspiracją do podjęcia badań, których celem było określenie przestrzennego i czasowego zróżnicowania występowania wyjątkowo silnych wyżów nad Europą. Pozwoliły one również na poszerzenie wiedzy o intensywności i długotrwałości silnych układów wyżowych oraz na sprawdzenie, czy obserwowane w ostatnim stuleciu zmiany klimatu znajdują swoje odzwierciedlenie w wyraźnych zmianach liczby pojawiających się wyżów. Ze względu na genezę, zasięg oraz stopień wpływu najważniejszych układów barycznych na klimat wspomnianego kontynentu w pracy wzięto pod uwagę nie tylko obszar Europy, ale szeroko rozumiany sektor euroatlantycki, którego granice opisane zostały w rozdziale następnym.

Realizacja podejmowanego problemu badawczego przeprowadzona była w kilku etapach, które pozwoliły odpowiedzieć na najważniejsze pytania dotyczące występowania rozpatrywanych układów barycznych. Kluczowe były pytania: *Jakie układy antycyklonalne należy uznać za silne lub bardzo silne?* oraz *Czy na całym analizowanym obszarze „siła” układów wyżowych jest podobna?* Otrzymane wyniki nasunęły kolejne pytania:

- *Czy istnieje wyraźne zróżnicowanie regionalne występowania silnych układów wysokiego ciśnienia?*
- *Jaka cecha występowania silnych wyżów decyduje o ich regionalnym zróżnicowaniu?*
- *Czy wieloletnie zmiany częstości występowania silnych układów antycyklonalnych są podobne w poszczególnych częściach rozpatrywanego obszaru, czy zależą od regionu?*

- Czy silne antycyklony zwykle występują w obszarach związanych z działalnością centrów aktywności atmosfery (Wyżu Azjatyckiego, Azorskiego czy Grenlandzkiego), czy też istnieją również inne charakterystyczne rejony ich występowania?
- Czy ich wystąpieniu towarzyszą jakieś charakterystyczne cechy pola ciśnienia nad badanym obszarem?
- Jaka jest zależność między intensywnością a długością trwania silnych układów wysokiego ciśnienia?
- Czy w świetle obserwowanych zmian klimatu zauważa się zmiany przestrzennego rozkładu występowania wyżów?

Znalezienie odpowiedzi na przytoczone pytania doprowadziło od powstania szczegółowej charakterystyki występowania silnych układów wysokiego ciśnienia nad badanym obszarem, a uzyskane wyniki stanowią uzupełnienie badań poświęconych współczesnym zmianom cyrkulacji atmosferycznej i występowania ekstremalnych zdarzeń klimatycznych.

Podstawą przeprowadzonych badań były średnie dobowe wartości ciśnienia na poziomie morza oraz wysokość powierzchni izobarycznej 500 hPa, określona dla punktów gridowych w siatce o rozdzielczości przestrzennej $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ położonych w obrębie sektora euroatlantyckiego, z okresu 1951—2010. Ponadto w opracowaniu wykorzystano mapy synoptyczne oraz mapy pola barycznego w środkowej troposferze. Szczegółowy opis rozpatrywanego obszaru i danych źródłowych oraz metody, jakie zastosowano w pracy zostaną scharakteryzowane w rozdziale 1.3 zatytułowanym *Materiał badawczy i metoda opracowania*.

Ze względu na klimatologiczny charakter podjętych badań, oraz aby móc prawidłowo ocenić intensywność układów barycznych występujących w analizowanym obszarze, zasadnicza część pracy została poprzedzona charakterystyką rozkładu ciśnienia oraz jego regionalnym zróżnicowaniem w sektorze euroatlantyckim. Zagadnienia te zostały opisane w rozdziale 2. i 3. W trakcie badań uwzględniono nie tylko przestrzenny aspekt zróżnicowania ciśnienia, ale i jego zmienność roczną oraz wieloletnią. Zważywszy na zmiany cyrkulacji atmosferycznej, jakie zachodzą w ciągu roku, wszystkie charakterystyki ciśnienia oraz wskaźniki opisujące występowanie analizowanych układów barycznych były rozpatrywane w ujęciu sezonowym. Najważniejszym podziałem był ten na półrocze chłodne (od października do marca) oraz ciepłe (od kwietnia do września). W niektórych przypadkach stosowano także podział na standardowe pory roku (np. wiosna: marzec, kwiecień, maj itd.) oraz ujęcie miesięczne. W przypadku rocznej liczby układów wysokiego ciśnienia za rok przyjmowano okres od 1 lipca do 30 czerwca roku następnego. Decyzja ta podyktowana była rocznym rozkładem częstości występowania badanych układów barycznych, według którego roczne maksimum pojawiania się wyżów przypada na miesiące zimowe, w lecie natomiast występują one najrzadziej.

Otrzymane wyniki stały się podstawą do przyjęcia różnych kryteriów określenia pojęcia *silnych* i *bardzo silnych* antycyklonów. Zostały one zdefiniowane w rozdziale 4. zatytułowanym *Regiony występowania silnych antycyklonów w sektorze euroatlantyckim*. W tej części pracy zaproponowano, niespotykany dotychczas w literatu-

rze, podział na regiony antycyklonalne oraz przedstawiono roczną i wieloletnią zmienność występowania badanych układów barycznych w każdym z nich. Nazwy wyróżnionych regionów nawiązują do charakterystycznych ośrodków barycznych, jakie nad nimi występują, lub do geograficznego położenia danego obszaru.

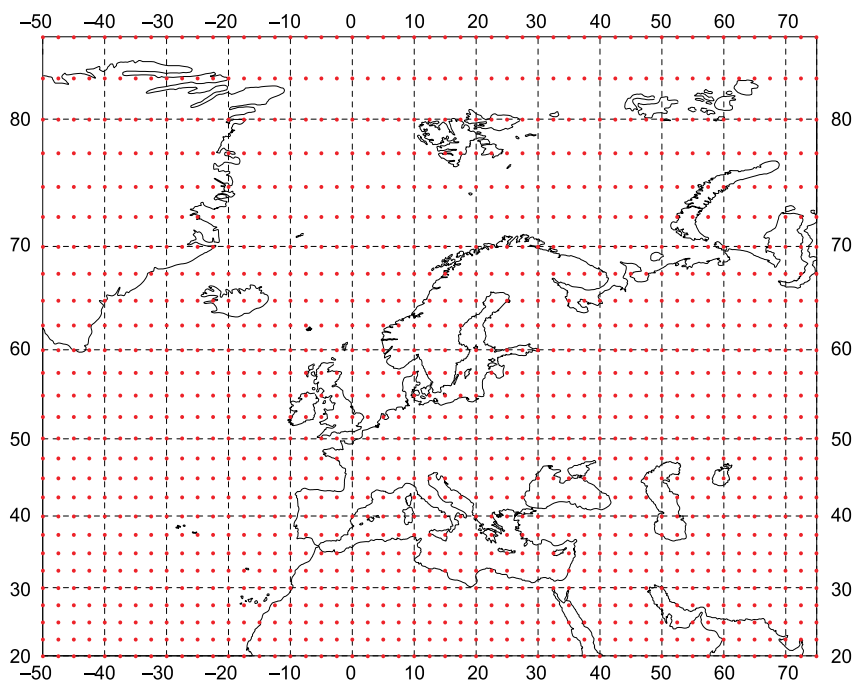
Już wstępna analiza występowania silnych układów wysokiego ciśnienia wykazała, że często ich pojawieniu towarzyszy specyficzny rozkład ciśnienia nad rozpatrywanym rejonem. Z tego powodu zdecydowano się zbadać rozkład ciśnienia w sektorze euroatlantyckim, jaki występował, podczas gdy w konkretnym regionie pojawiał się silny układ antycyklonalny — opisany w rozdziale 5. *Typy rozkładu pola ciśnienia podczas występowania silnych układów antycyklonalnych*. Ponieważ oddziaływanie układów barycznych na cyrkulację w danym regionie nie ogranicza się tylko do przyziemnej warstwy powietrza, w tej części pracy sprawdzono także pionowy zasięg wyróżnionych układów antycyklonalnych. W tym celu wykorzystano dane o wysokości powierzchni izobarycznej 500 hPa. Ze względu na rolę cyrkulacji atmosferycznej w kształtowaniu zmian klimatu oraz znaczenie silnych wyżów jako ekstremalnych zdarzeń klimatycznych ważnym elementem tego etapu badań było przedstawienie wieloletniej zmienności charakterystycznych typów pola ciśnienia.

