

ZALEŻNOŚĆ BODŹCOWOŚCI CIŚNIENIA OD CYRKULACJI ATMOSFERYCZNEJ W WARSZAWIE

Katarzyna Rozbicka, Tomasz Rozbicki

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Streszczenie. W pracy zbadano: czasowy rozkład ciśnienia atmosferycznego, bodźcowe oddziaływanie ciśnienia atmosferycznego o wartościach wyższych od 1015 hPa lub niższych od 985 hPa. Wyznaczono częstość i prawdopodobieństwo wystąpienia ciśnienia o oddziaływaniu bodźcowym oraz zanalizowano zależność zmian międzydobowych ciśnienia od typów cyrkulacji atmosferycznej według klasyfikacji Lityńskiego. Do obliczeń wykorzystano codzienne wartości ciśnienia atmosferycznego pochodzące ze stacji Ursynów SGGW z okresu 2011–2015. Na podstawie badań stwierdzono, że ciśnienie atmosferyczne o oddziaływaniu bodźcowym w Warszawie może wystąpić w każdym miesiącu z prawdopodobieństwem od 0,2% do 19,1%, w przypadku ciśnienia o wartościach wyższych niż 1015 hPa oraz od 0,1 do 3,4%, w przypadku ciśnienia niższego od 985 hPa, z wyjątkiem czerwca i sierpnia. Zmiany międzydobowe ciśnienia atmosferycznego mogą osiągać około 24 hPa, a częstość występowania bodźców „silnych” wywołanych tymi zmianami wyniosła w poszczególnych miesiącach od 1% do 16%, natomiast bodźców „bardzo silnych” od 2% do 8%. Spośród sytuacji synoptycznych największe znaczenie dla bodźcowości zmian ciśnienia mają sytuacje cyklonalne: szczególnie przy adwekcji powietrza z sektora północno-zachodniego (NW_C).

Słowa kluczowe: zmiany międzydobowe ciśnienia atmosferycznego, cyrkulacja atmosferyczna, Warszawa

WSTĘP

W biometeorologii międzydobowe zmiany ciśnienia atmosferycznego zaliczane są do bodźców fizycznych i tworzących wraz z wiatrem grupę bodźców mechanicznych. Uważa się, że ich działanie na organizm człowieka odbywa się przede wszystkim poprzez układ nerwowy, którego odpowiedź, w zależności od stopnia nasilenia bodźca, powoduje

Adres do korespondencji – Corresponding author: dr Katarzyna Rozbicka, dr inż. Tomasz Rozbicki, Katedra Inżynierii Wodnej, Zakład Meteorologii i Klimatologii, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa, e-mail: katarzyna_rozbicka@sggw.pl, tomasz_rozbicki@sggw.pl

© Copyright by Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, Kraków 2016

różne reakcje organizmu. W przypadku słabego i umiarkowanego bodźca nie dochodzi do przeciążenia organizmu, które ma miejsce, kiedy działa bodziec silny. Wynika stąd, że najbardziej niekorzystnym bodźcem są duże zmiany ciśnienia z dnia na dzień. Niekorzystne działanie należy też przypisać brakowi lub słabym bodźcom, gdyż powodują wydzielakacenie, a nawet zupełną utratę naturalnego przystosowania organizmu do odbierania bodźców. Zatem jedynie umiarkowane zmiany ciśnienia występujące z dnia na dzień, utrzymując organizm w dobrej kondycji, prowadzą do jego zahartowania, przez co stanowią korzystny bodziec mechaniczny. Dla meteoropatów nasilenie bodźca i stopień odczucia jego nasilenia pozostają jeszcze w znacznie bardziej złożonym związku. Nawet słabe działanie kilku bodźców jednocześnie może prowadzić do ich wzmocnienia i obciążenia organizmu [Kozłowska-Szczęśna i in. 2004]. Według Jankowiaka [1976, za: Błażejczyk 2002, Błażejczyk i Kunert 2011] wzrost i spadek ciśnienia atmosferycznego w krótkim czasie powoduje rozprężanie i sprężanie się powietrza w uchu środkowym, co doprowadza do odkształcania się błon bębenkowych i odczuwania ucisku, kłucia i dzwonienia w uszach; może nawet dojść do przejściowego osłabienia słuchu. Baranowski i in. [1998] wykazali wpływ ciśnienia na liczbę pacjentów z niedomaganiem układu oddechowego w Warszawie. Wiele osób skarży się również na zakłócenia pracy serca, na wahania ciśnienia krwi oraz na uczucie zdenerwowania lub niepokoju [Błażejczyk i Kunert 2011]. W pracy Kuchcik [1999] stwierdzono wzrost umieralności ogółem, umieralności wskutek niewydolności układu krążenia, a także niewydolności układu oddechowego w dniach z wysokim ciśnieniem atmosferycznym i podczas spadków ciśnienia z dnia na dzień o co najmniej 15 hPa.

