

Zuzanna Bielec-Bąkowska¹, Katarzyna Piotrowicz²

¹Instytut Nauk o Ziemi, Wydział Nauk Przyrodniczych, Uniwersytet Śląski w Katowicach
e-mail: zuzanna.bielec-bakowska@us.edu.pl

²Zakład Klimatologii, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Jagielloński
e-mail: k.piotrowicz@uj.edu.pl

Trwałość układów wysokiego ciśnienia nad Europą w latach 1901–2018

Persistence of high pressure systems over Europe in the years 1901–2018

Streszczenie: Jedną z głównych przyczyn zmian warunków klimatycznych poszczególnych regionów są zmiany cyrkulacji atmosferycznej, zwłaszcza intensywności i częstości występowania układów barycznych. Z tego powodu celem niniejszej pracy jest określenie prawidłowości występowania układów wysokiego ciśnienia nad Europą w latach 1901–2018. Badania przeprowadzono na podstawie średnich dobowych wartości ciśnienia atmosferycznego na poziomie morza z 14 stacji. Za dzień z wysokim ciśnieniem uznano taki, w którym ciśnienie wynosiło przynajmniej 1020 hPa. Szczególną uwagę zwrócono na występowanie dni z ciśnieniem równym lub wyższym niż 1030 hPa (silny wyże) i 1035 hPa (bardzo silny wyże). Niezależnie od przyjętego kryterium nie stwierdzono wyraźnych tendencji zmian liczby dni z rozpatrywanymi wartościami ciśnienia, a ich częstość i przebieg roczny wskazywały na wyraźną dominację układów wysokiego ciśnienia w chłodnej połowie roku. Dni z analizowanymi progowymi wartościami ciśnienia najczęściej grupowały się w ciągach krótkotrwałych (1- lub 2–5-dniowych) i poza kilkoma stacjami położonymi w środkowej części badanego obszaru nie stwierdzono zmian ich występowania. Na większości stacji nie zaobserwowano także zauważalnej zmiany trwałości układów wysokiego ciśnienia. Niewielki jej wzrost odnotowano jedynie w Heraklionie, Wiedniu i Dublinie.

Słowa kluczowe: cyrkulacja atmosfery, silne wyże, zmienność wieloletnia, Europa

Summary: One of the main causes of climate change in the individual regions are changes in atmospheric circulation, especially the strength and frequency of baric systems occurrence. For this reason, the objective of the research was to determine the regularities of

the high pressure systems occurrence over Europe in the years 1901–2018. The analysis was based on the average daily values of atmospheric pressure measured at sea level from 14 meteorological stations. A day with high pressure system was considered to be one in which the pressure value was equal to or higher than 1020 hPa. Particular attention was paid to the occurrence of days with a pressure equal to or higher than 1030 hPa (strong high) and 1035 hPa (very high high). Regardless of the criterion adopted, there were no clear trends of changes in the number of days considered, and their frequency and annual course indicated a clear dominance of high pressure systems occurring in the cool half of the year. Days with the analyzed pressure values most often occurred in short-term sequences of days (1- or 2–5-days) and except for a few stations located in the center of the area under consideration, no significant trend of their changes was found. At most stations there also was no noticeable change in the persistence of high pressure systems. A slight increase was recorded only in Heraklion, Vienna and Dublin.

Keywords: atmospheric circulation, strong highs, long-term variability, Europe

Wstęp

Cyrkulacja atmosferyczna ma bardzo duży wpływ na przebieg pogody i warunki klimatyczne. Zdaniem Slonosky'ego i in. (2000) szczególnie regiony umiarkowanych szerokości geograficznych, w których zlokalizowana jest też Europa, są bardzo czułe na zmiany i zmienność makro- i mezoskalowej cyrkulacji. Zainteresowania naukowców skupione są m.in. na analizie fluktuacji tzw. centrów działania atmosfery (atmospheric centres of action – ACAs; Zhang i in. 1995, Falarz 2009, 2019, Zheleznova, Gushchina 2016). Stwierdzono m.in., że zmiany ciśnienia na poziomie morza w Niżu Islandzkim i Wyżu Azorskim w styczniu wyjaśniają w około 40% zmienność temperatury powietrza w Europie Środkowej (Falarz 2009). Każda więc zmiana lokalizacji stałych ośrodków barycznych, nawet niewielka, może mieć wpływ na zmianę cyrkulacji i klimatu na różnych obszarach kuli ziemskiej. Falarz (2019) na podstawie danych z lat 1948–2018 stwierdziła w styczniu tendencję wzrostową ciśnienia atmosferycznego w centrum Wyżu Azorskiego wynoszącą 0,63 hPa na 10 lat oraz jego przesunięcie z południowego zachodu na północny wschód od lat 90. XX wieku i ponownie przesunięcie na południowy zachód w XXI wieku. Co ważne, z powodu utrzymującej się wysokiej temperatury powierzchni Atlantyku Wyż Azorski nie osłabia swojej aktywności zimą, jak to miało miejsce jeszcze kilka dekad temu (Falarz 2019).

Ważnym aspektem, w kontekście badań cyrkulacji nad Europą, jest analiza zmian i zmienności występowania tzw. głębokich niżów, m.in. szlaków ich przemieszczania się, ale również silnych układów wyżowych, blokujących cyrkulację strefową (Bielec-Bąkowska 2010a, 2014). Takie wyże mogą utrzymywać się przez dłuższy czas i determinować warunki pogodowe na znacznym obszarze kontynentu. Dlatego też prowadzono badania związane z analizą zmienności takich układów barycznych w ujęciu czasowym i przestrzennym (Kłysik 1995, Mächel i in. 1998, Falarz 2009, 2019, Iqbal i in. 2013). W niniejszej pracy zwrócono natomiast uwagę na trwałość utrzymywania się takich układów barycznych

w Europie, przy czym analizie poddano nie same układy baryczne, a liczbę dni z ciśnieniem powyżej lub równym 1020, 1030 i 1035 hPa na 14 stacjach w Europie, wykorzystując w tym celu serie pomiarów od 1901 roku (118 lat). Określono również tendencję zmian analizowanych dni i ich ciągów o określonej długości.

Materiały i metoda opracowania

Podstawą przeprowadzonych badań były średnie dobowe wartości ciśnienia atmosferycznego zredukowanego do poziomu morza na 14 europejskich stacjach z lat 1901–2018. Dane te pochodzą z baz danych: European Climate Assessment & Dataset (ECA&D) (<http://eca.knmi.nl>) i Ogimet (<https://www.ogimet.com>), a także ze Stacji Naukowej Zakładu Klimatologii Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie. Wybrane stacje reprezentują znaczną część Europy, od około 6°W do 25°E oraz od około 35°N do 67°N i wysokość od 1 do 273 m n.p.m. (ryc. 1). Wśród uwzględnionych w pracy stacji: Bodo, Haparanda, Bergen, Visby, Thyboron, Dublin, De Bilt, Berlin, Kraków, Wiedeń, Lugano, Zagrzeb, Korfu, Heraklion, stacje położone na południu kontynentu miały krótsze serie pomiarowe. Dotyczy to stacji Korfu (dane z okresu 1955–2009) oraz Heraklion (dane z lat 1955–2018). Wykorzystane dane zostały sprawdzone pod względem jednorodności. Ostatecznie wybrano te, które okazały się homogeniczne. Jedynie w przypadku kilku serii odnotowano pojedyncze braki w danych, które zostały uzupełnione poprzez porównanie ich z danymi z innych dostępnych serii pomiarowych położonych najbliższej uzupełnianej stacji.

Rozpatrując występowanie i trwałość układów wysokiego ciśnienia nad analizowanym obszarem, analizie poddano przede wszystkim wartość ciśnienia oraz liczbę dni, w których utrzymywała się ona na określonym poziomie. W tym opracowaniu wyznacznikiem wystąpienia układu wysokiego ciśnienia było odnotowanie średniej dobowej wartości ciśnienia atmosferycznego wyższego lub równego 1020 hPa. Kryterium to jest oczywiście dyskusyjne, ponieważ w celu pewnej identyfikacji układu barycznego przy takich wartościach ciśnienia należałoby sprawdzić także wartości wirowości pola ciśnienia. Jednocześnie podstawą analizy nie są wartości chwilowe, a średnie dobowe. Przyjęte w pracy założenia wynikają z faktu, że celem opracowania było wskazanie na istnienie bardziej długotrwałych warunków cyrkulacyjnych panujących nad określonym obszarem i wykluczenie przypadków ograniczonego oddziaływania wyżów w danym regionie.