Jak już wielokrotnie wspomniano, występowanie długotrwałych układów wysokiego ciśnienia bardzo często w znacznym stopniu determinuje warunki pogodowe danego obszaru i obszarów sąsiednich. Jednocześnie częstość ich występowania i położenie wywierają znaczący wpływ na klimat określonej części kuli ziemskiej. Te przesłanki stały się podstawą zbadania liczby oraz trwałości opisywanych układów (rozdział 6.). Do realizacji tego celu niezbędne stało się prześledzenie etapów rozwoju każdego z silnych wyżów, jakie wystąpiły w latach 1951—2010 nad rozpatrywanym obszarem. W ten sposób powstał swego rodzaju katalog silnych antycyklonów, w którym uwzględniono położenie i wartość ciśnienia w centrum układu w trakcie kolejnych dni ich występowania.

Uzupełnieniem charakterystyki silnych antycyklonów jest przedstawienie przestrzennego rozkładu występowania ich centrów (rozdział 7.). Pozwoliło to na wyznaczenie stref zwiększonej ich częstości i obszarów, w których najczęściej przebiegają ich trasy. Również w tym przypadku sprawdzono, czy rejony występowania silnych wyżów zmieniały się w wieloleciu, oraz w jaki sposób zmiany ich lokalizacji przebiegały w ujęciu sezonowym.

1.3. Materiał badawczy i metody badań

Podstawę przeprowadzonych badań stanowią średnie dobowe wartości ciśnienia atmosferycznego na poziomie morza, określone dla punktów gridowych w siatce o rozdzielczości przestrzennej $2,5^\circ \times 2,5^\circ$, z sektora euroatlantyckiego ograniczonego



Ryc. 1. Obszar badań z zaznaczoną siecią punktów węzłowych (gridów)

Fig. 1. Study area with the grid-points network

do obszaru 20°N — 85°N oraz 50°W — 75°E (1377 punktów; ryc. 1). Materiały te pochodzą z baz danych (zwanymi NCEP/NCAR Reanalysis) udostępnionych przez NOAA/OAR/ESRL PSD, Boulder, Colorado w Stanach Zjednoczonych, i obejmują okres 1951—2010 (<http://www.cdc.noaa.gov/>). Baza danych gridowych, z której pochodzą wspomniane dane, obejmuje wartości wielu elementów meteorologicznych i została utworzona w wyniku realizacji „Reanalysis Project” przez dwa ośrodki badawcze: National Centers for Environmental Prediction (NCEP) i National Centre for Atmospheric Research (NCAR). Projekt ten rozpoczął się w 1994 r., a powstała baza danych obejmuje okres od 1948 r. i jest na bieżąco uzupełniana.

Dane znajdujące się we wspomnianej bazie obejmują całą kulę ziemską i są dostępne w rozdzielczości przestrzennej $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$ lub $1,875^{\circ} \times 1,915^{\circ}$, w pionie sięgając od poziomu morza do powierzchni izobarycznej 10 hPa (Kalnay i in. 1996). Omawiany zbiór powstał w wyniku asymilacji danych z różnych źródeł, m.in.: obserwacji z lądowych stacji meteorologicznych, ze stacji umieszczonych na statkach i bojach morskich, ze stacji aerologicznych oraz z danych satelitarnych i lotniczych. W zależności od stopnia wpływu danych obserwacyjnych i danych pochodzących z modeli na wartości uzyskanych danych gridowych zostały one zaklasyfikowane do jednej z 4 grup. Grupa A (np. temperatura czy wiatr w górnej troposferze) to dane w największym stopniu uwzględniające dane obserwacyjne i uznane za najbardziej wiarygodne. Dane z grupy B otrzymano, korzystając z danych obserwacyjnych

i danych z modeli, a ich przykładem jest wilgotność czy temperatura przy powierzchni Ziemi. Grupa C obejmuje dane, które zostały uzyskane głównie z modeli meteorologicznych (np. zachmurzenie czy opad). Natomiast ostatnią grupę D stanowią dane dotyczące takich zagadnień, jak: użytkowanie terenu, maski lądów i mórz, czy danych hipsometrycznych (Kalnay i in. 1996).

W trakcie opracowywania gridowej bazy danych, która jest na bieżąco uaktualniana, wszystkie dane wejściowe są sprawdzane w celu wykrycia błędów, jakie mogły powstać w trakcie obserwacji czy pomiarów oraz późniejszej ich transmisji i przetwarzania. Kontrola ta jest przeprowadzana na wielu etapach tworzenia bazy tak, aby zminimalizować ryzyko wprowadzenia błędnych wartości do systemu. Otrzymane dane wyjściowe również poddawane są wielokrotnej kontroli. W rezultacie większość otrzymanych danych właściwie reprezentuje warunki meteorologiczne danego obszaru i nie jest obciążona znaczącymi błędami, chociaż zapewne nie wszystkie udało się wyeliminować (Kalnay i in. 1996; Kistler i in. 2001). Największa wiarygodność dotyczy przede wszystkim danych z grupy A i B, w tym także tych dotyczących ciśnienia atmosferycznego.

Opisane cechy danych gridowych (zakres przestrzenny i czasowy, jakość danych) i ich dostępność powodują, że są one coraz częściej wykorzystywane w pracach klimatologicznych i meteorologicznych. Stanowią również cenne, a czasami jedyne, źródło danych dla obszarów ze słabo rozwiniętą siecią pomiarową. Dotyczy to nie tylko bazy NCEP/NCAR, ale również takich baz, jak CRU czy ERA-40. Wśród prac dotyczących przestrzennej i czasowej zmienności poszczególnych elementów meteorologicznych dominują te poświęcone zmianom ciśnienia na poziomie morza i cyrkulacji w wyższej troposferze (Ustrnul 1997; Wibig 2001; Miętus 2003; Grosfeld i in. 2006; Saha i in. 2006; Bromwich i in. 2007; Marosz 2009, 2010; Marosz i Ustrnul 2010; Hodges i in. 2011) oraz zmienności warunków termicznych (Miętus, Filipiak 2004; Brohan i in. 2006; Jones i Moberg 2003; Gámiz-Fortis i in. 2011; Ceppi i in. 2012) i opadowych (Zolina i in. 2004; Álvarez-García i in. 2012; Simpson i Jones 2012). Jednak jak pokazują badania nie zawsze dane gridowe wykazują zgodność z pomiarami wykonywanymi na stacjach (Brohan i in. 2006). Najmniejsze różnice stwierdzono, porównując wartości ciśnienia, temperatury oraz elementów charakteryzujących wyższe warstwy troposfery (wysokość powierzchni izobarycznych czy parametrów wiatru), (Trenberth i Paolino 1980; Trenberth i Olson 1988; Miętus 2003; Bąkowski i Wojciechowska 2006). Więcej problemów stwarza wykorzystanie danych, na które duży wpływ mają warunki lokalne (wysokość nad poziomem morza, ukształtowanie terenu, ekspozycja itp.), jak wiatr w dolnej troposferze czy wartości temperatury minimalnej i maksymalnej (Bąkowski i Wojciechowska 2006; Miętus 2009). Znaczne różnice między danymi pomiarowymi a danymi z reanaliz widoczne są również w przypadku elementów meteorologicznych nieciągłych w przestrzeni i wykazujących duże zróżnicowanie regionalne, czego przykładem mogą być opady atmosferyczne (Pilarski i in. 2010). Wielu badaczy, w tym K.E. Trenberth i D. Paolino (1980), D.E. Atkinson i S.M. Solomon (2003), G.J. Marshall (2002) oraz Z. Vizi i R. Przybylak (2006), wykazało także, że bez wprowadzenia odpowiednich poprawek nie jest możliwe wykorzystanie danych grido-

wych (dotyczących odpowiednio: ciśnienia i temperatury) obliczonych dla obszarów położonych zarówno w wyższych (powyżej 60°N; Jones 1987), jak i niższych (poniżej 20—25°) szerokościach geograficznych (Trenberth i in. 2001).