Działanie bodźcowe mają przede wszystkim wahania ciśnienia atmosferycznego w krótkim czasie oraz ciśnienie o ponadprzeciętnie wysokich lub niskich wartościach [Kozłowska-Szczęśna i in. 1997]. Dokładne mechanizmy reakcji fizjologicznych zachodzących w organizmie człowieka pod wpływem oddziaływania ciśnienia atmosferycznego i jego zmian nie są dokładnie poznane [Błażejczyk 2004].

Zasadniczą rolę w kształtowaniu zmienności pogody Polski, w tym Warszawy, odgrywa cyrkulacja atmosferyczna, która jest ściśle powiązana z obecnością i intensywnością dipola nad północnym Atlantykiem, tj. Niżem Islandzkim i Wyżem Azorskim. Istnieje wiele prac, w których badano związki pomiędzy różnymi elementami meteorologicznymi a cyrkulacją atmosferyczną zarówno w Polsce, jak i na świecie. Jednak stosunkowo niewiele jest prac, które analizują związek ciśnienia atmosferycznego i jego zmian międzydobowych z cyrkulacją atmosferyczną. Jedną z nielicznych prac, które w szerokim ujęciu podejmują badania wielu aspektów z dziedziny bioklimatologii, w tym również zagadnienia międzydobowych zmian ciśnienia atmosferycznego dla obszaru Polski, także dla Warszawy, jest praca Kuchcik i in. [2013]. W literaturze można znaleźć między innymi wyniki badań związku pomiędzy temperaturą powietrza a cyrkulacją atmosferyczną prowadzone przez Ustrnula i Wypych [2011] oraz Bartoszkę i in. [2014]. W Grecji Kassomenos i in. [2014] śledzili zależność inwersji temperatury powietrza od cyrkulacji atmosferycznej. Rolą cyrkulacji atmosfery w kształtowaniu zachmurzenia zajmowali się m.in. Matuszko i Pluta [2012], Żmudzka [2005, 2007], Szyga-Pluta [2009, 2015]. Występowanie pokrywy śnieżnej w zależności od warunków synoptycznych badał Bednorz [2011], a opadami atmosferycznymi zimowymi w zależności od cyrkulacji atmosferycznej w Hiszpani zajmowali się Casado i Pastor [2013]. Sezony cyrkulacyjne

nad Polską wyznaczył Nowosad [2004], znaczenie czynników cyrkulacyjnych w kształtowaniu warunków bioklimatycznych badań Błażejczyk [2002], cyrkulacją atmosferyczną w regionie bydgosko-toruńskim zajmowali się m.in. Przybylak i Maszewski [2009], Bąk i Maszewski [2012], a trwałość typów pogody w zależności od mas powietrza w Toruniu badali Okoniewska i Więclaw [2013]. Natomiast zmiany ciśnienia atmosferycznego na obszarze Warszawy w XIX i XX w. badali Fortuniak i in. [2000], Półrolniczak [2010a, b], Koźmiński i Michalska [2012] na terenie Polski oraz Szyga-Pluta i Półrolniczak [2012] na obszarze Poznania i Europy Środkowej. Przybylak i in. [2013] badali zmiany ciśnienia atmosferycznego na obszarze Arktyki, a zmiany międzydobowe ciśnienia atmosferycznego w Hornsundzie (Spitsbergen) badała Owczarek [2005]. Liczne badania dotyczą również wpływu sytuacji synoptycznej nad obszarem Bałtyku, m.in. Bednorz i in. [2013] badali wpływ cyrkulacji na podnoszenie się (*upwelling*) wód nad wybrzeżem Bałtyku, a Girjatowicz i in. [2016] oddziaływanie tejże cyrkulacji na poziom wód Bałtyku. Celem niniejszej pracy jest ocena zmienności i bodźcowości ciśnienia atmosferycznego z dnia na dzień w zależności od typów cyrkulacji atmosferycznej.

MATERIAŁ I METODA BADAŃ

W pracy wykorzystano codzienne wartości ciśnienia atmosferycznego według czasu UTC na poziomie rzeczywistym ze stacji Ursynów SGGW ($\phi = 52^{\circ}09'N$, $\lambda = 21^{\circ}03'E$, $H_S = 102,5$ m n.p.m.), należącej do Zakładu Meteorologii i Klimatologii SGGW z okresu 2011–2015 r. oraz klasyfikację typów cyrkulacji atmosferycznej według Lityńskiego udostępnioną przez IMGW w Warszawie.