Szczególną uwagę poświęcono występowaniu silnych i bardzo silnych układów wysokiego ciśnienia. Podstawą ich wyróżnienia były wartości równe lub wyższe niż 1030 i 1035 hPa. Tak wyznaczone kryterium wydzielenia siły rozpatrywanych układów wynika z zasad przyjętych w literaturze (Kłysik 1995, Kożuchowski 1995) oraz jest zbliżone do powszechnie uznawanych wartości określających ekstremalne zdarzenia klimatyczne (wyznaczanych przez odpowiednio: 1, 5 i 10 lub 90, 95 i 99 percentyl wszystkich wartości danego elementu; IPCC 2007, Labajo i in. 2008). Bardziej szczegółowe wyjaśnienia przyjętego założenia odnajdzie



Ryc. 1. Lokalizacja stacji

Fig. 1. Location of meteorological stations

czytelnik we wcześniejszych pracach poświęconych występowaniu układów wysokiego ciśnienia (Bielec-Bąkowska 2010a, b, Bielec-Bąkowska, Piotrowicz 2011).

Do określenia trwałości układów wyżowych wykorzystano ciągi dni z przyjętymi progami ciśnienia. Jeśli z dnia na dzień ciśnienie było wyższe lub równe przyjętym wartościom progowym, to określono jego trwałość rozumianą jako długość ciągu takich dni. Ze względu na czas trwania wyróżniono ciągi jednodniowe, krótkotrwałe (2–5 dni), średniotrwałe (6–15 dni), długotrwałe (16–30 dni) i bardzo długotrwałe (>30 dni). Taki podział sprawdził się nie tylko w przypadku ciągów dni termicznych (Mrugała 1987/88, Piotrowicz 2000, 2003) i bezopadowych (Radzka 2014), ale również przy analizie długotrwałości mas powietrza (Kotas, Twardosz 2012) i typów pogody (Piotrowicz 2010).

Do analizy wieloletniej zmienności badanych dni i ich ciągów posłużono się wskaźnikiem trwałości. Stanowi on iloraz liczby dni i liczby ich ciągów. Jeśli liczba dni odpowiadała liczbie ciągów, to wartość wskaźnika równała się 1. Zatem im większa jego wartość, tym analizowane dni grupowały się w dłuższych ciągach. Wartości rozpatrywanego wskaźnika obliczono dla poszczególnych lat, ale podano również jego wartość średnią dla całego wielolecia. Tendencję zmian określono na podstawie równania prostej regresji, a jej istotność statystyczną na poziomie 0,05.

Przestrzenna i czasowa zmienność ciśnienia atmosferycznego

Zarówno wartości ciśnienia, jak i czasowe ich zmiany nad obszarem Europy są silnie uzależnione od położenia badanego obszaru w stosunku do barycznych centrów oddziaływania atmosfery oraz szlaków najczęstszego przemieszczania się niżów umiarkowanych szerokości. Wśród wybranych do analizy stacji najniższymi średnimi dobowymi wartościami ciśnienia charakteryzowały się te położone w Skandynawii (od 1008,8 hPa w Bodo do 1011,1 hPa w Bergen), największymi natomiast te na południe od około 50°N (od 1016,2 hPa w Wiedniu i Lugano do 1016,8 hPa w Krakowie; tab. 1). Jednocześnie w północnych regionach Europy zakres zmian dobowych wartości ciśnienia był największy. Potwierdzają to dwu-, a nawet trzykrotnie większe wartości wskaźników zmienności niż na południu kontynentu oraz zakres zmian dobowych wartości ciśnienia. W rozpatrywanym wieloleciu na pięciu z najbardziej na północ wysuniętych stacjach przekroczył on 100 hPa, podczas gdy na stacji Heraklion wynosił zaledwie 48,1 hPa. Największe ze wspomnianych zakresy zmian ciśnienia związane są z jednej strony z głębokimi i dynamicznymi niżami przemieszczającymi się nad północnymi obszarami Europy, z drugiej natomiast z silnymi zimowymi wyżami znad Azji lub Arktyki czy też układami powstającymi nad Półwyspem Skandynawskim i obejmującymi swoim zasięgiem znaczną część kontynentu. Cyrkulacja atmosfery nad południowymi obszarami kontynentu znacząco się różni od opisanej powyżej. Rozpatrywany obszar bardzo często pozostaje pod wpływem wyżów zwrotnikowych lub stref podwyższonego ciśnienia. Efektem takiego rozkładu ciśnienia były stosunkowo wysokie najniższe z odnotowanych na południu Europy dobowe wartości ciśnienia (987,1 hPa w Heraklionie w porównaniu do 943,0 hPa w Bergen) oraz wyraźnie niższe wartości najwyższe (1034,2 hPa w Heraklionie w porównaniu do 1060,3 hPa w Visby). Dużą zmienność ciśnienia potwierdza również częstość występowania określonych jego wartości. W przypadku wartości wyższych lub równych 1010 hPa wzrasta ona z północy na południe od około 50% w Bodo do 83% w Heraklionie. Podobny wzrost, z około 89% do 99%, obserwuje się, rozpatrując częstość występowania ciśnienia w zakresie od 990 do 1030 hPa (tab. 1).

Opisywane zmiany znajdują także odzwierciedlenie w przebiegu rocznym. Na stacjach północnych najwyższe średnie miesięczne wartości ciśnienia zwykle przyspadały w okresie letnim (ok. 1014–1015 hPa), najniższe natomiast zimą (ok. 1004–1012 hPa; ryc. 2). W regionach podlegających wyjątkowo silnej działalności cyklonalnej, reprezentowanych przez stacje Dublin i De Bilt, roczny przebieg ciśnienia był wyrównany. Średnie miesięczne wartości ciśnienia wahały się w granicach około 1014–1017 hPa. Na pozostałych stacjach wyższe ciśnienie z reguły notowane było w miesiącach chłodnej, a niższe cieplej połowy roku, przy czym zakres zmian średnich miesięcznych wartości ciśnienia wahał się od 4,5 hPa na Korfu do 6,9 w Heraklionie.

Rozpatrując wieloletnie zmiany rocznych wartości ciśnienia stwierdzono, że na większości stacji przebieg ten odznacza się dość dużym podobieństwem (współczynniki korelacji istotne statystycznie na poziomie 0,05). Do wyjątków

Tabela 1. Wybrane charakterystyki probabilistyczne ciśnienia atmosferycznego na wybranych stacjach w latach 1901–2018
 Table 1. Probability characteristics of atmospheric pressure at the selected stations in the period 1901–2018

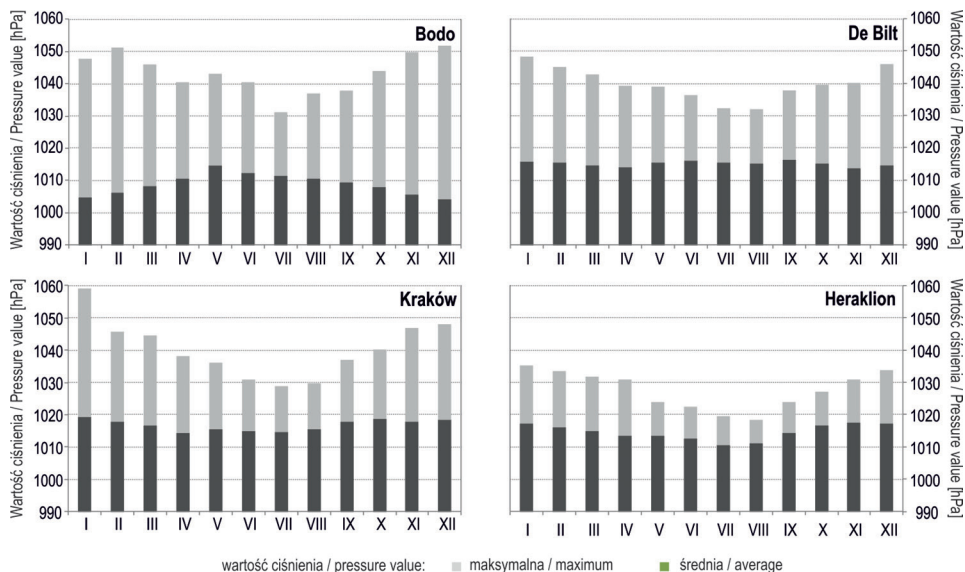
Wskaźnik/Index	Bodo	Haparranda	Bergen	Visby	Thyboron	Dublin	De Bilt	Berlin	Kraków	Wiedeń	Lugano	Zagrzeb	Korfu*	Hera-klion*
Dobowa wartość ciśnienia/Daily pressure value [hPa]														
Najniższa/The lowest	949,5	952,8	943,0	954,0	954,1	950,6	962,1	966,9	972,3	949,3	973,6	971,5	986,7	987,1
P ₀₅	986,2	989,2	988,9	993,6	993,1	991,5	997,8	999,7	1003,3	1003,0	1003,7	1004,0	1006,4	1006,7
P ₁₀	992,2	994,7	994,6	998,5	998,1	997,1	1002,3	1003,7	1006,6	1006,3	1007,0	1007,1	1009,0	1008,4
Średnia/Average	1008,8	1010,6	1011,1	1013,0	1012,9	1013,4	1015,2	1015,4	1016,8	1016,2	1016,2	1016,5	1015,8	1014,6
P ₉₀	1024,0	1025,8	1026,3	1027,1	1026,5	1027,9	1027,1	1026,7	1027,6	1026,7	1025,7	1026,8	1023,4	1021,6
P ₉₅	1027,8	1030,1	1030,1	1031,1	1030,3	1031,3	1030,3	1030,3	1031,3	1030,1	1028,8	1030,5	1026,0	1023,9
Najwyższa/The highest	1051,9	1059,8	1053,7	1060,3	1058,2	1049,6	1048,3	1056,3	1058,9	1052,1	1046,1	1057,4	1039,1	1035,2
Amplituda/Amplitude	102,4	107,0	110,7	106,3	104,1	99,0	86,2	89,4	86,6	102,8	72,5	85,9	52,4	48,1
Częstość występowania określonych dobowych wartości ciśnienia/Frequency of particular daily value of pressure occurrence [%]														
<980	2,1	1,4	1,4	0,6	0,5	0,9	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<980;990)	5,6	4,2	4,3	2,3	2,6	3,2	1,1	0,6	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0
<990;1000)	14,7	12,8	12,1	9,3	9,3	9,4	6,0	4,6	2,2	2,3	2,0	1,9	0,7	0,3
<1000;1010)	28,0	27,5	25,7	25,3	24,9	22,1	20,1	20,6	16,6	17,6	15,8	16,1	12,6	17,1
<1010;1020)	30,7	32,3	31,7	35,6	35,8	33,1	40,7	44,3	48,0	50,3	53,6	51,8	64,8	67,0
<1020;1030)	15,6	16,7	19,6	20,7	21,5	24,7	26,5	24,5	26,7	24,6	24,8	24,5	20,5	15,2
<1030;1040)	3,0	4,3	4,7	5,5	4,9	6,2	5,2	5,0	5,8	4,9	3,7	5,2	1,3	0,3
≥1040	0,3	0,8	0,5	0,7	0,5	0,4	0,3	0,3	0,5	0,2	0,1	0,3	0,0	0,0
Tendencja zmian wartości rocznych [hPa/10 lat]/Tendency of changes in annual values [hPa/10 years]														
trend	-0,056	-0,037	0,004	0,026	0,040	0,113	0,052	0,077	0,001	0,077	0,067	0,096	0,011	0,027