Jak już wcześniej wspomniano, dane zastosowane w niniejszych badaniach charakteryzują się największą wiarygodnością (należą do danych grupy A) i powszechnie uznawane są za homogeniczne. Należy jednak pamiętać, że materiał obserwacyjny wykorzystany do tworzenia bazy danych i obejmujący pierwsze dekady rozpatrywanego okresu badań znacznie różnił się od danych z lat późniejszych („klimatologia przedsatelitarna”; Kistler i in. 2001). Wynikało to z dostępności do archiwalnych, naziemnych serii obserwacyjnych, liczby stacji meteorologicznych, częstości pomiarów czy też różnic technologicznych w pozyskiwaniu informacji o stanie atmosfery (np. pionowe sondowanie atmosfery, dostępność i rozdzielczość zdjęć satelitarnych itp.). Pewien problem może też stanowić redukcja wartości ciśnienia z zastosowaniem równań hydrostatycznych (Pauley 1998). Dotyczy to w szczególności wysoko położonych obszarów, charakteryzujących się zróżnicowaną rzeźbą i pokrytych lodem (np. obszary Mongolii, Grenlandii czy Antarktydy). Związane jest to ze sposobem redukcji ciśnienia wprowadzonym w 1956 r. oraz z gęstością powietrza wynikającą z wysokości nad poziomem morza i bardzo niską temperaturą panującą we wspomnianych regionach (van Loon i Williams 1976; Trenberth i Paolino 1980; Jones 1987; Trenberth i in. 2001; Gong i Ho 2002; Burt 2007). Z tego powodu wyniki badań dotyczące Grenlandii i obszarów przyległych oraz początkowego okresu obserwacji, do 1979 r., głównie zaś przed 1958 r. (Kistler i in. 2001), należy traktować z należytą ostrożnością.

Jak wcześniej nadmieniono, podstawą przeprowadzonych badań były średnie dobowe wartości ciśnienia na poziomie morza. Wybranie tego rodzaju danych związane było z charakterem powstawania oraz przebiegiem „życia” układów antycyklonalnych. Są one układami, które powstają dużo wolniej niż układy niskiego ciśnienia. Dużo wolniejsza jest także dynamika ich przemieszczania, a bardzo często są to układy o charakterze stacjonarnym (tzw. układy blokujące). W takich przypadkach przez wiele dni lub nawet tygodni swoim zasięgiem obejmują prawie ten sam obszar, a zmiany dotyczą głównie ich intensywności (wartości ciśnienia w centrum układu). Niewielkie zmiany zarówno wartości ciśnienia, jak i ich położenia są szczególnie dobrze widoczne, gdy prześledzimy występowanie najsilniejszych układów wyżowych. Zwykle ciśnienie w ich centrach znacznie przekracza 1040 hPa, a swoim zasięgiem potrafią objąć obszar porównywalny z obszarem Europy. Przykładem może być silny wyż (z ciśnieniem przekraczającym 1060 hPa), jaki znad Azji przesunął się nad Europę w połowie stycznia 1929 r. Przez kilka tygodni utrzymywał się on nad europejską częścią Rosji, obejmując swoim zasięgiem również kraje Europy Środkowej oraz Bałtyk i Skandynawię. Dopiero pod koniec lutego ponownie przemieścił się w kierunku Azji, a jego miejsce zajął kolejny silny wyż, jaki powstał nad Morzem Norweskim. Dominacja silnych układów wysokiego ciśnienia nad Europą trwała prawie do końca marca, a wynikiem ich oddziaływania były bardzo niskie temperatury, dzięki którym zima 1928/1929 zaliczana jest do jednych z najmroźniejszych zim XX w. (Piotrowicz 2006). Drugim powodem, dla którego do badań przyjęto średnie wartości dobowe,

było założenie, że w badaniach powinny być rozpatrywane jedynie wyże, które przynajmniej przez jedną dobę spełniały przyjęte kryteria. W ten sposób praktycznie wyeliminowane zostały przypadki, w których wartości ciśnienia w danym punkcie gridowym tylko przez kilka godzin były wyższe od założonych wartości progowych.

Oprócz średnich dobowych wartości ciśnienia na poziomie morza, w badaniach zastosowanie znalazły również:

- średnie dobowe wartości wysokości powierzchni izobarycznej 500 hPa pochodzące z reanaliz NCEP/NCAR (<http://www.cdc.noaa.gov/>);
- mapy pola ciśnienia na poziomie morza oraz mapy wysokości geopotencjału powierzchni izobarycznych 850 hPa i 500 hPa z godziny 00.00 i 12.00 UTC (<http://www.wetterzentrale.de>);
- dolne mapy synoptyczne z godziny 00.00 i 12.00 UTC, pochodzące zarówno ze źródeł internetowych (<http://www.wetter3.de>), jak i publikowane w postaci map (*Biuletyn synoptyczny PIHM* (potem IMGW), *Mapy synoptyczne* (IMGW), *Codzienny biuletyn meteorologiczny* (IMGW), *Europäischer Wetterbericht* oraz *Wetterskarte* publikowane przez Deutscher Wetterdienst (DWD)).

Badania, których wyniki prezentowane są w niniejszej pracy, realizowane były w kilku etapach opisanych w poprzednim rozdziale. W większości przypadków do charakterystyki przestrzennego zróżnicowania ciśnienia oraz jego zmian w czasie wykorzystano podstawowe statystyki opisowe, uwzględniające wartości średnie, ekstremalne oraz wybrane wartości progowe, a także, ze względu na specyfikę badań, wybrane wartości percentyli dla każdego punktu gridowego (przede wszystkim 90, 95 i 99 percentyl).

Ważnym elementem analizy było zdefiniowanie pojęcia silnego i bardzo silnego układu wysokiego ciśnienia, co zostało szczegółowo opisane w rozdziale 4., a następnie wydzielenie regionów występowania wspomnianych wyżów. W niniejszym opracowaniu, jak i w poprzednich pracach autorki (Bielec-Bąkowska 2010b i c; Bielec-Bąkowska i Piotrowicz 2011), zdecydowano się na wydzielenie właśnie dwóch rodzajów wyjątkowo silnych układów wyżowych. Decyzję tę podjęto z dwóch powodów: z uwagi na przestrzenne zróżnicowanie wartości ciśnienia w sektorze euroatlantyckim, a także z tego względu, że pozwoliło to zbadać występowanie nie tylko niewielkiej liczby najsilniejszych wyżów, często krótkotrwałych, ale także tych nieco słabszych, jednak pojawiających się znacznie częściej.

W trakcie badań dokonano kilku regionalizacji, których efektem był podział sektora euroatlantyckiego na regiony odznaczające się podobnymi wartościami oraz cechami wieloletnich i rocznych zmian ciśnienia, a także wydzielenie regionów występowania silnych antycyklonów. W tym celu wykorzystano, jedną z najbardziej znanych niehierarchicznych metod grupowania, analizę skupień metodą K -średnich. Metoda ta zakłada, że wydzielone w wyniku jej zastosowania skupienia mają się charakteryzować jak największym podobieństwem obiektów wewnątrz skupienia i największymi różnicami (odległościami od środka skupień) między skupieniami, a liczba obiektów w skupieniach powinna być podobna (Marek 1989). Przyjęta metoda odznacza się pewną dozą subiektywności, gdyż wybór liczby wygenerowanych

skupień zależy od przeprowadzającego regionalizację. Zazwyczaj przyjmuje się, że jeżeli podczas kolejnego kroku powstają nowe skupienia, o mniejszej liczbie obiektów, a różnica między ich wartościami średnimi jest niewielka, to właściwszy jest podział poprzedzający. Jednak, szczególnie w badaniach geograficznych, uwzględnia się również przestrzenne zróżnicowanie obiektów zaliczanych do poszczególnych skupień oraz genetyczne uwarunkowania podziału (Bednorz i in. 2003). Opisywana metoda została także zastosowana do wydzielenia typów rozkładu pola ciśnienia towarzyszących występowaniu silnych i bardzo silnych wyżów. W tym przypadku połączono ją z analizą składowych głównych (PCA — *Principal Component Analysis*), co pozwoliło nie tylko wyznaczyć najbardziej typowe sytuacje synoptyczne, ale i wskazać te, które występują najczęściej.