Stacja Ursynów SGGW położona jest w południowej, peryferyjnej dzielnicy Warszawy – Ursynowie, na terenie kampusu SGGW, 9 km na południe od centrum miasta. Otoczenie stacji to teren płaski z luźną, głównie parterową zabudową w odległości od 150 m do 300 m od stacji. Natomiast w dalszej odległości od 400 m do 2 km od stacji znajduje się zwarta, wysoka zabudowa Ursynowa. W kierunku północno-zachodnim rozpościera się skarpa doliny Wisły [Rozbicki i Gołaszewski 2003].

Wyznaczono przebiegi czasowe ciśnienia atmosferycznego średniego, maksymalnego i minimalnego dla poszczególnych miesięcy i lat w analizowanym okresie 2011–2015. Oddziaływanie bodźcowe ciśnienia atmosferycznego zaznacza się w przypadku ciśnienia o wartościach wyższych od 1015 hPa lub niższych od 985 hPa [Błażejczyk 2002]. Natężenie bodźców atmosferycznych spowodowanych zmianami ciśnienia atmosferycznego określane jest na podstawie wartości jego międzydobowych zmian, które wyznaczono, obliczając różnicę pomiędzy dobowymi wartościami ciśnienia atmosferycznego. Zmiany międzydobowe ciśnienia sklasyfikowano według skali Boksy i Boguckiego [1980, za: Błażejczyk 2002, Błażejczyk i Kunert 2011] stosowanej w badaniach bioklimatycznych (tab. 1), wyznaczono też średnie międzydobowe zmiany ciśnienia atmosferycznego, wygładzone 17-dniową średnią ruchomą dla analizowanego okresu (ryc. 2).

Następnie zanalizowano przebieg miesięczny ciśnienia atmosferycznego na poziomie stacji z uwzględnieniem ciśnienia przekraczającego 1015 hPa oraz niższego niż 985 hPa. W dalszej kolejności, przeprowadzono ocenę bodźcowego oddziaływania międzydobo-

wych zmian ciśnienia. Posługując się powyższą klasyfikacją, obliczono częstość występowania poszczególnych typów odczuć zmian ciśnienia w poszczególnych miesiącach. Obliczono również częstość występowania dni z ciśnieniem atmosferycznym o oddziaływaniu bodźcowym i wyznaczono prawdopodobieństwo wystąpienia dla takich dni w ciągu roku oraz przedstawiono miesięczne wartości odchylenia standardowego.

Tabela 1. Klasyfikacja międzydobowych zmian ciśnienia i odczuć [Bokša i Boguckij 1980 za: Błażejczyk 2002, Błażejczyk i Kunert 2011]
Table 1. Classification and sensation of interdaily changes in atmospheric pressure [Bokša and Boguckij 1980 after: Błażejczyk 2002, Błażejczyk and Kunert 2011]

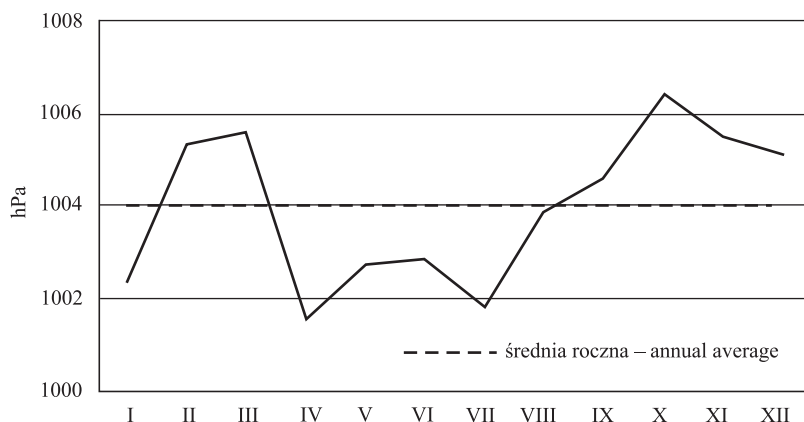
Międzydobowa zmiana ciśnienia atmosferycznego Interdaily changes of atmospheric pressure hPa	Odczucie zmian ciśnienia Sensation of atmospheric pressure changes
≤ 4	Słabe – Weak
4,1–8,0	Umiarkowane – Moderate
8,1–12,0	Silne – Strong
$> 12,0$	Bardzo silne – Very strong