*Korfu – dane od 1955 do 2009 roku/data from 1955 to 2009; * Heraklion – dane od 1955 do 2018 roku/data from 1955 to 2018

P₉₀ – wartość 90 percentyla ciśnienia/90 percentile pressure value

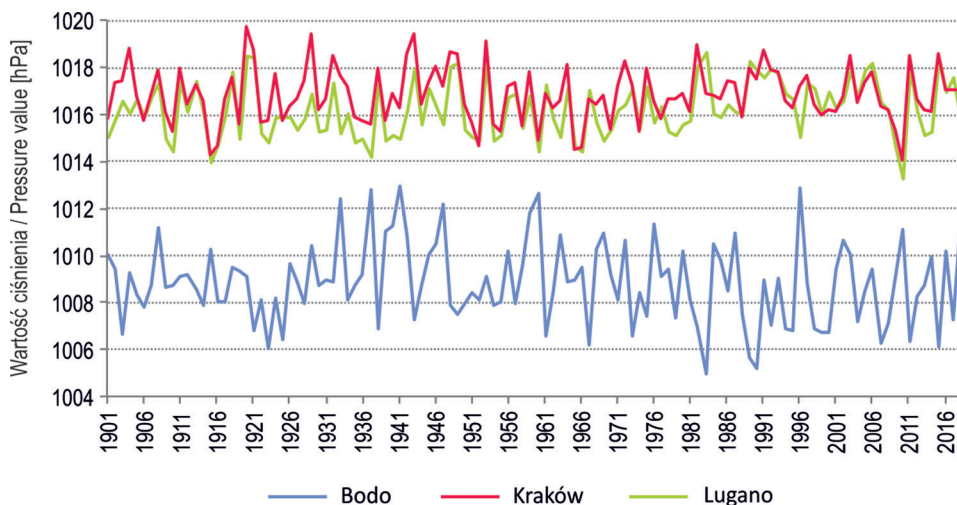
0,113 – wartość istotna statystycznie na poziomie 0,05/statistically significant value at the level of 0.05

zaliczyć należy głównie stacje reprezentujące południowe (Korfu, Heraklion i Zagrzeb) oraz północne (Bodo) obrzeża kontynentu (ryc. 3). W całym badanym wiekoleciu zmienność rocznych wartości ciśnienia nie jest zbyt duża, a najmniejsze



Ryc. 2. Średnie i maksymalne miesięczne wartości ciśnienia na wybranych stacjach w latach 1901–2018 (Heraklion – dane od 1955 do 2018 roku)

Fig. 2. Average and maximum monthly air pressure values at the selected stations in the period 1901–2018 (Heraklion – data from 1955 to 2018)



Ryc. 3. Średnie roczne wartości ciśnienia na wybranych stacjach w latach 1901–2018

Fig. 3. Average annual air pressure values at the selected stations in the period 1901–2018

odchylenia od średniej wieloletniej występowały na stacjach południowych. Najwyższe z odnotowanych rocznych wartości ciśnienia wahały się w zakresie 1012,9–1019,7 hPa, najniższe natomiast – 1005,0–1014,0 hPa. W rezultacie największy zakres zmian – 8,7 hPa – charakteryzował zmiany ciśnienia na stacji w Haparandzie, a najmniejszy – 3,5 hPa – ponownie na stacji w Heraklionie.

Warto również zwrócić uwagę na fakt, że w żadnym z analizowanych regionów nie można wskazać dłuższych okresów wyróżniających się wyższymi lub niższymi wartościami ciśnienia. Jednocześnie, poza zmianami ciśnienia na stacji Dublin, Berlin, Wiedeń i Lugano, nie stwierdzono istotnych statystycznie wieloletnich zmian wartości ciśnienia. Ponadto wielkość tendencji na wymienionych stacjach jest bardzo niewielka i oznacza wzrost ciśnienia w granicach 0,8–1,3 hPa w całym badanym okresie.

Wieloletnia i roczna zmienność dni z silnymi i bardzo silnymi wyżami

Zaprezentowane czasowe i przestrzenne zmiany wartości ciśnienia na wybranych do analizy stacjach wpływają na liczbę dni z wysokim ciśnieniem, a zwłaszcza na dni, w których poszczególne regiony znajdują się pod wpływem silnych i bardzo silnych wyżów.

Tłem do dalszej analizy są zmiany liczby dni z ciśnieniem ≥ 1020 hPa, które zwykle oznaczają występowanie nad danym obszarem układu wyżowego. W trakcie badanego wielolecia średnia roczna liczba takich dni wahała się od około 69–98 na stacjach północnych do około 104–121 na większości pozostałych stacji. Jedynie na stacjach Korfu i Heraklion nie przekroczyła 80 dni (tab. 2).

Oczywiście zdarzały się lata, w których warunki pogodowe sprzyjały utrzymywaniu się układów wysokiego ciśnienia w sumie prawie przez pół roku, a na stacji Heraklion przez 92 dni. Najczęściej dni z wysokimi wartościami ciśnienia występowały w chłodnym okresie roku (X–III), średnio stanowiąc od około 48% wszystkich dni w roku na północy do około 94% na południu kontynentu. Warto jednak zauważyć, że na stacjach północnych dni takie dominowały wiosną, co związane jest z przemieszczaniem się wyżów znad Grenlandii w kierunku Europy w kwietniu i w maju (tab. 3). W miarę wyrównany roczny przebieg średniej miesięcznej liczby analizowanych dni na stacjach Półwyspu Skandynawskiego związany był jednocześnie z małą częstością występowania dni z ciśnieniem ≥ 1020 hPa w rozpatrywanym regionie. Zwykle średnio w miesiącu notowano około 4–7 takich dni i jedynie na stacji Visby w chłodnej połowie roku wartość ta przekraczała 10 dni. Na pozostałych stacjach roczny zakres zmienności miesięcznej liczby dni z ciśnieniem ≥ 1020 hPa był znacznie większy, dochodząc nawet do ponad 13 dni (tab. 3). Wynikało to z dużej liczby badanych dni występujących zimą, średnio od ponad 10 do 16, a w niektórych latach nawet do 30–31 w miesiącu. Jedynie na stacjach znajdujących się pod silnym wpływem Morza Śródziemnego (Korfu i Heraklion) liczba dni z tak wysokim ciśnieniem była bardzo niska, a w miesiącach letnich notowano je sporadycznie.