Wielowątkowość przeprowadzonych badań spowodowała, że szczegółowy opis przyjętych założeń i zastosowanych metod zdecydowano się zamieścić w kolejnych rozdziałach niniejszej pracy. Należy przy tym wspomnieć, że jeżeli w opracowaniu nie podano inaczej, to prezentowane wartości lub charakterystyka występowania analizowanych układów barycznych dotyczą pola ciśnienia na poziomie morza. Jak już wielokrotnie wspomniano, podstawą przeprowadzonych badań były średnie dobowe wartości ciśnienia. Z tego powodu ilekroć mowa o wartościach najwyższych (P_{\max}), najniższych (P_{\min}), zakresie zmian ciśnienia (P_z) czy wartościach średnich ($P_{\text{śr.}}$), zawsze dotyczą one uśrednionych wartości dobowych określonych dla poszczególnych punktów gridowych. Ponadto, jeżeli w tekście nie sprecyzowano inaczej, to określenie *silne wyże* oznacza wszystkie wyże o ciśnieniu równym lub wyższym od 1030 hPa (w tym wyże bardzo silne o ciśnieniu równym lub wyższym od 1035 hPa).

Ze względu na zakres opracowania zawarto w nim dużą ilość materiału graficznego. W celu ułatwienia porównywania tak zaprezentowanych wyników badań, na końcu pracy zamieszczono 5 załączników z wybranymi rycinami. Dotyczy to w szczególności ryc. 19, prezentującej wydzielone regiony antycyklonalne, stanowiącej załącznik 1.

Zuzanna Bielec-Bąkowska

Strong anticyclones over Europe (1951—2010)

S u m m a r y

The aim of this study was to determine the temporal and spatial variability of strong and very strong highs in an area of the Euro-Atlantic sector limited by the coordinates 20°N—85°N and 50°W—75°E. The research was based on a rich set of data including, at its core, the average daily air pressure values at sea level at 1377 grid points of a 2.5° × 2.5° grid derived from NCEP/NCAR reanalyses. That data set was supplemented by the values of the 500 hPa isobaric level's height at the grid points mentioned above. Additionally, a wide range of synoptic maps for different pressure surfaces was used. The study covers the period 1951—2010.

The significant spatial and temporal variability of the air pressure over Europe and the Atlantic required the finding of a suitable method to **identify strong or very strong anticyclonic systems**. The results obtained during this study suggest that defining criteria are highly dependent on both the geographical location and the season of the year. Finally, it was assumed that a pressure system would qualify as a **strong high** if its pressure was equal or higher than **1030 hPa** and as a **very strong high** if the pressure was at least **1035 hPa**.

The annual course of the number of days meeting a given criterion became the basis for the division of the Euro-Atlantic region into **four main anticyclonic regions of the Euro-Atlantic sector** and a number of subregions. The most characteristic differences between regions involved pressure values in strong and very strong highs, their annual patterns and long-term variability of the number of days with strong and very strong highs.

The highest pressure values were found in regions featuring the strongest continental highs (more than 1060 hPa) and the lowest values in areas of the most active cyclonicity, i.e. the Iceland region (IIIA) and the Southern region (IV). The Azores High region (IIAW) stands out with the highest average pressure (1018 hPa) at the centre.

Areas of oceans and the Southern Region (IV), which covers nearly the entire area below 50°N, stand out from the rest of the sector. They are dominated by cyclonic activity and strong highs only occur for 30—40 days per year.

Strong and very strong anticyclones were mainly recorded during the cool half of the year (Oct.—Mar.). The annual maximum of the occurrence of strong and very strong highs is in winter with the exception of the Arctic where it is shifted to springtime. During the final decades of the study period, there has been a change in the timing of the annual maximum of the number of days with these systems, as well as a change in the timing of the onset and end of the season of the greatest frequency of strong and very strong highs.

Where long-term variability of strong highs were clear-cut they occurred primarily in the cool half of the year (Oct.—Mar.). They mainly included a decrease in the annual number of strong and very strong highs in the Greenland region (I) by more than four days per 10 years and an increase in that number in the Azores High (IIAW), Asian (IIAE) and Southern (IV) region. The increase began in the 1970s and was the greatest in the Southern region (up to 6 days per 10 years).

Air pressure spatial pattern types on days with strong and very strong highs were identified for each region in order to account for the role of atmospheric circulation as a climate control and for relationships existing between individual elements of circulation.

Each of the types involved two main distinctive features, namely the spatial distribution and the strength of the most important Euro-Atlantic highs, i.e. Greenland, Azores and Asian, as well as the Iceland low.

A comparison of the types of pressure pattern on days with strong and very strong highs reveals that some of them are so similar to each other that they might be regarded as common to the entire Euro-Atlantic sector. This is particularly true of the types occurring during the cool half of the year. Also some of the pressure pattern types are similar to general circulation types identified in this sector by other authors. This would mean that they should be counted among significant features of this area's atmospheric circulation.

Duration is an important characteristic describing the occurrence of pressure systems. Among the 8406 strong or very strong highs that occurred in the Euro-Atlantic sector during the study period, the dominant duration was 1—3 days and slightly more than 50% of all of them were shorter than 7 days. It was also found that the duration of these systems increased with their strength to the point that for systems with a pressure ≥ 1045 hPa it averaged at 6 days. High pressure systems in the cool half of the year (Oct.—Mar.) lasted longer than the high pressure systems in the warm half of the year. The most persistent highs develop over Greenland and in the Asian High region (IIAE).

In contrast to the rapid movement of cyclones, high pressure systems travel at a much slower pace but cover a far greater area. For this reason, **when investigating the occurrence of strong and very strong high pressure systems**, the author also identified **areas of the most frequent occurrence of their centres**, thus indirectly identifying the **paths of these systems**. The areas so-far identified formed two distinct zones:

- A belt stretching from the Azores High area on the Atlantic Ocean across Europe to the East European Lowland (Voyeykov's axis) and
- Greenland.

During the cool half of the year, the number of strong and very strong **highs of a local nature clearly increases**. These anticyclones occur over the Iberian interior, the Alps, a part of the Balkan Peninsula, the Anatolian Upland, the Caucasus and the Scandinavian Peninsula.

An analysis of the geographical extent of these two zones revealed that their location was related strongly to the annual cycle of change in atmospheric circulation and, consequently, of the highs in question.

For the first time, the results of the research project presented in this paper allowed the researchers to identify changes in the occurrence of strong and very strong highs, one of the most important elements of atmospheric circulation, over such a large spatial scale and time. The results clearly showed that in the Euro-Atlantic sector weather conditions were influenced more by the annual pattern than the long-term variability of these two pressure systems and by the great deal of regional variation discovered in their frequency of occurrence.

Zuzanna Bielec-Bąkowska

Kräftige Hochs über Europa (1951—2010)

Zusammenfassung

Die vorliegende Ausarbeitung beschäftigt sich mit der Bestimmung räumlicher und zeitlicher Differenzierung vom Auftreten kräftiger und sehr kräftiger Hochs im euro-atlantischen Bereich, beschränkt auf das Gebiet 20°N—85°N sowie 50°W—75°E. Die Grundlage für die durchgeführten Forschungen war eine umfangreiche Datensammlung von v.a. täglichen Druckmittelwerten auf dem Meeresspiegel, die für 1377 Gridpunkte im Netz mit einer räumlichen Auflösung von $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ bestimmt und den Reanalysen NCEP/NCAR entnommen sind. Als Ergänzung dazu dienten die Werte für isobare Fläche 500 hPa für die o.a. Punkte sowie zahlreiche synoptische Karten für unterschiedliche Luftdruckpegel. Das Forschungsmaterial umfasste die Langzeitperiode 1951—2010.