Z kolei poddano analizie występowanie bodźcowego oddziaływania zmian międzydobowych ciśnienia w zależności od sytuacji synoptycznej. Zastosowano w tym celu liczbową klasyfikację typów cyrkulacji według Lityńskiego [1969], uważaną za jedną z obiektywnych metod typologii cyrkulacji atmosferycznej dla Europy Centralnej, w tym Polski. Uwzględnia ona trzy wskaźniki określane na mapach dolnych: wskaźnik cyrkulacji strefowej i wskaźnik cyrkulacji południkowej, obliczone w odniesieniu do obszaru ϕ 40–65°N, λ 0–35°E oraz wartość ciśnienia atmosferycznego w Warszawie. Wartości każdego z tych parametrów podzielono na trzy równoprawdopodobne klasy (cyrkulacja antycyklonalna, cyklonalna i pośrednia), uzyskując w ten sposób 27 typów cyrkulacji [Szyga-Pluta 2009]. Dane o cyrkulacji atmosferycznej zostały udostępnione przez IMGW w Warszawie.

Dla międzydobowych zmian ciśnienia w zależności od sytuacji synoptycznej wyznaczono: częstość występowania międzydobowych zmian ciśnienia atmosferycznego w zależności od typów zmian, średnie miesięczne różnice pomiędzy zmianami międzydobowymi ciśnienia atmosferycznego a średnimi miesięcznymi wartościami ciśnienia oraz częstość występowania sytuacji synoptycznych sprzyjających oddziaływaniu międzydobowych zmian ciśnienia atmosferycznego dla poszczególnych miesięcy.

WYNIKI BADAŃ

W przebiegu rocznym, średnie miesięczne ciśnienie atmosferyczne na poziomie stacji Ursynów SGGW (ryc. 1) w omawianym okresie jest najniższe w kwietniu (1001,6 hPa), a najwyższe w październiku (1006,4 hPa). Średnia roczna wartość dla analizowanego okresu wyniosła 1004,0 hPa.



Ryc. 1. Średnie miesięczne ciśnienie atmosferyczne na poziomie stacji (hPa) w Warszawie, 2011–2015 r.

Fig. 1. Monthly mean values of station elevation atmospheric pressure (hPa) in Warsaw, 2011–2015

Średnie dobowe ciśnienie atmosferyczne przyjmowało wartości od 966,6 hPa w styczniu do 1030,3 hPa w grudniu (tab. 3). Najwyższą wartość ciśnienia 1032,4 hPa odnotowano 30 grudnia 2015 r., a najniższą 962,7 hPa 31 stycznia 2015 r. (tab. 2). Amplituda ciśnienia w omawianym okresie wyniosła 69,7 hPa. Wartości ekstremalne ciśnienia wskazują na występowanie jego bodźcowego oddziaływania: zarówno w przypadku dobowych, jak i codziennych wartości są nawet o ponad 22 hPa niższe niż progowa wartość 985 hPa lub przekraczają wartość 1015 hPa o ponad 17 hPa.

Tabela 2. Maksymalne i minimalne wartości ciśnienia atmosferycznego na poziomie stacji (hPa) na podstawie wartości godzinnych w Warszawie 2011–2015 r.

Table 2. Maximum and minimum hourly values of station elevation atmospheric pressure (hPa) in Warsaw, 2011–2015

Miesiące – Months	Maximum	Minimum
I	1030,4	962,7
II	1028,2	970,4
III	1028,3	974,9
IV	1020,8	975,9
V	1019,3	986,7
VI	1017,4	988,1
VII	1018,2	984,0
VIII	1016,0	989,9
IX	1024,9	984,6
X	1027,4	983,2
XI	1027,7	976,9
XII	1032,4	967,8

Tabela 3. Maksymalne i minimalne dobowe wartości ciśnienia atmosferycznego na poziomie stacji na podstawie średnich dobowych wartości (hPa), Warszawa 2011–2015 r.

Table 3. Daily maximum and minimum values of station elevation air pressure (hPa), Warsaw 2011–2015

Miesiące – Months	Maximum	Minimum
I	1029,6	966,6
II	1026,3	977,5
III	1027,4	979,6
IV	1018,0	982,9
V	1018,1	989,1
VI	1015,5	991,8
VII	1016,6	985,2
VIII	1014,8	994,5
IX	1023,8	986,4
X	1025,9	988,5
XI	1026,9	980,2
XII	1030,3	972,8

Dni z ciśnieniem o oddziaływaniu bodźcowym przekraczającym 1015 hPa i niższym niż 985 hPa stanowią średnio 8,3% dni w roku (tab. 4). Największa częstość dni z ciśnieniem wyższym niż 1015 hPa przypada w marcu (20,7%), natomiast najczęściej bodźcowe oddziaływanie niskiego ciśnienia atmosferycznego może być odczuwane w styczniu (21,9%) i grudniu (18,4%). Najniższa częstość lub brak przypadków wystąpienia dni o oddziaływaniu bodźcowym przypada od maja do września.