Tabela 2. Średnia liczba dni z określonymi wartościami ciśnienia atmosferycznego na wybranych stacjach w latach 1901–2018
 Table 2. Average number of days with particular value of atmospheric pressure at the selected stations in the period 1901–2018

Okres/Period	Bodo	Haparanda	Bergen	Visby	Thyboron	Dublin	De Bilt	Berlin	Kraków	Wiedeń	Lugano	Zagrzeb	Korfu*	Heraklion*
Liczba dni z ciśnieniem ≥ 1020 hPa/Number of days with pressure ≥ 1020 hPa														
Wiosna/Spring	22,1	24,2	26,2	27,9	27,1	29,9	27,4	25,4	25,8	21,0	18,7	19,3	14,7	8,9
Lato/Summer	14,4	11,6	16,2	14,3	16,2	25,7	22,9	16,3	14,8	10,9	8,5	9,4	2,0	0,1
Jesień/Autumn	16,3	21,0	22,9	27,0	25,8	28,3	30,9	31,6	38,7	35,3	35,1	35,9	26,5	16,8
Zima/Winter	16,2	22,8	25,2	28,9	28,9	30,4	35,5	35,9	41,3	41,1	41,7	42,5	36,1	31,2
X-III	33,0	45,1	49,4	58,1	56,2	58,8	66,7	68,6	80,6	77,3	77,5	79,2	66,8	53,5
IV-IX	35,9	34,5	41,1	39,9	41,7	55,5	50,1	40,5	39,9	31,0	26,6	27,9	12,5	3,7
Rok/Year	68,9	79,6	90,5	98,1	98,0	114,4	116,8	109,2	120,6	108,4	104,1	107,2	79,6	56,9
Liczba dni z ciśnieniem ≥ 1030 hPa/Number of days with pressure ≥ 1030 hPa														
Wiosna/Spring	4,0	5,4	4,8	5,3	4,4	6,1	3,9	3,1	2,8	1,9	1,3	1,7	0,5	0,1
Lato/Summer	0,6	0,3	0,6	0,3	0,4	1,6	0,5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Jesień/Autumn	2,7	4,4	4,4	6,0	4,5	5,2	4,2	4,7	5,9	3,6	2,1	3,3	0,4	0,1
Zima/Winter	4,6	8,5	8,9	10,9	10,3	11,4	11,4	11,7	14,5	13,3	10,3	13,1	3,9	1,0
X-III	8,3	14,9	14,9	19,1	16,6	18,2	17,5	18,0	22,0	18,2	13,5	17,7	4,8	1,2
IV-IX	3,6	3,7	3,8	3,4	2,9	6,1	2,5	1,6	1,3	0,5	0,2	0,3	0,0	0,0
Rok/Year	11,8	18,6	18,8	22,5	19,6	24,3	20,0	19,6	23,3	18,7	13,6	18,0	4,8	1,2
Liczba dni z ciśnieniem ≥ 1035 hPa/Number of days with pressure ≥ 1035 hPa														
Wiosna/Spring	1,2	1,8	1,2	1,5	1,0	1,6	0,9	0,7	0,7	0,3	0,2	0,2	0,0	0,0
Lato/Summer	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Jesień/Autumn	0,7	1,6	1,0	1,7	1,1	1,2	0,7	0,9	1,3	0,5	0,1	0,4	0,0	0,0
Zima/Winter	1,8	4,4	4,3	5,2	4,4	4,9	4,5	4,7	6,0	4,4	2,5	4,4	0,3	0,0
X-III	3,1	7,0	6,0	7,9	6,1	7,0	5,8	6,1	7,9	5,2	2,8	5,0	0,3	0,0
IV-IX	0,6	0,8	0,6	0,5	0,4	0,8	0,3	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Rok/Year	3,7	7,8	6,6	8,5	6,5	7,8	6,0	6,2	8,0	5,2	2,8	5,0	0,3	0,0

*Korfu – dane od 1955 do 2010 roku; *Heraklion – dane od 1955 do 2018 roku

Opisane wyżej cechy występowania liczby dni z ciśnieniem ≥ 1020 hPa dotyczą również pojawiania się tych z silnymi i bardzo silnymi wyżami (ciśnienie ≥ 1030 i ≥ 1035 hPa). Należy jednak zwrócić uwagę na niewielką liczbę silnych i bardzo silnych układów wysokiego ciśnienia kształtujących pogodę na badanym obszarze. Poza najbardziej południowymi obrzeżami Europy średnia roczna liczba dni z silnymi wyżami wahała się od 11,8 dnia w Bodo do 24,3 dnia w Haparandzie oraz 2,8 dnia z bardzo silnymi wyżami w Lugano do 8,5 dnia w Visby (tab. 2). Oznacza to, że dni z silnymi wyżami stanowiły od 13,1% dni z ciśnieniem ≥ 1020 hPa w Lugano do 23,4% w Haparandzie, a z bardzo silnymi wyżami od 2,7% w Lugano do 9,8% w Haparandzie. Inną charakterystyczną cechą rocznej zmienności omawianych dni jest ich brak lub sporadyczne występowanie latem oraz wyraźna przewaga tak silnych układów barycznych w chłodnej połowie roku, a szczególnie zimą (tab. 4, 5). Liczba silnych wyżów występujących w okresie X–III stanowiła około 70–100% wszystkich rozpatrywanych dni, a bardzo silnych układów 80–100%.

Ponownie najbardziej wyróżniało się występowanie dni z wysokim i bardzo wysokim ciśnieniem na stacji Korfu i Heraklion. Na pierwszej w ciągu 54 lat odnotowano jedynie 263 dni z ciśnieniem ≥ 1030 hPa oraz 79 dni z ciśnieniem ≥ 1035 hPa, w tym odpowiednio tylko 2 i 1 dzień w okresie IV–IX. Jeszcze rzadziej

Tabela 3. Średnia miesięczna liczba dni z ciśnieniem ≥ 1020 hPa na wybranych stacjach w latach 1901–2018

Table 3. Average monthly number of days with air pressure ≥ 1020 hPa at the selected stations in the period 1901–2018

Stacja Station	Miesiące/Months											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Bodo	5,6	5,8	6,2	6,3	9,5	5,7	4,5	4,2	5,7	5,8	4,8	4,8
Haparanda	8,0	7,9	8,0	7,3	9,0	3,9	3,3	4,4	6,6	7,4	7,0	6,8
Bergen	8,5	9,1	9,1	7,5	9,6	6,3	4,9	5,1	7,7	8,5	6,7	7,6
Visby	10,3	9,5	10,5	8,0	9,4	5,5	4,0	4,9	8,2	10,3	8,4	9,1
Thyboron	10,2	9,9	10,1	7,9	9,2	6,2	4,9	5,1	8,5	9,4	7,8	8,9
Dublin	10,0	10,4	10,0	10,1	9,8	9,7	8,4	7,6	9,9	9,2	9,2	10,0
De Bilt	12,5	11,3	10,6	8,3	8,5	8,4	7,5	7,0	10,4	10,6	9,9	11,8
Berlin	13,0	11,2	10,7	6,8	7,8	6,0	4,8	5,4	9,6	11,6	10,4	11,8
Kraków	14,9	12,1	11,9	6,7	7,2	5,0	4,0	5,7	11,3	14,3	13,1	14,3
Wiedeń	15,2	11,7	10,5	5,3	5,3	3,9	3,1	3,9	9,6	13,2	12,5	14,3
Lugano	15,8	11,6	9,9	4,7	4,1	3,3	2,3	2,9	9,3	13,2	12,6	14,4
Zagrzeb	16,0	11,9	10,3	4,8	4,3	3,3	2,7	3,4	9,4	13,5	13,0	14,7
Korfu*	13,8	10,3	8,2	3,8	2,7	1,4	0,3	0,3	4,0	10,6	12,0	12,2
Heraklion*	11,3	8,4	6,1	2,0	0,8	0,1	0,0	0,0	0,8	5,9	10,1	11,4

*Korfu – dane od 1955 do 2009 roku/data from 1955 to 2009; *Heraklion – dane od 1955 do 2018 roku/data from 1955 to 2018

obserwowano dni z silnymi i bardzo silnymi wyżami na stacji Heraklion. W całym badanym wieloleciu (64 lata) dni z ciśnieniem ≥ 1030 hPa stwierdzono jedynie 14, wszystkie od grudnia do lutego, oraz 1 dzień – 4 stycznia 1989 roku, kiedy średnia dobowa wartość ciśnienia przekroczyła 1035 hPa.

Wieloletnia zmienność liczby dni z rozpatrywanymi wartościami ciśnienia, podobnie jak zmian wartości ciśnienia, wskazuje na duże podobieństwa pomiędzy stacjami (ryc. 4). Były one najsilniejsze w przypadku liczby dni z ciśnieniem ≥ 1020 hPa oraz pomiędzy położonymi blisko siebie stacjami (współczynniki korelacji istotne statystycznie na poziomie 0,05). Większe różnice widoczne były głównie w przypadku porównywania liczby badanych dni na północnych i południowych krańcach analizowanego obszaru. Wzrastają one jeszcze bardziej, gdy bierzemy pod uwagę występowanie silnych i bardzo silnych układów wysokiego ciśnienia. W przypadku dni z ciśnieniem ≥ 1030 i 1035 hPa podobieństwa w ich występowaniu na stacjach reprezentujących Półwysep Skandynawski oraz południe kontynentu ograniczają się tylko do zmian w najbliższym położonym obszarze.