Beträchtliche räumliche und zeitliche Differenzierung von Druckwerten über dem europäischen und atlantischen Gebiet war der Grund für die Suche nach einem optimalen Verfahren für die **Bestimmung von Antizyklonen, die als kräftig bzw. sehr kräftig zu bezeichnen sind**. Erzielte Ergebnisse weisen darauf hin, dass die Festlegung solcher Kriterien von der geografischen Lage des jeweiligen Gebiets sowie von jeweiliger Jahreszeit stark abhängig ist. Es wurde letztendlich angenommen, dass als kräftige Hochs solche Druckgebiete bezeichnet werden können, in denen der Druck höher bzw. gleich **1030 hPa** ist, und als sehr kräftige Hochs solche, bei denen der Druck höher bzw. gleich **1035 hPa** ist.

Ein Jahresverlauf von Tagen, die solche Kriterien erfüllen, gilt als Grundlage für die **Aufteilung der euro-atlantischen Region in vier Haupt-Antizyklonen-Regionen** und einige Subregionen. Die am meisten charakteristischen Unterschiede zwischen den Regionen betrafen sowohl den Druckwert in kräftigen bzw. sehr kräftigen Hochs als auch den Jahresverlauf und die mehrjährige Variabilität von Anzahl der Tage, an denen die geforschten Druckgebiete aufgetreten sind.

Die höchsten Druckwerte waren in Regionen zu verzeichnen, in denen die kräftigsten Kontinentalhochs aufgetreten sind (von über 1060 hPa), die niedrigsten Werte dagegen in Regionen mit Zyklogenese, also isländische Region (IIIA) und Südregion (IV). Die auszeichnende Eigenschaft der Region Azorenhoch (IIAw) ist der höchste Druck-Mittelwert (1018 hPa) in Zentren von geforschten Druckgebieten.

Unter allen Regionen sind Ozeanregionen und die Südregion (IV) (zu dem beinahe das gesamte Gebiet unterhalb von 50°N gehört) besonders bemerkenswert. Sie werden durch Zyklonenaktivität geprägt, und starke Hochs treten dort durchschnittlich über ca. 30—40 Tage pro Jahr auf.

Die untersuchten Druckgebiete traten v.a. in der kälten Jahreshälfte (X—III) auf, und das Jahresmaximum für das Auftreten von kräftigen bzw. sehr kräftigen Hochs fällt am häufigsten auf Wintermonate. Eine Ausnahme davon sind arktische Gebiete, in denen es an Frühlingsmonate verschoben ist. In den letzten Dekaden der geforschten Langzeitperiode sind in meisten Regionen eine Änderung betreffend das Auftreten von maximaler Jahresanzahl von Tagen mit geforschten Gebieten sowie Änderungen betreffend den Beginn bzw. das Ende der Periode mit größter Auftrittshäufigkeit von kräftigen bzw. sehr kräftigen Hochs zu verzeichnen.

Deutliche langjährige Änderungen betreffend das Auftreten von geforschten Hochs sind hauptsächlich in der kalten Jahreshälfte (X—III) zu sehen. Sie bestanden v.a. im Rückgang der Zahl von kräftigen bzw. sehr kräftigen Antizyklonen in der grönländischen Region — I (um über 4 Tage mit kräftigen bzw. sehr kräftigen Hochs über einen Zeitraum von 10 Jahren) sowie im Anstieg von solchen in der Region Azorenhoch (IIAW) und Asiatisches Hoch (IIAE) sowie in der Südregion (IV). Der genannte Anstieg von geforschten Hochs begann seit den 70ern und war am größten in der Südregion (indem es sogar über 6 Tage innerhalb von 10 Jahren erreichte).

In Anbetracht der Rolle der Luftzirkulation bei der Klimagegestaltung sowie der Zusammenhänge zwischen einzelnen Zirkulationsbestandteilen **wurde für jede Region der Typ der Druckfeldverteilung an Tagen mit kräftigen bzw. sehr kräftigen Antizyklonen festgelegt.**

Die Hauptmerkmale von festgelegten Druckfeldtypen war die räumliche Verteilung und Intensität von wichtigsten Hochs im euro-atlantischen Bereich: grönländisches Hoch, Azorenhoch und asiatisches Hoch sowie isländisches Tief.

Bei der Analyse von Druckfeldtypen an Tagen mit kräftigen bzw. sehr kräftigen Hochs wurde festgestellt, dass manche davon sich dermaßen gleichen, dass man sie als einen gemeinsamen Typ für den gesamten euro-atlantischen Bereich betrachten kann. Es betrifft v.a. die Typen, die in der kalten Jahreshälfte auftreten. Ferner gleichen manche Druckfeldtypen den durch andere Autoren festgelegten allgemeinen Zirkulationstypen im euro-atlantischen Bereich. Dies bedeutet, dass sie zu den wesentlichen Merkmalen der atmosphärischen Luftzirkulation für das geforschte Gebiet gezählt werden können.

Ein wichtiges Merkmal zur Beschreibung des Auftretens von Druckgebieten ist ihre Dauer. Unter 8406 kräftigen bzw. sehr kräftigen Hochs, die im euro-atlantischen Bereich aufgetreten sind, überwogen Druckgebiete von 1 bis 3 Tagen, und etwas über die Hälfte von Fällen waren Druckgebiete von weniger als 7 Tagen. Es wurde auch festgestellt, dass die Dauer von geforschten Druckgebieten sich mit dem Anstieg der Hochsintensität verlängerte und betrug für Druckgebiete mit einem Druck von ≥ 1045 hPa durchschnittlich bereits 6 Tage. Eine längere Dauer zeichnete Hochs aus, die in der kalten Jahreshälfte (X—III) auftreten, sowie Antizyklonen, die über Grönland sowie in der Region des asiatischen Hochs (IIAE) entstehen.

Im Gegensatz zu den sich dynamisch verlagernden Antizyklonen sind Hochs Druckgebiete, die sich durch wesentlich langsamere Positionsänderung, dagegen aber durch eine beträchtlich größere räumliche Reichweite auszeichnen. **Aus diesem Grund wurde bei der Forschung von kräftigen bzw. sehr kräftigen Antizyklonen auch auf solche Gebiete verwiesen, in denen ihre Zentren auftraten.** Dadurch wurden mittelbar auch die Verlagerungswege für geforschte Druckgebiete bestimmt. Die auf solche Weise festgelegten Regionen bilden zwei charakteristische Zonen:

- Die 1. Zone wird durch ein Gebiet zwischen dem Auftrittsgebiet vom Azorenhoch über dem Atlantischen Ozean, über Europa bis zum Osteuropäische Tief (Voyeykov-Achse) gebildet.
- Die 2. Zone ist Grönland.

In der kalten Jahreshälfte ist eine **größere Anzahl** von kräftigen bzw. sehr kräftigen Hochs **von einem lokalen Charakter** zu sehen. Die Auftrittsgebiete für solche Antizyklonen sind: Binnenland vom iberischen Halbinsel, Alpenregion, ein Teil vom Balkanhalbinsel, anatolische Hochebene, Kaukasusregion sowie skandinavisches Halbinsel.

Eine Analyse der räumlichen Reichweite beider Zonen ergab, dass ihre Lage stark mit dem Jahreszyklus der Änderungen der atmosphärischen Zirkulation und somit des Auftretens von geforschten Hochs verbunden ist.

Die in der vorliegenden Ausarbeitung dargestellten Forschungsergebnisse ließen zum ersten Mal die Änderungen am Auftreten von kräftigen bzw. sehr kräftigen Hochs, also eines der wichtigsten Bestandteile der atmosphärischen Zirkulation, in solch einem großen räumlichen Maß und über solch einen langen Zeitraum erfassen. Die erzielten Ergebnisse wiesen deutlich darauf hin, dass im euro-atlantischen Bereich der Jahresverlauf für die Gestaltung von Witterungsverhältnissen von größerer Bedeutung als eine sich über mehrere Jahre anhaltende Variabilität des Auftretens von geforschten Druckgebieten sowie eine große regionale Differenzierung der Häufigkeit deren Auftretens ist.