Tabela 4. Częstość występowania (%) dni z ciśnieniem atmosferycznym o oddziaływaniu bodźcowym na poziomie stacji na podstawie wartości godzinnych w Warszawie, 2011–2015 r.

Table 4. Frequency occurrence (%) of days with hourly stimulus values of station elevation air pressure in Warsaw 2011–2015

hPa	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I–XII
>1015	7,5	16,0	20,7	2,9	1,8	1,0	3,1	0,5	3,4	13,3	13,0	17,0	8,3
< 985	21,9	14,8	15,8	7,3	0,0	0,0	2,6	0,0	0,7	1,3	17,1	18,4	8,3

Prawdopodobieństwo wystąpienia ciśnienia atmosferycznego o oddziaływaniu bodźcowym (> 1015 hPa oraz < 985 hPa) w Warszawie wyznaczono na podstawie miesięcznych wieloletnich wartości kwantyli empirycznych średniej dobowej wartości ciśnienia atmosferycznego, obliczonych dla analizowanego okresu (tab. 5). Prawdopodobieństwo wystąpienia ciśnienia atmosferycznego o wartości 1015 hPa i większej w rejonie stacji

Ursynów wynosi od 0,2% w sierpniu do 19,1% w marcu. Największe prawdopodobieństwo wysokich wartości ciśnienia, kilkanaście procent, występuje w listopadzie (16,1%) i grudniu (15,6%) oraz w lutym (18,0%) i marcu (19,1%). Natomiast prawdopodobieństwo wystąpienia bodźcowego oddziaływania niskiego ciśnienia (poniżej 985 hPa) jest znacznie niższe niż prawdopodobieństwo wystąpienia wysokiego ciśnienia (powyżej 1015 hPa) i największe przypada w styczniu (3,4%).

Tabela 5. Prawdopodobieństwo wystąpienia (%) ciśnienia atmosferycznego (hPa) o oddziaływaniu bodźcowym w Warszawie, 2011–2015

Table 5. Probability occurrence (%) of stimulus air pressure (hPa) with stimulus impact in Warsaw, 2011–2015

hPa	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
> 1015	9,2	18,0	19,1	3,0	1,9	0,8	0,9	0,2	4,7	13,2	16,1	15,6
< 985	3,4	2,7	2,1	1,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,2	1,5	2,0

Bodźcowe oddziaływanie międzydobowych zmian ciśnienia atmosferycznego

Natężenie bodźców dynamicznych spowodowanych ciśnieniem atmosferycznym, oprócz występowania dużych i małych wartości tego elementu, jest określane jego zmianami międzydobowymi. Zmiany te mogą być określone według klasyfikacji podanej w tab. 1, obejmującej cztery stopnie odczucia zmian ciśnienia. Największą zmiennością międzydobową ciśnienia charakteryzują się miesiące od listopada (9,4 hPa) do marca (10,5 hPa) z najwyższą wartością zmian międzydobowych ciśnienia w lutym 10,6 hPa (tab. 6).

Tabela 6. Miesięczne wartości odchylenia standardowego (σ) średniego dobowego ciśnienia atmosferycznego (hPa) w Warszawie, 2011–2015 r.

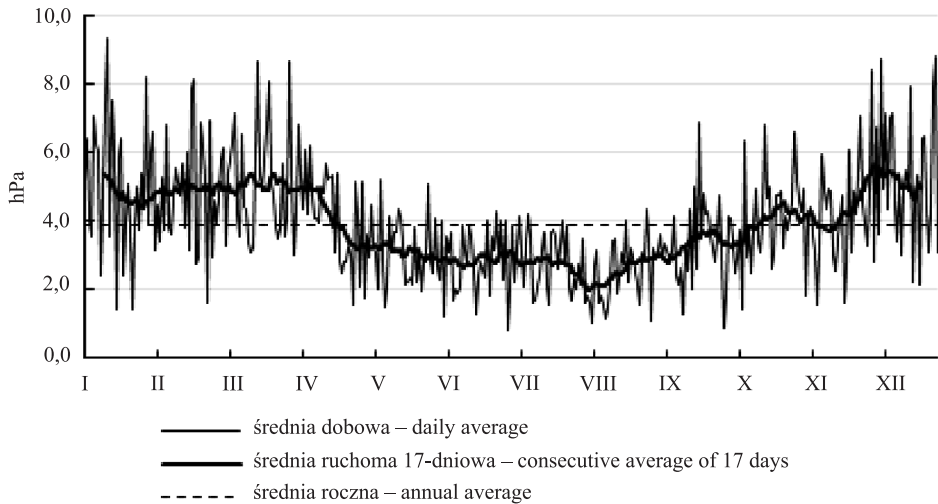
Table 6. Standard deviation (σ) of mean daily station elevation air pressure in Warsaw, 2011–2015