Zakres zmiany rocznej liczby badanych dni zależy od położenia analizowanego regionu. W rozpatrywanym wieloleciu wahał się on w granicach 70–112 dni w przypadku dni z ciśnieniem ≥ 1020 hPa, 9–49 oraz 1–32 dni w przypadku silnych i bardzo silnych układów wysokiego ciśnienia. Najmniejsze zmiany

Tabela 4. Średnia miesięczna liczba dni z ciśnieniem ≥ 1030 hPa na wybranych stacjach w latach 1901–2018

Table 4. Average monthly number of days with air pressure ≥ 1030 hPa at the selected stations in the period 1901–2018

Stacja Station	Miesiące/Months											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Bodo	1,7	1,6	1,6	1,0	1,4	0,4	0,1	0,1	0,6	1,0	1,0	1,3
Haparanda	3,1	3,1	2,8	1,3	1,3	0,1	0,1	0,2	0,7	1,6	2,1	2,3
Bergen	3,2	3,3	2,5	1,2	1,1	0,3	0,2	0,1	0,9	1,9	1,7	2,5
Visby	4,2	3,8	3,2	1,0	1,0	0,2	0,1	0,1	1,1	2,5	2,4	3,0
Thyboron	3,9	3,6	2,6	0,9	0,8	0,2	0,1	0,0	0,8	1,8	1,9	2,9
Dublin	3,7	4,0	3,0	2,0	1,1	0,9	0,4	0,3	1,3	1,6	2,2	3,7
De Bilt	4,1	3,8	2,6	0,8	0,5	0,3	0,1	0,1	0,7	1,3	2,3	3,4
Berlin	4,4	3,7	2,2	0,6	0,2	0,1	0,0	0,0	0,6	1,8	2,3	3,6
Kraków	5,6	4,1	2,3	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,7	2,2	3,0	4,8
Wiedeń	5,1	3,6	1,6	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,3	1,2	2,1	4,6
Lugano	4,0	2,9	1,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	1,5	3,4
Zagrzeb	5,1	3,4	1,5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	1,0	2,2	4,6
Korfu*	1,5	1,3	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	1,1
Heraklion*	0,5	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4

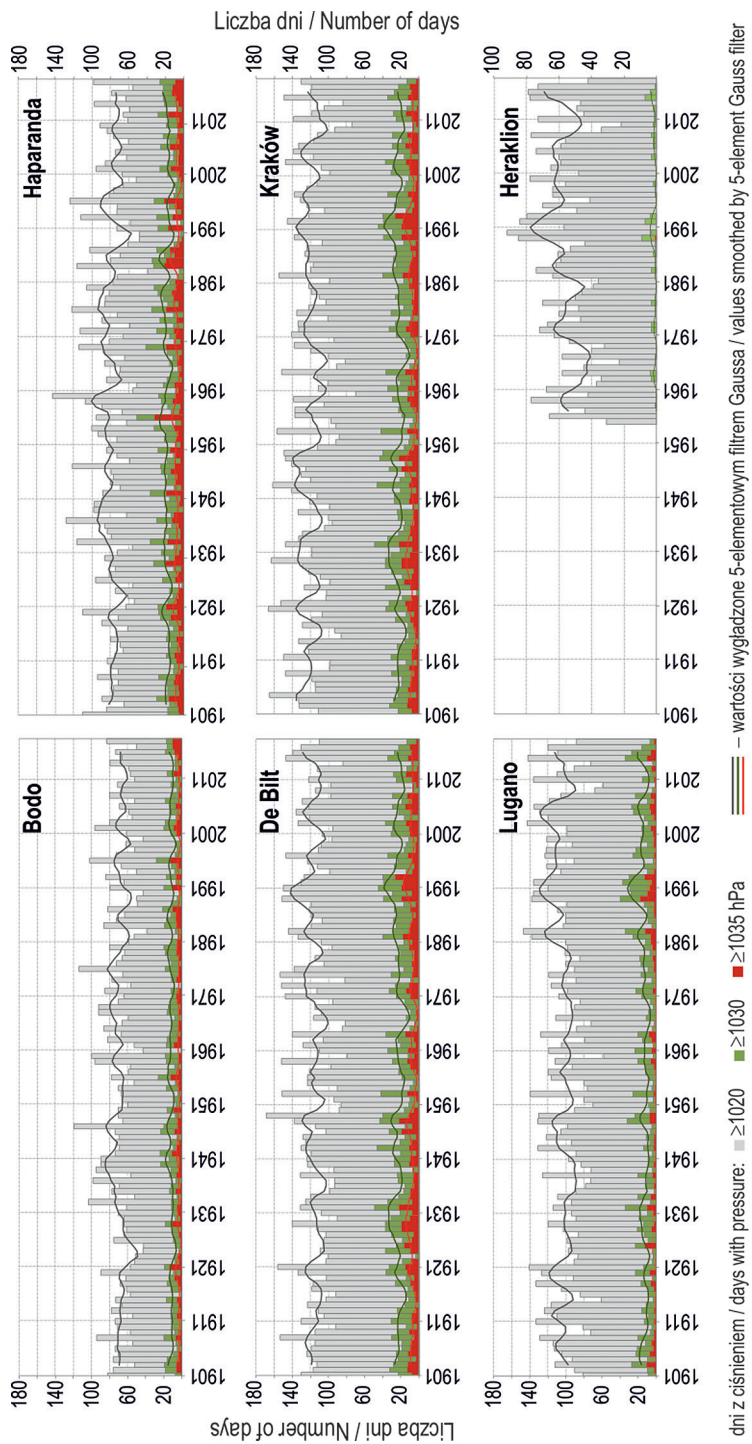
*Korfu – dane od 1955 do 2009 roku/data from 1955 to 2009; *Heraklion – dane od 1955 do 2018 roku/data from 1955 to 2018

Tabela 5. Średnia miesięczna liczba dni z ciśnieniem ≥ 1035 hPa na wybranych stacjach w latach 1901–2018Table 5. Average monthly number of days with air pressure ≥ 1035 hPa at the selected stations in the period 1901–2018

Stacja Station	Miesiące/Months											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Bodo	0,7	0,7	0,7	0,2	0,3	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,4	0,4
Haparanda	1,7	1,6	1,2	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,1	0,5	0,9	1,1
Bergen	1,4	1,6	0,8	0,3	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,4	0,6	1,2
Visby	2,1	1,8	1,2	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,5	1,0	1,4
Thyboron	1,5	1,7	0,8	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	0,6	1,2
Dublin	1,7	1,7	1,0	0,4	0,2	0,1	0,0	0,0	0,2	0,3	0,7	1,5
De Bilt	1,7	1,4	0,7	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,4	1,3
Berlin	1,9	1,4	0,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,6	1,4
Kraków	2,5	1,8	0,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,8	1,8
Wiedeń	1,8	1,1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	1,4
Lugano	1,1	0,7	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,7
Zagrzeb	1,9	1,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	1,4
Korfu*	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Heraklion*	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

*Korfu – dane od 1955 do 2009 roku/data from 1955 to 2009; *Heraklion – dane od 1955 do 2018 roku/data from 1955 to 2018

występowały na stacjach południowych, największe w Haparandzie i Dublinie (tab. 6). Warto również zwrócić uwagę, że chociaż pojawiały się lata z wyraźnie wyższą lub niższą liczbą badanych dni, to trudno wskazać dłuższe okresy zwiększonej lub obniżonej częstości ich występowania (ryc. 4). Opisywane zmiany nie pozwalają też jednoznacznie wskazać wieloletniej tendencji zmian. Wyjątkiem jest wzrost liczby dni z ciśnieniem ≥ 1020 i 1030 hPa odnotowany na stacji Heraklion (istotny statystycznie na poziomie 0,05), jednak należy pamiętać, że dotyczy on zmian zachodzących w dużo krótszym okresie pomiarowym. Szczegółowa analiza wieloletniej zmienności wskazuje, że sygnały opisywanego wzrostu widoczne są na innych stacjach w południowej Europie i związane są ze zwiększoną liczbą analizowanych dni od lat 80. XX wieku. Natomiast na pozostałych stacjach od lat 90. można zauważyć niewielki spadek liczby badanych dni, głównie tych z ciśnieniem ≥ 1020 i 1030 hPa.