Spis rycin

Rycina 1.	Obszar badań z zaznaczoną siecią punktów węzłowych (gridów)	19
Rycina 2.	Średnie dobowe wartości ciśnienia na poziomie morza [hPa] w latach 1951—2010	27
Rycina 3.	Najniższe średnie dobowe wartości ciśnienia na poziomie morza [hPa] w latach 1951—2010	27
Rycina 4.	Najwyższe średnie dobowe wartości ciśnienia na poziomie morza [hPa] w latach 1951—2010	28
Rycina 5.	Średnie dobowe wartości ciśnienia na poziomie morza [hPa] w okresie X—III i IV—IX w latach 1951—2010	29
Rycina 6.	Najniższe średnie dobowe wartości ciśnienia na poziomie morza [hPa] w okresie X—III i IV—IX w latach 1951—2010	30
Rycina 7.	Najwyższe średnie dobowe wartości ciśnienia na poziomie morza [hPa] w okresie X—III i IV—IX w latach 1951—2010	31
Rycina 8.	Rozkład przestrzenny 90, 95 i 99 percentyla dobowych wartości ciśnienia na poziomie morza [hPa] w latach 1951—2010	32
Rycina 9.	Częstość występowania poszczególnych klas dobowych wartości ciśnienia na poziomie morza w okresie IV—IX w latach 1951—2010 (uwzględniono dane ze wszystkich punktów gridowych)	35
Rycina 10.	Częstość występowania poszczególnych klas dobowych wartości ciśnienia na poziomie morza w okresie X—III w latach 1951—2010 (uwzględniono dane ze wszystkich punktów gridowych)	36
Rycina 11.	Prawdopodobieństwo [%] wystąpienia określonych wartości ciśnienia na poziomie morza w latach 1951—2010	37
Rycina 12.	Wieloletnie zmiany ciśnienia na poziomie morza [hPa] w wybranych punktach gridowych w latach 1951—2010	40
Rycina 13.	Przestrzenne zróżnicowanie typów rocznego przebiegu ciśnienia w sektorze euroatlantyckim w latach 1951—2010 — regiony ciśnienia	44
Rycina 14.	Średnie miesięczne wartości wybranych charakterystyk ciśnienia w wydzielonych regionach w sektorze euroatlantyckim w latach 1951—2010	45
Rycina 15.	Średnie miesięczne wartości ciśnienia w wydzielonych regionach w sektorze euroatlantyckim w latach 1951—2010	47

Rycina 16. Regiony antycyklonalne wydzielone na podstawie kryterium 1030 hPa i 1035 hPa	53
Rycina 17. Regiony antycyklonalne wydzielone na podstawie kryterium 95 i 99 procentyla.	54
Rycina 18. Średnia liczba dni z ciśnieniem równym lub wyższym 1030 hPa i 1035 hPa oraz średnia wartość [hPa] 95 i 99 procentyla ciśnienia w regionach antycyklonalnych w latach 1951—2010	57
Rycina 19. Regiony antycyklonalne w sektorze euroatlantyckim (1951—2010).	58
Rycina 20. Liczba dni z silnymi (≥ 1030 hPa) i bardzo silnymi (≥ 1035 hPa) wyżami w regionach antycyklonalnych w latach 1951—2010 — wartości roczne i półrocza chłodnego (X—III).	62
Rycina 21. Liczba dni z silnymi (≥ 1030 hPa) i bardzo silnymi (≥ 1035 hPa) wyżami w regionach antycyklonalnych w latach 1951—2010 — wartości półrocza ciepłego (IV—IX)	70
Rycina 22. Średnia miesięczna liczba dni z silnymi (≥ 1030 hPa) i bardzo silnymi (≥ 1035 hPa) wyżami w regionach antycyklonalnych w latach 1951—2010	72
Rycina 23. Liczba dni z silnymi (≥ 1030 hPa) i bardzo silnymi (≥ 1035 hPa) wyżami w regionach antycyklonalnych w latach 1951—2010	80
Rycina 24. Typy rozkładu ciśnienia w dniach z silnymi lub bardzo silnymi wyżami w Regionie Grenlandzkim (I) w chłodnej połowie roku (X—III) w latach 1951—2010 — na poziomie morza oraz na powierzchni izobarycznej 500 hPa	90
Rycina 25. Liczba dni z wydzielonymi typami cyrkulacji występującymi w dniach z silnymi i bardzo silnymi wyżami w Regionie Grenlandzkim (I) w półroczu chłodnym (X—III) w latach 1951—2010	93
Rycina 26. Typy rozkładu ciśnienia w dniach z silnymi lub bardzo silnymi wyżami w Regionie Grenlandzkim (I) w ciepłej połowie roku (IV—IX) w latach 1951—2010 — na poziomie morza (SLP) oraz na powierzchni izobarycznej 500 hPa	94
Rycina 27. Liczba dni z wydzielonymi typami cyrkulacji występującymi w dniach z silnymi i bardzo silnymi wyżami w Regionie Grenlandzkim (I) w półroczu ciepłym (IV—IX) w latach 1951—2010.	96
Rycina 28. Typy rozkładu ciśnienia w dniach z silnymi lub bardzo silnymi wyżami w Regionie Wyżu Azjatyckiego (IIAE) w chłodnej połowie roku (X—III) w latach 1951—2010 — na poziomie morza (SLP) oraz na powierzchni izobarycznej 500 hPa	98
Rycina 29. Typy rozkładu ciśnienia w dniach z silnymi lub bardzo silnymi wyżami w Regionie Wyżu Azorskiego (IIAW) w chłodnej połowie roku (X—III) w latach 1951—2010 — na poziomie morza (SLP) oraz na powierzchni izobarycznej 500 hPa	102
Rycina 30. Liczba dni z wydzielonymi typami cyrkulacji występującymi w dniach z silnymi i bardzo silnymi wyżami w Regionie Wyżu Azjatyckiego (IIAE) w półroczu chłodnym (X—III) w latach 1951—2010.	106
Rycina 31. Liczba dni z wydzielonymi typami cyrkulacji występującymi w dniach z silnymi i bardzo silnymi wyżami w Regionie Wyżu Azorskiego (IIAW) w półroczu chłodnym (X—III) w latach 1951—2010.	107
Rycina 32. Typy rozkładu ciśnienia w dniach z silnymi lub bardzo silnymi wyżami w Regionie Wyżu Azjatyckiego (IIAE) w ciepłej połowie roku (IV—IX)	

	w latach 1951—2010 — na poziomie morza (SLP) oraz na powierzchni izobarycznej 500 hPa	108
Rycina 33.	Typy rozkładu ciśnienia w dniach z silnymi lub bardzo silnymi wyżami w Regionie Wyżu Azorskiego (IIAW) w ciepłej połowie roku (IV—IX) w latach 1951—2010 — na poziomie morza (SLP) oraz na powierzchni izobarycznej 500 hPa	110
Rycina 34.	Liczba dni z wydzielonymi typami cyrkulacji występującymi w dniach z silnymi i bardzo silnymi wyżami w Regionie Wyżu Azjatyckiego (IIAE) w półroczu ciepłym (IV—IX) w latach 1951—2010	113
Rycina 35.	Liczba dni z wydzielonymi typami cyrkulacji występującymi w dniach z silnymi i bardzo silnymi wyżami w Regionie Wyżu Azorskiego (IIAW) w półroczu ciepłym (IV—IX) w latach 1951—2010	115
Rycina 36.	Typy rozkładu ciśnienia w dniach z silnymi lub bardzo silnymi wyżami w Regionie Islandzkim (IIIA) w chłodnej połowie roku (X—III) w latach 1951—2010 — na poziomie morza (SLP) oraz na powierzchni izobarycznej 500 hPa	116
Rycina 37.	Typy rozkładu ciśnienia w dniach z silnymi lub bardzo silnymi wyżami w Regionie Islandzkim (IIIA) w ciepłej połowie roku (IV—IX) w latach 1951—2010 — na poziomie morza (SLP) oraz na powierzchni izobarycznej 500 hPa	119
Rycina 38.	Liczba dni z wydzielonymi typami cyrkulacji występującymi w dniach z silnymi i bardzo silnymi wyżami w Regionie Islandzkim (IIIA) w chłodnej połowie roku (X—III) w latach 1951—2010	121
Rycina 39.	Liczba dni z wydzielonymi typami cyrkulacji występującymi w dniach z silnymi i bardzo silnymi wyżami w Regionie Islandzkim (IIIA) w półroczu ciepłym (IV—IX) w latach 1951—2010	122
Rycina 40.	Typy rozkładu ciśnienia w dniach z silnymi lub bardzo silnymi wyżami w Regionie Południowym (IV) w chłodnej połowie roku (X—III) w latach 1951—2010 — na poziomie morza (SLP) oraz na powierzchni izobarycznej 500 hPa	125
Rycina 41.	Typy rozkładu ciśnienia w dniach z silnymi lub bardzo silnymi wyżami w Regionie Południowym (IV) w ciepłej połowie roku (IV—IX) w latach 1951—2010 — na poziomie morza (SLP) oraz na powierzchni izobarycznej 500 hPa	127
Rycina 42.	Liczba dni z wydzielonymi typami cyrkulacji występującymi w dniach z silnymi i bardzo silnymi wyżami w Regionie Południowym (IV) w półroczu chłodnym (X—III) w latach 1951—2010	128
Rycina 43.	Liczba dni z wydzielonymi typami cyrkulacji występującymi w dniach z silnymi i bardzo silnymi wyżami w Regionie Południowym (IV) w półroczu ciepłym (IV—IX) w latach 1951—2010	129
Rycina 44.	Udział [%] silnych wyżów występujących w półroczu chłodnym (X—III) w ogólnej liczbie silnych antycyklonów, jakie wystąpiły odpowiednio w całym wieloleciu oraz kolejnych dekadach lat 1951—2010	135
Rycina 45.	Liczba silnych układów antycyklonalnych występujących w sektorze euroatlantyckim w latach 1951—2010 (100% — liczba układów o podanych wartościach ciśnienia)	136
Rycina 46.	Udział [%] silnych wyżów o ciśnieniu ≥ 1045 hPa występujących w półroczu chłodnym (X—III) w ogólnej liczbie silnych antycyklonów, jakie	