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
σ	9,5	10,6	10,5	7,2	5,9	4,9	5,6	3,8	6,6	7,7	9,4	9,9

Przebieg średnich międzydobowych zmian ciśnienia atmosferycznego w Warszawie wykazuje cykliczność w okresie rocznym [Półrolniczak 2010a]. Przejawem tego są większe zmiany ciśnienia w chłodniejszej porze roku (z wartością maksymalną zimą) i mniejsze zmiany w cieplejszej porze roku (z wartością minimalną latem). Charakterystyczną cechą jest również występowanie dużego zróżnicowania zmian ciśnienia w krótkich okresach (z dnia na dzień) w chłodnej porze roku, podczas gdy w cieplej porze roku zróżnicowanie to jest znacznie mniejsze (ryc 2). Powyższe cechy są charakterystyczne dla umiarkowanych szerokości, jak wykazali Kozłowska-Szczęsna i in. [1997] oraz Fortuniak i in. [2000].

Międzydobowe zmiany ciśnienia atmosferycznego na podstawie średniej ruchomej 17-dniowej wykazują kilka charakterystycznych cech przebiegu rocznego (ryc. 2). Od

końca listopada do końca marca krzywa przebiega na poziomie nieznacznie poniżej 6 hPa i notowane są wtedy jedne z najwyższych wartości międzydobowych zmian ciśnienia. Następnie zaznacza się wyraźny spadek krzywej osiągający w ciągu kilkunastu dni poziom około 3 hPa, który utrzymuje się jedynie z nieznacznym spadkiem wartości zmian ciśnienia na przełomie lipca i sierpnia (do około 2 hPa) aż do września. Od września do grudnia widoczny jest stopniowy choć nieregularny wzrost wartości zmian międzydobowych ciśnienia atmosferycznego. W połowie kwietnia i w październiku następuje przecięcie wartości średniej z analizowanego okresu (3,9 hPa). W najprostszym podziale roku na okresy międzydobowych zmian ciśnienia moment przejścia krzywej przez wartość średnią z badanego okresu może być traktowany jako początek okresu mniejszej bodźcowości działania międzydobowych zmian ciśnienia atmosferycznego. Jego początek przypada na pierwszą dekadę kwietnia, a koniec następuje na początku października.



Ryc. 2. Średnie międzydobowe zmiany ciśnienia atmosferycznego (linia cienka) wygładzone 17-dniową średnią ruchomą (linia pogrubiona) oraz średnia roczna (linia przerywana) w okresie 2011–2015, Warszawa

Fig. 2. Mean interdaily changes in atmospheric pressure (fine line), the consecutive average of the 17 days (bold line), the annual average from 2011 to 2015 (dotted line)

W analizowanym okresie średnia roczna wartość międzydobowych zmian ciśnienia atmosferycznego 3,9 hPa zawierała się w przedziale bodźców odczuwanych jako „słabe” (tab. 7). Średnia miesięczna wartość zmian międzydobowych jest największa w grudniu (5,3 hPa) i zawiera się w „umiarkowanym” odczuciu zmian ciśnienia, a „słabe” odczucia zmian ciśnienia występują od maja do listopada, z najniższą wartością w sierpniu (2,4 hPa) i dlatego w okresie tym panowały najkorzystniejsze warunki dla organizmu. Największe, maksymalne zmiany międzydobowe były odczuwane jako „silne” od maja do września (8,5 hPa – 11,2 hPa), a w pozostałych miesiącach – jako „bardzo silne”, osiągając zmiany ciśnienia do około 24 hPa w lutym. Kuchcik i in. [2013] uzyskali dla