Ryc. 4. Średnia roczna liczba dni z ciśnieniem ≥ 1020 , 1030 i 1035 hPa na wybranych stacjach w latach 1901–2018

Fig. 4. Average annual number of days with air pressure ≥ 1020 , 1030 i 1035 hPa at the selected stations in the period 1901–2018

Tabela 6. Charakterystyki liczby dni z ciśnieniem ≥ 1020 , 1030 i 1035 hPa na wybranych stacjach w latach 1901–2018
 Table 6. Characteristics of number of days with air pressure ≥ 1020 , 1030 i 1035 hPa at the selected stations in the period 1901–2018

Wskaźnik/Index	Bodo	Haparanda	Bergen	Visby	Thyboron	Dublin	De Bilt	Berlin	Kraków	Wieden	Lugano	Zagrzeb	Korfu*	Hera- klion*
Liczba dni z ciśnieniem ≥ 1020 hPa/Number of days with air pressure ≥ 1020 hPa														
Najniższa/The lowest	38	39	59	64	66	52	79	68	70	59	58	59	36	22
Średnia/Average	68,9	79,6	90,5	98,1	98,0	114,4	116,8	109,2	120,6	108,4	104,1	107,2	79,6	56,9
Najwyższa/The highest	119	143	144	151	144	164	169	146	167	157	147	150	128	92
Amplituda/Amplitude	81	104	85	87	78	112	90	78	97	98	89	91	92	70
Trend/10 lat/Trend/10 years	-0,225	-0,399	-0,181	0,089	-0,061	0,646	0,381	0,787	-0,433	1,037	0,948	0,147	1,814	1,942
Liczba dni z ciśnieniem ≥ 1030 hPa/Number of days with air pressure ≥ 1030 hPa														
Najniższa/The lowest	1	2	3	6	3	4	3	2	3	2	1	2	0	0
Średnia/Average	11,8	18,6	18,8	22,5	19,6	24,3	20,0	19,6	23,3	18,7	13,6	18,0	4,9	1,3
Najwyższa/The highest	28	51	44	46	41	60	44	42	49	48	40	48	27	9
Amplituda/Amplitude	27	49	41	40	38	56	41	40	46	46	39	46	27	9
Trend/10 lat/Trend/10 years	0,071	-0,041	0,101	-0,236	0,037	0,506	0,168	0,167	-0,061	0,383	0,427	0,066	0,301	0,218
Liczba dni z ciśnieniem ≥ 1035 hPa/Number of days with air pressure ≥ 1035 hPa														
Najniższa/The lowest	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Średnia/Average	3,7	7,8	6,6	8,5	6,5	7,8	6,0	6,2	8,0	5,2	2,8	5,0	0,3	0,0
Najwyższa/The highest	14	32	22	21	21	24	21	23	26	27	18	28	5	1
Amplituda/Amplitude	14	32	22	21	21	24	21	23	26	27	18	28	5	1
Trend/10 lat/Trend/10 years	0,070	0,031	0,083	-0,040	0,055	0,146	0,122	0,037	0,000	0,157	0,107	0,065	0,048	0,001

*Korfu – dane od 1955 do 2009 roku/data from 1955 to 2009; *Heraklion – dane od 1955 do 2018 roku/data from 1955 to 2018
1,942 – wartość istotna statystycznie na poziomie 0,05/statistically significant value at the level of 0.05

Ciągi dni z silnymi i bardzo silnymi wyżami

Trwałość układów wysokiego ciśnienia przeanalizowano, uwzględniając długość ciągów dni z określonymi wartościami ciśnienia, przy czym jako ciąg traktowano również pojedynczy dzień (ciąg 1-dniowy) (tab. 7).

W przypadku dni z ciśnieniem ≥ 1020 hPa grupowały się one średnio w roku w ciągach od 16,6 (Heraklion) do 30,5 (Berlin), przy czym na wszystkich stacjach były to najczęściej ciągi krótkotrwałe (2–5-dniowe), a w drugiej kolejności jednodniowe (tab. 7). Nie każdego roku występowały ciągi, w których ciśnienie ≥ 1020 hPa utrzymywało się przez co najmniej 16 dni, natomiast najdłuższe ciągi, ponad 30-dniowe, występowały sporadycznie, przy czym na stacjach położonych najdalej na północ (Bodo, Haparanda, Bergen) oraz w Thyboron w analizowanym wieloleciu w ogóle.

Jak wspomniano w poprzednim rozdziale, przy charakterystyce liczby dni z silnymi i bardzo silnymi wyżami, najwięcej ich było w Dublinie, Visby, Krakowie, Haparandzie, średnio ponad 20 dni z ciśnieniem ≥ 1030 hPa i ponad 7 dni z ciśnieniem ≥ 1035 hPa (tab. 6). Taki rozkład przestrzenny analizowanych dni nie odpowiada do końca najwyższej średniej liczbie ciągów, w których się one grupują (tab. 7). Dni z silnym wyżem występowały średnio w 7–8 ciągach, a z bardzo silnymi wyżami w około 3 ciągach, na 8 z 14 analizowanych stacji. Z wyjątkiem Bodo są to stacje położone na północ od Wiednia (tab. 7, ryc. 1). Podobnie jak w przypadku dni z ciśnieniem ≥ 1020 hPa, najczęściej występowały one w ciągach krótkich (2–5-dniowych), a w drugiej kolejności jako pojedyncze dni. Jedynie w Dublinie bardzo silne wyże notowano w ciągu zaliczanym do długiego, czyli 16-dniowym. Wystąpił on w 1953 roku na przełomie lutego i marca.

W dalszej kolejności analizie poddano wieloletnią zmienność rocznej liczby ciągów analizowanych dni, przy czym ograniczono się jedynie do tych występujących najczęściej (ciągi do 15 dni; tab. 8). Tendencja zmian w większości przypadków jest nieistotna statystycznie na poziomie 0,05. Istotne, chociaż niewielkie zmiany, wystąpiły tylko na kilku stacjach zlokalizowanych w środkowej części rozpatrywanego obszaru. Zaliczyć do nich należy niewielki spadek 1-dniowych ciągów dni z ciśnieniem ≥ 1020 hPa w Dublinie i Heraklionie oraz wzrost 6–15-dniowych ciągów w tym drugim z wymienionych miast (tab. 8). W przypadku dni z silnymi wyżami (≥ 1030 hPa) niewielki spadek ciągów jednodniowych wystąpił w Bergen i Krakowie, a z bardzo silnymi wyżami (≥ 1035 hPa) wzrost ciągów 1 i 2–5-dniowych odnotowano w Lugano, 2–5-dniowych w Krakowie, zaś spadek tych ostatnich w Visby.

Do oceny tendencji zmian ciągów dni z wysokimi wartościami ciśnienia wraz z uwzględnieniem ich liczby wykorzystano wskaźnik trwałości. Wartość wskaźnika powyżej 1 wskazuje na wzrost długości ciągów, a tym samym trwałości występowania badanych układów barycznych. Należy jednak pamiętać, że taką samą wartość wskaźnika można uzyskać przy różnej kombinacji liczby ciągów i towarzyszącej im liczby dni (np.: przy tej samej liczbie badanych dni ten sam wynik może dać ich wystąpienie zarówno w trzech ciągach średniej długości, jak i w 2 krótkich i jednym długim).

Tabela 7. Średnia roczna liczba ciągów dni z określonymi wartościami ciśnienia atmosferycznego na wybranych stacjach w latach 1901–2018
 Table 7. Average annual number of sequences of days with particular value of atmospheric pressure at the selected stations in the period 1901–2018

Ciągi Sequences	Bodo	Haparanda	Bergen	Visby	Thyboron	Dublin	De Bilt	Berlin	Kraków	Wiedeń	Lugano	Zagrzeb	Korfu*	Heraklion*
Średnia liczba ciągów dni z ciśnieniem ≥ 1020 hPa/ Average number of sequence of days with air pressure ≥ 1020 hPa														
1-dniowy 1-day	8,6	9,0	7,6	8,1	7,1	7,3	8,2	8,9	8,9	9,0	7,2	8,7	6,4	4,6
2–5 dni 2–5 days	10,2	11,5	12,0	14,0	13,6	13,6	15,7	16,0	16,6	14,5	14,1	14,0	11,5	9,3
6–15 dni 6–15 days	3,5	3,7	5,1	4,9	5,1	6,3	6,0	5,1	5,5	4,8	4,5	4,8	3,6	2,4
16–30 dni 16–30 days	0,1	0,3	0,2	0,4	0,3	0,5	0,4	0,4	0,7	0,6	0,6	0,6	0,3	0,2
>30 dni >30 days	–	–	–	0,0	–	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0
Suma/Sum	22,4	24,5	24,9	27,3	26,1	27,8	30,3	30,5	31,7	29,0	26,5	28,1	21,8	16,6
Średnia liczba ciągów dni z ciśnieniem ≥ 1030 hPa/ Average number of sequence of days with air pressure ≥ 1030 hPa														
1-dniowy 1-day	2,3	3,3	2,8	3,3	2,7	3,1	2,9	2,9	3,5	2,6	2,3	2,7	1,0	0,4
2–5 dni 2–5 days	2,6	3,1	3,9	4,5	4,2	4,9	4,3	4,2	4,5	3,6	2,7	3,4	1,2	0,4
6–15 dni 6–15 days	0,3	0,8	0,7	0,8	0,7	0,9	0,6	0,7	0,8	0,7	0,4	0,6	0,1	–
16–30 dni 16–30 days	–	0,0	–	0,0	–	0,0	0,0	–	0,1	0,1	0,0	0,1	–	–
Suma/Sum	5,2	7,2	7,4	8,6	7,6	9,0	7,8	7,8	8,8	6,9	5,5	6,7	2,3	0,7
Średnia liczba ciągów dni z ciśnieniem ≥ 1035 hPa/ Average number of sequence of days with air pressure ≥ 1035 hPa														
1-dniowy 1-day	0,7	1,4	1,4	1,5	1,2	1,5	1,2	1,5	1,5	1,1	0,8	1,1	0,2	0,0
2–5 dni 2–5 days	0,9	1,5	1,6	2,0	1,6	1,8	1,5	1,4	1,8	1,2	0,7	1,2	0,0	–
6–15 dni 6–15 days	0,1	0,3	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	–	–
16–30 dni 16–30 days	–	–	–	–	–	0,0	–	–	–	–	–	–	–	–
Suma/Sum	1,7	3,2	3,1	3,7	3,0	3,5	2,8	3,0	3,6	2,4	1,5	2,4	0,2	0,0