	wystąpiły odpowiednio w całym wieloleciu oraz kolejnych dekadach lat 1951—2010	137
Rycina 47.	Liczba układów antycyklonalnych o ciśnieniu w centrum układu ≥ 1030 hPa w sektorze euroatlantyckim w latach 1951—2010	140
Rycina 48.	Liczba układów antycyklonalnych o ciśnieniu w centrum układu większym lub równym wybranym wartościom ciśnienia w sektorze euroatlantyckim w latach 1951—2010	141
Rycina 49.	Czas trwania silnych układów antycyklonalnych występujących w sektorze euroatlantyckim w latach 1951—2010	144
Rycina 50.	Silny wyż nad Grenlandią (9.01—28.02.1966) — 26.01.1966	145
Rycina 51.	Liczba silnych wyżów występująca w sektorze euroatlantyckim w kolejnych dziesięcioleciach okresu 1951—2010 — podział według czasu trwania układu [dni]	148
Rycina 52.	Liczba silnych układów antycyklonalnych występujących w sektorze euroatlantyckim w latach 1951—2010 — czas trwania układów trwających krócej niż 31 dni (w wybranych miesiącach)	150
Rycina 53.	Częstość występowania silnych i bardzo silnych układów wysokiego ciśnienia w regionach antycyklonalnych w latach 1951—2010	154
Rycina 54.	Udział [%] silnych wyżów występujących w półroczu chłodnym (X—III) w ogólnej liczbie silnych antycyklonów w regionach antycyklonalnych w wieloleciu i kolejnych dziesięcioleciach lat 1951—2010	156
Rycina 55.	Czas trwania silnych układów antycyklonalnych występujących w wybranych regionach antycyklonalnych w latach 1951—2010 — układy o ciśnieniu ≥ 1030 hPa	160
Rycina 56.	Czas trwania silnych układów antycyklonalnych występujących w wybranych regionach antycyklonalnych w latach 1951—2010 — układy o ciśnieniu ≥ 1035 hPa	162
Rycina 57.	Rozkład przestrzenny występowania centrów silnych układów antycyklonalnych w sektorze euroatlantyckim w latach 1951—2010	169
Rycina 58.	Rozkład przestrzenny występowania centrów silnych układów antycyklonalnych w sektorze euroatlantyckim w kolejnych dziesięcioleciach okresu 1951—2010	172
Rycina 59.	Rozkład przestrzenny występowania centrów silnych układów antycyklonalnych w sektorze euroatlantyckim w kolejnych miesiącach wielolecia 1951—2010	175
Rycina 60.	Rozkład przestrzenny występowania centrów silnych układów antycyklonalnych w sektorze euroatlantyckim w półroczu chłodnym (X—III) i ciepłym (IV—IX) w latach 1951—2010	179

Spis tabel

Tabela 1.	Wybrane charakterystyki statystyczne wartości ciśnienia w sektorze euroatlantyckim w latach 1951—2010	26
Tabela 2.	Największa częstość występowania określonych wartości ciśnienia w wybranych rejonach sektora euroatlantyckiego w latach 1951—2010	38
Tabela 3.	Wybrane charakterystyki statystyczne zmian dobowych wartości ciśnienia w wybranych punktach gridowych w latach 1951—2010.	41
Tabela 4.	Wybrane charakterystyki statystyczne średnich wartości ciśnienia na poziomie morza [hPa] w wydzielonych regionach w sektorze euroatlantyckim w latach 1951—2010	46
Tabela 5.	Najwyższa i najniższa średnia miesięczna wartość 95 i 99 percentyla ciśnienia [hPa] w wydzielonych regionach antycyklonalnych (wg kryterium 95 i 99 percentyla) w latach 1951—2010	56
Tabela 6.	Najwyższa i najniższa średnia miesięczna liczba dni z ciśnieniem wyższym lub równym 1030 hPa i 1035 hPa w wydzielonych regionach antycyklonalnych (wg kryterium 1030 hPa i 1035 hPa) w latach 1951—2010	56
Tabela 7.	Wybrane charakterystyki ciśnienia w regionach antycyklonalnych wydzielonych według kryterium percentyli oraz kryterium liczby dni z silnym lub bardzo silnym wżem (1951—2010)	58
Tabela 8.	Wybrane charakterystyki liczby dni z silnymi (≥ 1030 hPa) i bardzo silnymi (≥ 1035 hPa) wżami w regionach antycyklonalnych w latach 1951—2010	60
Tabela 9.	Udział [%] liczby dni z ciśnieniem ≥ 1030 hPa i ≥ 1035 hPa występujących w chłodnej (X—III) i ciepłej (IV—IX) połowie roku w ogólnej liczbie dni z silnymi i bardzo silnymi wżami w regionach antycyklonalnych w latach 1951—2010	61
Tabela 10.	Tendencja zmian liczby dni z silnymi (≥ 1030 hPa) i bardzo silnymi (≥ 1035 hPa) wżami w regionach antycyklonalnych w latach 1951—2010	64
Tabela 11.	Średnia miesięczna liczba dni z silnymi (≥ 1030 hPa) i bardzo silnymi (≥ 1035 hPa) wżami w regionach antycyklonalnych w latach 1951—2010	74
Tabela 12.	Średnia miesięczna wartość 95 i 99 percentyla ciśnienia [hPa] w wydzielonych regionach antycyklonalnych w latach 1951—2010	75