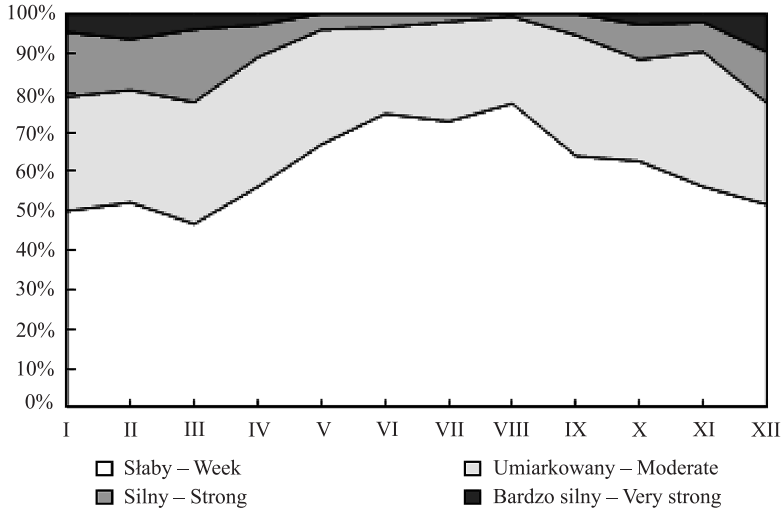
Warszawy w latach 1991–2000 maksymalną międzydobową zmianę ciśnienia atmosferycznego 30 hPa.

Tabela 7. Średnie miesięczne i maksymalne wartości międzydobowych zmian ciśnienia atmosferycznego (hPa) w Warszawie, 2011–2015 r.

Table 7. Monthly mean and maximum values of atmospheric pressure (hPa) changes interdaily in Warsaw, 2011–2015

Miesiące Months	Średnia Mean	Maximum	Data Date
I	5,0	18,4	18.01.2013
II	4,8	23,7	15.02.2012
III	5,1	19,6	15.03.2014
IV	4,2	14,0	16.04.2014
V	3,2	10,6	01.05.2015
VI	2,8	10,7	14.,6.2012
VII	2,8	9,5	10.07.2013
VIII	2,4	8,5	29.08.2015
IX	3,3	11,2	23.09.2013
X	4,0	15,4	23.10.2014
XI	4,0	16,5	23.11.2015
XII	5,3	20,6	10.12.2013

Częstość występowania bodźców dynamicznych o różnym natężeniu związanych z międzydobowymi zmianami ciśnienia jest zróżnicowana w ciągu roku (ryc. 3). Przez większość roku (oprócz miesięcy od maja do września) w badanym okresie zmiany międzydobowe ciśnienia przyjmowały wartości ze wszystkich przedziałów intensywności bodźców dynamicznych. W każdym miesiącu największy udział miały bodźce odczuwane „słabo” (od 40% w marcu do 66% w sierpniu). Umiarkowana intensywność bodźców występowała z częstością od 18% w czerwcu do 28% w listopadzie. Bodźce odczuwane jako „silne” występowały ze znacznie niższą częstością niż w poprzednich odczuciach zmian ciśnienia i wahały się od 1% (lipiec) do 16% (marzec). Zdecydowanie najrzadziej występowały odczucia „bardzo silne” – jedynie w miesiącach od października do kwietnia (2–8%). Zdecydowanie najkorzystniejszymi miesiącami były miesiące letnie (VI–VIII), w których nie wystąpiły bodźce „bardzo silne”, a bodźce „silne” były odczuwane tylko w 3% przypadków. Podobne wyniki występowania w całym roku, a najczęściej w chłodnej połowie roku, szczególnie w grudniu i lutym zmian międzydobowych ciśnienia atmosferycznego przekraczających 8 hPa, uzyskała dla obszaru Polski, w tym Warszawy w swoich badaniach Kuchcik i in. [2013].



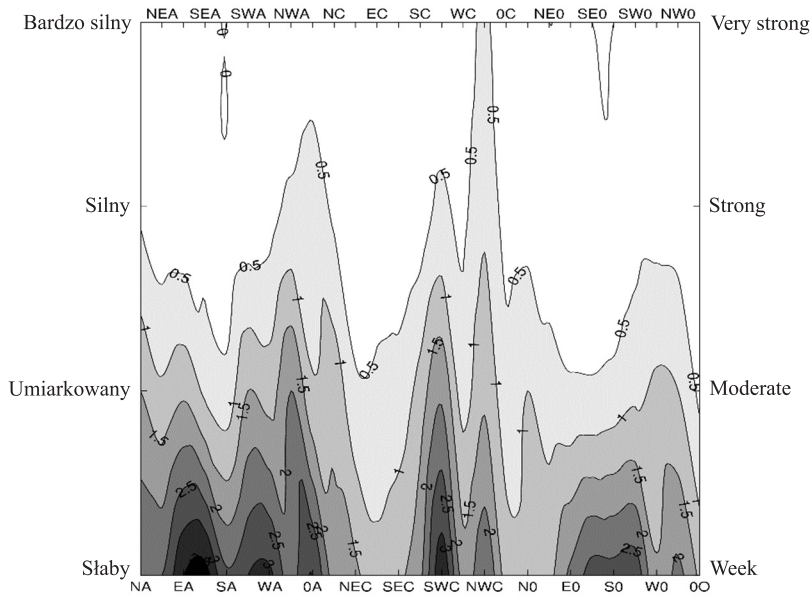
Ryc. 3. Częstości (%) występowania dni z międzydobową zmianą ciśnienia w poszczególnych typach zmian ciśnienia w Warszawie, 2011–2015 r.