*Korfu – dane od 1955 do 2009 roku/data from 1955 to 2009; *Heraklion – dane od 1955 do 2018 roku/data from 1955 to 2018

Tabela 8. Tendencja zmian liczby ciągów dni z określonymi wartościami ciśnienia atmosferycznego na wybranych stacjach w latach 1901–2018

Table 8. Tendency of changes in number of sequences of days with particular value of atmospheric pressure at the selected stations in the period 1901–2018

Ciągi Sequences	Bodo	Haparanda	Bergen	Visby	Thyboron	Dublin	De Bilt	Berlin	Kraków	Wieden	Lugano	Zagrzeb	Korfu *	Heraklion *
Ciągi dni z ciśnieniem ≥ 1020 hPa [zmiana/10 lat]/Sequences of days with pressure ≥ 1020 hPa [change/10 years]														
1-dniowy 1-day	-0,068	-0,087	-0,110	-0,075	0,067	-0,191	0,014	0,046	0,031	-0,022	-0,098	-0,009	-0,096	-0,394
2-5 dni 2-5 days	-0,035	-0,141	0,026	0,056	0,077	0,018	-0,067	0,175	0,054	0,008	0,085	-0,092	-0,027	0,104
6-15 dni 6-15 days	-0,001	-0,005	-0,063	-0,005	-0,021	0,076	0,060	-0,033	-0,086	0,021	-0,07	-0,039	0,086	0,176
Suma/Sum	-0,104	-0,212	-0,135	-0,015	0,002	-0,093	0,014	0,215	0,002	0,037	0,002	-0,111	-0,009	-0,087
Ciągi dni z ciśnieniem ≥ 1030 hPa [zmiana/10 lat]/Sequences of days with pressure ≥ 1030 hPa [change/10 years]														
1-dniowy 1-day	0,013	-0,046	-0,114	-0,083	-0,033	-0,061	-0,011	-0,009	-0,121	-0,058	-0,017	-0,048	0,179	0,069
2-5 dni 2-5 days	-0,034	-0,005	0,035	-0,038	-0,039	0,096	-0,008	0,016	0,023	0,045	0,029	-0,070	0,082	0,069
Suma/Sum	-0,008	-0,044	-0,066	-0,117	-0,058	0,066	0,005	0,013	-0,104	0,007	0,053	-0,094	0,219	0,123
Ciągi dni z ciśnieniem ≥ 1035 hPa [zmiana/10 lat]/Sequences of days with pressure ≥ 1035 hPa [change/10 years]														
1-dniowy 1-day	-0,039	-0,020	-0,017	0,003	0,015	-0,019	0,045	-0,029	-0,113	0,006	0,060	-0,034	0,036	-
2-5 dni 2-5 days	0,005	-0,047	-0,014	-0,071	-0,036	0,049	-0,013	-0,028	0,036	0,055	0,025	0,067	0,011	-
Suma/Sum	0,032	0,001	0,007	-0,022	0,028	-0,002	0,041	-0,014	-0,082	0,069	0,099	0,046	0,009	-

*Korfu – dane od 1955 do 2009 roku/data from 1955 to 2009; *Heraklion – dane od 1955 do 2018 roku/data from 1955 to 2018
 1,942 – wartość istotna statystycznie na poziomie 0,05/statistically significant value at the level of 0.05

Jak wynika z tabeli 9, w przypadku dni z ciśnieniem ≥ 1020 hPa wartość rozpatrywanego wskaźnika wahała się od 3,1 w Bodo do 4,2 w Dublinie, a największe wartości charakteryzowały centralną część badanego obszaru. Należy jednak zwrócić uwagę, że najwyższe wartości wskaźnika, wskazujące na średnią długość trwania badanych układów barycznych w konkretnym roku, nie do końca korelują z wartościami średnimi z wielolecia. W Visby (7,3) czy w Heraklionie (7,1) ciągi analizowanych dni były średnio dłuższe niż w Dublinie (6,3), w którym średnia wieloletnia wielkość rozpatrywanego wskaźnika była największa (tab. 9). Warto również podkreślić fakt, że tylko w niektórych przypadkach najwyższe wartości wskaźnika występowały w tym samym roku na kilku stacjach.

W przypadku występowania silnych układów wysokiego ciśnienia (≥ 1030 hPa), z wyjątkiem stacji zlokalizowanych najbardziej na południe analizowanego obszaru (Korfu i Heraklion), zróżnicowanie przestrzenne wartości wskaźnika trwałości było niewielkie. Średnia trwałość badanych układów była zbliżona i wynosiła 2,3–2,8, podczas gdy na stacjach południowych wahała się od 0,7 w Heraklionie do 1,7 w Korfu. Długość trwania tych układów barycznych w roku z największą liczbą wskaźnika była najwyższa w Zagrzebiu (13,3), a w dalszej kolejności w Wiedniu i Lugano (8,0).

Średnia wartość wskaźnika trwałości występowania bardzo silnych układów wysokiego ciśnienia (≥ 1035 hPa) wskazywała na to, że zwykle utrzymywały się one około 2 dni z wyjątkiem południowych krańców Europy, gdzie dni takie pojawiają się sporadycznie. W analizowanym wieloleciu badane układy utrzymywały się najdłużej w Visby i Haparandzie (odpowiednio w 2012 i 1938 roku), na co wskazują najwyższe wartości wskaźnika wynoszące odpowiednio 15 i 11 (tab. 9).

Wskaźnik trwałości został obliczony głównie w celu ustalenia tendencji zmian trwałości analizowanych układów barycznych, gdyż równocześnie określa liczbę rozpatrywanych dni i liczbę ciągów tych dni w każdym roku. Okazało się, że tendencja zmian trwałości badanych układów tylko w nielicznych przypadkach była istotna statystycznie (tab. 9). Bardziej wyraźne zmiany, oznaczające wzrost trwałości badanych układów, widoczne były jedynie w przypadku ciągów dni z ciśnieniem ≥ 1020 i 1030 hPa w Heraklionie, ≥ 1030 hPa w Wiedniu i ≥ 1035 hPa w Dublinie. W pozostałych miastach zarówno liczba dni, jak i ich długość trwania nie zmieniała się znacząco w latach 1901–2018.

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych analiz stwierdzono, że najniższe wartości ciśnienia, ale też największy zakres ich zmian, występowały na stacjach zlokalizowanych na Półwyspie Skandynawskim. Najwyższymi wartościami ciśnienia charakteryzował się natomiast obszar reprezentowany przez środkową część obszaru badań, czyli stacje w Krakowie, Wiedniu i Lugano. Przebieg ciśnienia atmosferycznego na stacjach zlokalizowanych najbardziej na południu (Korfu

Tabela 9. Charakterystyki wskaźnika trwałości układów wysokiego ciśnienia na wybranych stacjach w latach 1901–2018
 Table 9. Characteristics of high pressure systems persistence index at the selected stations in the period 1901–2018

Wskaźnik Index	Haparanda	Bodo	Bergen	Visby	Thyboron	Dublin	De Bilt	Berlin	Kraków	Wiedeń	Lugano	Zagrzeb	Korfu*	Heraklion*
Dni z ciśnieniem ≥ 1020 hPa/Days with pressure ≥ 1020 hPa														
Średnia/ Average	3,1	3,3	3,7	3,7	3,8	4,2	3,9	3,6	3,8	3,8	4,0	3,9	3,7	3,5
Najwyższa/ The highest	4,8 (1984)	5,3 (1954)	5,5 (1991)	7,3 (1923)	5,7 (1989)	6,3 (1948)	5,9 (1974)	6,3 (1991)	5,9 (1932)	6,0 (1953)	6,3 (1953)	5,8 (1953)	5,5 (1989)	7,1 (1989)
Trend/10 lat	0,003	0,013	0,012	0,002	-0,009	0,044	0,012	0,001	-0,016	0,030	0,035	0,020	0,083	0,142
Trend/10 years														
Dni z ciśnieniem ≥ 1030 hPa/Days with pressure ≥ 1030 hPa														
Średnia/ Average	2,3	2,6	2,6	2,7	2,6	2,7	2,6	2,6	2,7	2,8	2,5	2,8	1,7	0,7
Najwyższa/ The highest	5,3 (1950)	7,7 (2016)	4,8 (2016)	5,4 (1928)	5,5 (2012)	4,9 (1931)	5,3 (1991)	5,2 (1959)	6,3 (2007)	8,0 (1989)	8,0 (1989)	13,3 (1989)	5,0 (1999)	3,0 (1973)
Trend/10 lat	0,020	0,014	0,027	-0,001	0,018	0,032	0,022	0,013	0,020	0,061	0,031	0,059	0,028	0,112
Trend/10 years														
Dni z ciśnieniem ≥ 1035 hPa/Days with pressure ≥ 1035 hPa														
Średnia/ Average	1,9	2,4	2,1	2,3	2,2	2,2	1,9	1,9	2,1	1,9	1,2	1,7	0,2	0,0
Najwyższa/ The highest	8,0 (2016)	11,0 (1938)	6,0 (1955)	15,0 (2012)	8,0 (1907)	6,0 (2000)	5,0 (2006)	8,0 (2008)	6,5 (1959)	7,5 (1925)	6,0 (1981)	8,0 (1925)	1,7 (1989)	1,0 (1989)
Trend/10 lat	0,030	0,017	0,022	0,036	-0,024	0,063	0,006	0,021	0,048	-0,013	0,004	-0,025	0,034	-
Trend/10 years														