Tabela 13. Liczba przypadków, w których roczne maksimum częstości dni z silnymi (≥ 1030 hPa) i bardzo silnymi (≥ 1035 hPa) wyżami w regionie IV spadało w określonym miesiącu (1951—2010)	83
Tabela 14. Częstość występowania wydzielonych typów rozkładu pola ciśnienia dla poszczególnych regionów antycyklonalnych w latach 1951—2010	87
Tabela 15. Liczba dni z wybranymi średnimi dobowymi wartościami ciśnienia oraz ich udział w liczbie dni półrocza ciepłego (IV—IX) i chłodnego (X—III) w wybranych regionach antycyklonalnych w latach 1951—2010	88
Tabela 16. Wybrane charakterystyki liczby dni z określonym typem cyrkulacji w dniach z silnymi i bardzo silnymi wyżami występującymi w Regionie Grenlandzkim (I) w półroczu chłodnym (X—III) w latach 1951—2010	91
Tabela 17. Wybrane charakterystyki liczby dni z określonym typem cyrkulacji w dniach z silnymi i bardzo silnymi wyżami występującymi w Regionie Grenlandzkim (I) w półroczu ciepłym (IV—IX) w latach 1951—2010	97
Tabela 18. Wybrane charakterystyki typów cyrkulacji w dniach z silnymi i bardzo silnymi wyżami występujących w Regionie Grenlandzkim (I), Azjatyckim (IIAE) i Azorskim (IIAW) w półroczu chłodnym (X—III) w latach 1951—2010	100
Tabela 19. Tendencja zmian liczby dni z wydzielonymi typami cyrkulacji w wybranych regionach antycyklonalnych w półroczu chłodnym (X—III) w latach 1951—2010	104
Tabela 20. Tendencja zmian liczby dni z wydzielonymi typami cyrkulacji [liczba dni / 10 lat] w wybranych regionach antycyklonalnych w półroczu ciepłym (IV—IX) w latach 1951—2010	112
Tabela 21. Tendencja zmian liczby dni z wydzielonymi typami cyrkulacji [liczba dni / 10 lat] w Regionie Islandzkim (IIIA) w latach 1951—2010	120
Tabela 22. Tendencja zmian liczby dni z wydzielonymi typami cyrkulacji [liczba dni / 10 lat] w Regionie Południowym (IV) w latach 1951—2010	130
Tabela 23. Częstość [%] występowania silnych wyżów w sektorze euroatlantyckim w poszczególnych dziesięcioleciach okresu 1951—2010 (suma wartości dla wszystkich dziesięcioleci = 100%)	138
Tabela 24. Tendencja zmian liczby silnych układów antycyklonalnych w sektorze euroatlantyckim w latach 1951—2010 [liczba dni / 10 lat].	139
Tabela 25. Liczba silnych wyżów trwających 15 i więcej dni w sektorze euroatlantyckim w latach 1951—2010	147
Tabela 26. Czas trwania oraz ciśnienie w centrum najdłuższej trwającego układu wysokiego ciśnienia w sektorze euroatlantyckim w latach 1951—2010 w poszczególnych miesiącach	149
Tabela 27. Średnia liczba silnych i bardzo silnych wyżów występująca w regionach antycyklonalnych w latach 1951—2010	152
Tabela 28. Udział wyżów o ciśnieniu ≥ 1035 hPa w ogólnej liczbie silnych wyżów [%] w regionach antycyklonalnych w latach 1951—2010	153
Tabela 29. Udział [%] wyżów występujących w chłodnej połowie roku (X—III) w regionach antycyklonalnych w latach 1951—2010	153
Tabela 30. Zakres zmian częstości występowania wyżów w regionach antycyklonalnych w kolejnych dziesięcioleciach lat 1951—2010	158
Tabela 31. Tendencja zmian liczby silnych układów antycyklonalnych w sektorze euroatlantyckim w latach 1951—2010 [liczba dni / 10 lat]	159

Tabela 32. Udział [%] wyżów występujących w wybranych regionach antycyklonalnych trwających 15 i więcej dni w porównaniu z liczbą wszystkich wyżów, jakie wystąpiły w latach 1951—2010 160

Spis załączników

- Załącznik 1. Regiony antycyklonalne w sektorze euroatlantyckim (1951—2010), (wklejka)
- Załącznik 2. Typy rozkładu ciśnienia na poziomie morza [hPa] w dniach z silnymi lub bardzo silnymi wyżami w Regionie Grenlandzkim (I), Regionie Wyżu Azjatyckiego (IIAE) i Wyżu Azorskiego (IIAW) w chłodnej połowie roku (X—III) w latach 1951—2010, (wklejka)
- Załącznik 3. Typy rozkładu ciśnienia na poziomie morza [hPa] w dniach z silnymi lub bardzo silnymi wyżami w Regionie Grenlandzkim (I), Regionie Wyżu Azjatyckiego (IIAE) i Wyżu Azorskiego (IIAW) w ciepłej połowie roku (IV—IX) w latach 1951—2010, (wklejka)
- Załącznik 4. Typy rozkładu ciśnienia na poziomie morza [hPa] w dniach z silnymi lub bardzo silnymi wyżami w Regionie Islandzkim (III_A) i Regionie Południowym (IV) w chłodnej połowie roku (X—III) w latach 1951—2010, (wklejka)
- Załącznik 5. Typy rozkładu ciśnienia na poziomie morza [hPa] w dniach z silnymi lub bardzo silnymi wyżami w Regionie Islandzkim (III_A) i Regionie Południowym (IV) w ciepłej połowie roku (IV—IX) w latach 1951—2010, (wklejka)

Spis treści

1. Wprowadzenie	5
1.1. Układy wysokiego ciśnienia jako ważny element cyrkulacji atmosfery . . .	8
1.2. Cel i zakres pracy	16
1.3. Materiał badawczy i metody badań	18
2. Charakterystyka rozkładu ciśnienia w sektorze euroatlantyckim w latach 1951—2010	25
3. Regionalne zróżnicowanie rocznego przebiegu ciśnienia w sektorze euroatlantyckim w latach 1951—2010	43
4. Regiony występowania silnych antycyklonów w sektorze euroatlantyckim	49
4.1. Definicja silnych układów antycyklonalnych	51
4.2. Regiony antycyklonalne	52
4.3. Zmienność wieloletnia i roczny przebieg występowania silnych wyżów . . .	59
4.3.1. Silne wyży występujące w chłodnej połowie roku (X—III)	62
4.3.2. Bardzo silne wyży występujące w chłodnej połowie roku (X—III) . . .	67
4.3.3. Silne i bardzo silne wyży występujące w ciepłej połowie roku (IV—IX)	68
4.3.4. Silne i bardzo silne wyży — przebieg roczny	72
5. Typy rozkładu pola ciśnienia podczas występowania silnych układów antycyklonalnych	85
5.1. Wyznaczanie typów rozkładu pola ciśnienia, którym towarzyszyło występowanie silnych układów antycyklonalnych	85
5.2. Typy rozkładu pola ciśnienia podczas występowania silnych układów antycyklonalnych	88
5.2.1. Silne i bardzo silne wyży w Regionie Grenlandzkim	89
5.2.2. Silne i bardzo silne wyży w Regionie Wyżu Azjatyckiego i Wyżu Azorskiego	98
5.2.3. Silne wyży w Regionie Islandzkim	116
5.2.4. Silne i bardzo silne wyży w Regionie Południowym	123

6. Liczba oraz czas trwania silnych układów antycyklonalnych	133
6.1. Roczna i wieloletnia zmienność występowania silnych wyżów	134
6.2. Czas trwania silnych wyżów	142
6.3. Roczna i wieloletnia zmienność występowania silnych wyżów w regionach antycyklonalnych	151
6.4. Czas trwania silnych wyżów w regionach antycyklonalnych	160
7. Przestrzenny rozkład występowania centrów silnych układów antycyklonalnych w sektorze euroatlantycznym w latach 1951—2010	167
7.1. Przestrzenny rozkład występowania centrów silnych układów antycyklonalnych — zmienność wieloletnia	168
7.2. Przestrzenny rozkład występowania centrów silnych układów antycyklonalnych — przebieg roczny	174
8. Podsumowanie i wnioski	181
Literatura	187
Summary	203
Zusammenfassung	205
Spis rycin	209
Spis tabel	213
Spis załączników	217

Zdjęcie na okładce: Tomasz Bielec

Redaktor: Barbara Todos-Burny

Projektant okładki: Magdalena Starzyk

Łamanie: Edward Wilk

Copyright © 2014 by
Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego
Wszelkie prawa zastrzeżone

ISSN 0208-6336

ISBN 978-83-226-2286-5

(wersja papierowa)

ISBN 978-83-8012-000-6

(wersja elektroniczna)

Wydawca

Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego

ul. Bankowa 12B, 40-007 Katowice

www.wydawnictwo.us.edu.pl

e-mail: wydawus@us.edu.pl

Wydanie I. Ark. druk. 14,0 + 5 wklejek. Ark. wyd. 18,0.
Papier offset. kl. III, 90 g Cena 44 zł (+ VAT)

Druk i oprawa: PPHU TOTEM s.c.

M. Rejnowski, J. Zamiara

ul. Jacewska 89, 88-100 Inowrocław



Więcej o książce



CENA 44 ZŁ
(+ VAT)

ISSN 0208-6336
ISBN 978-83-8012-000-6