*Korfu – dane od 1955 do 2009 roku/data from 1955 to 2009; *Heraklion – dane od 1955 do 2018 roku/data from 1955 to 2018

0,063 – wartość istotna statystycznie na poziomie 0,05/statistically significant value at the level of 0.05

i Heraklion) dość wyraźnie różnił się od pozostałych. W przebiegu wieloletnim nie zauważono wyraźnych okresów z wyższymi czy niższymi wartościami ciśnienia.

W przebiegu rocznym dni z wysokimi wartościami ciśnienia (≥ 1020 hPa) najczęściej występowały w chłodnej połowie roku (X–III), przy czym na północy Europy dominowały wiosną, zwłaszcza w kwietniu i maju, co jest związane z przemieszczaniem się w tym czasie układów wysokiego ciśnienia znad Grenlandii. Średnio w roku dni z silnymi (≥ 1030 hPa) i bardzo silnymi wyżami (≥ 1035 hPa) było odpowiednio od około 12 w Bodo do około 24 w Haparandzie oraz od około 3 w Lugano do około 8 w Visby. Latem występowały one sporadycznie, w szczególności w południowej części kontynentu, a najczęściej notowane były zimą (XII–II). Na większości analizowanych stacji nie stwierdzono wyraźnej tendencji zmian badanych dni. Wyjątek stanowił niewielki wzrost liczby dni z ciśnieniem ≥ 1020 i 1030 hPa w Heraklionie, niemniej jednak dotyczy to zmian w krótszym okresie, gdyż pomiary ciśnienia z tej stacji są dopiero od 1955 roku.

Dni z analizowanymi progowymi wartościami ciśnienia najczęściej grupowały się w ciągach krótkotrwałych (2–5-dniowych), a w drugiej kolejności występowały pojedynczo (w ciągu 1-dniowym). W skrajnym przypadku dni z ciśnieniem ≥ 1020 hPa utrzymywały się przez ponad 30 dni, natomiast z wyższymi wartościami ciśnienia do 16 dni. Nie stwierdzono wyraźnej tendencji zmian ciągów badanych dni. Jedynie w centralnej części rozpatrywanego obszaru zaznaczył się:

- niewielki spadek ciągów 1-dniowych z ciśnieniem ≥ 1020 hPa w Dublinie i Heraklionie oraz 6–15-dniowych w drugim z wymienionych miast,
- w przypadku dni z ciśnieniem ≥ 1030 hPa – niewielki spadek ciągów 1-dniowych w Bergen i Krakowie,
- w ciągach dni z ciśnieniem ≥ 1035 hPa – wzrost tych pojedynczych i 2–5-dniowych w Lugano, 2–5-dniowych w Krakowie, a ich spadek w Visby.

W pracy wykorzystano dodatkowo wskaźnik będący ilorazem liczby dni z określonymi wartościami progowymi ciśnienia atmosferycznego w roku, przez liczbę ciągów tych dni. Wskaźnik ten okazał się przydatny do analizy wieloletniej zmienności i tendencji zmian obu charakterystyk równocześnie. Na jego podstawie stwierdzono, że w badanych 118 latach (1901–2018) w większości przypadków tendencja zmian trwałości układów wysokiego ciśnienia nie była istotna statystycznie. Niewielkie zmiany wskazujące na występowanie nieco dłuższych ciągów zaznaczyły się jedynie w przypadku dni z ciśnieniem ≥ 1020 i 1030 hPa w Heraklionie, ≥ 1030 hPa w Wiedniu i ≥ 1035 hPa w Dublinie.

Literatura

- Bielec-Bąkowska Z. 2010a: Strong high pressure systems influencing the weather in Poland during the period 1971–2000. *Badania Fizjograficzne*, seria A, 61: 93–107.
- Bielec-Bąkowska Z. 2010b: Silne wyż nad Europą w XX wieku. W: L. Kolendowicz (red.), *Klimat Polski na tle klimatu Europy. Warunki cyrkulacyjne i radiacyjne. Studia i Prace z Geografii i Geologii*, 14: 23–37.

- Bielec-Bąkowska Z. 2014: Silne wyższe nad Europą (1951–2010). Prace Naukowe Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach, 3135, Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice.
- Bielec-Bąkowska Z., Piotrowicz K. 2011: Weather types accompanying very high pressure in Krakow in the period 1901–2000. *International Journal of Climatology*, 31: 2183–2193, doi: 10.1002/joc.2230.
- Falarz M. 2009: Variability of Icelandic Low and Azores High in winter and their influence on climatic conditions in Poland. *Bulletin of Geography – Physical Geography Series*, 2: 9–23, doi.org/10.2478/bgeo-2009-0009.
- Falarz M. 2019: Azores High and Hawaiian High: correlations, trends and shifts (1948–2018). *Theoretical and Applied Climatology*, w druku, doi.org/10.1007/s00704-019-02837-5.
- IPCC 2007, *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. W: S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, H.L. Miller (red.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, s. 996.
- Iqbal M.J., Hameed S., Khan F. 2013: Influence of Azores High pressure on Middle Eastern rainfall. *Theoretical and Applied Climatology*, 111(1–2): 211–221, doi.org/10.1007/s00704-012-0648-4.
- Kłysik K. 1995: Rola silnych wyżów i głębokich niżów w kształtowaniu warunków termicznych okresu zimowego w Europie Środkowej. W: B. Krawczyk, K. Błażejczyk (red.), *Współczesne badania klimatologów polskich w kraju i za granicą*. IGiPZ PAN, Warszawa, s. 19–27.
- Kotas P., Twardosz R. 2012: Zmienność wieloletnia długotrwałości występowania mas powietrznych w Polsce południowej. W: Z. Bielec-Bąkowska, E. Łupikasza, A. Widawski (red.), *Rola cyrkulacji atmosfery w kształtowaniu klimatu*. Prace Wydziału Nauk o Ziemi UŚ, Sosnowiec, 74: 361–372.
- Kozuchowski K. 1995: Deep cyclones, anticyclones and zonal circulation over Europe (1900–1990). *Przegląd Geofizyczny*, 40(3): 231–246.
- Labajo J.L., Martín Q., Labajo A.L., Piorno A., Ortega M., Morales C. 2008: Recent trend in the frequencies of extreme values of daily maximum atmospheric pressure at ground level in central zone of the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology*, 28: 1227–1238.
- Mächel H., Kapala A., Flohn H. 1998: Behaviour of the centres of action above the Atlantic since 1881. P. I. Characteristics of seasonal and interannual variability. *International Journal of Climatology*, 18: 1–22.
- Mrugala S. 1987/88: Przestrzenny rozkład odwilży atmosferycznych na obszarze Polski. *Annales UMCS, Sectio B*, 42/43(9): 156–171.
- Piotrowicz K. 2000: Zmienność długości ciągów termicznych w Zakopanem i na Kasprowym Wierchu. *Czasopismo Geograficzne*, 71(3–4): 335–347.
- Piotrowicz K. 2003: Variability of the Central European winter thermal structure. *Acta Universitatis Wratislaviensis*, 2542, *Studia Geograficzne*, 75: 108–115.
- Piotrowicz K. 2010: Sezonowa i wieloletnia zmienność typów pogody w Krakowie. IGiPZ UJ, Kraków.
- Radzka E. 2014: Ciągi dni bezopadowych w okresie wegetacyjnym w środkowo-wschodniej Polsce (1971–2005). *Acta Agrophysica*, 21(4): 483–491.
- Slonosky V.C., Jones P.D., Davies T.D. 2000: Variability of the surface atmospheric circulation over Europe, 1774–1995. *International Journal of Climatology*, 20: 1875–1897.

- Zhang Q.Y., Wang S.W., Wang W.C.H. 1995: Variations of the atmospheric centers of action in the Northern Hemisphere and their associations with the climate change in China. 6th International Meeting of Statistical Climatology, s. 231–234.
- Zheleznova V., Gushchina D.Y. 2016: Circulation anomalies in the atmospheric centers of action during the Eastern Pacific and Central Pacific El Nino. *Russian Meteorology and Hydrology*, 41(11–12): 760–769, doi.org/10.3103/S1068373916110030.