Fig. 3. Frequency occurrence (%) of days with the interdaily changes of atmospheric pressure in particular types of changes in Warsaw, 2011–2015

Bodźcowe oddziaływanie międzydobowych zmian ciśnienia atmosferycznego w zależności od sytuacji synoptycznej

Bodźce „silne” odczuwane były w analizowanym okresie podczas każdego z rozpatrywanych typów sytuacji synoptycznych z częstością od 0,1% do 0,9% (ryc. 4), przy czym najczęściej podczas sytuacji cyklonalnej: adwekcji powietrza z sektora północno-zachodniego (NW_C) 0,9%, i cyrkulacji antycyklonalnej: adwekcji powietrza z sektora pośredniego (0_A) 0,7% i północno-zachodniego (NW_A) 0,6%. Bodźce „bardzo silne” wystąpiły nie w każdej sytuacji synoptycznej, częstość ich wahała się od 0,0% do 0,6% przy czym zdecydowanie największą częstość towarzyszyła, podobnie jak w bodźcach „silnych”, cyrkulacji cyklonalnej z adwekcją powietrza z północnego zachodu (NW_C) 0,6%. Bodźce „słabe” i „umiarkowane” podobnie jak bodźce „silne” odczuwane były podczas każdego typu sytuacji synoptycznej z częstością odpowiednio: bodźce „słabe” 1,2%–3,7% i bodźce „umiarkowane” 0,4%–2,0% przypadków. Największą częstość w przypadku bodźców „słabych” i „umiarkowanych” zanotowano przy cyrkulacji antycyklonalnej. Przy czym dla bodźców „słabych” największą częstość zanotowano przy adwekcji powietrza z południowego wschodu (SE_A) 3,7% i wschodu (E_A) 3,5% oraz przy cyrkulacji cyklonalnej przy adwekcji powietrza z południowego zachodu (SW_C) 3,3%. W przypadku bodźców „umiarkowanych” największa częstość wystąpiła również przy cyrkulacji antycyklonalnej, ale przy adwekcji powietrza z północnego zachodu NW_A 2,0% oraz przy cyrkulacji cyklonalnej przy napływie powietrza z południowego zachodu (SW_C) 1,9%.

Maksymalne wartości zmian międzydobowych ciśnienia atmosferycznego w omawianym okresie wystąpiły w miesiącach: od stycznia do marca, w maju, lipcu i we wrześniu i miały charakter gwałtownych spadków ciśnienia, głównie przy występowaniu cyrkula-



Ryc. 4. Część występowania (%) bodźców dynamicznych związanych z międzydobowymi zmianami ciśnienia atmosferycznego w Warszawie w różnych typach cyrkulacji atmosferycznej, 2011–2015 r.

Fig. 4. Frequency occurrence of dynamic stimuli due to interdaily changes of atmospheric pressure in different types of atmospheric circulation in Warsaw, 2011–2015

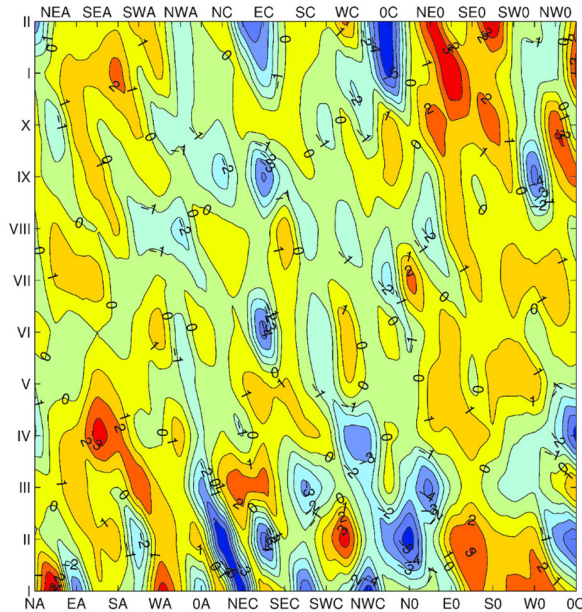
cji cyklonalnej. W pozostałych miesiącach maksymalne wartości zmian ciśnienia występowały podczas wzrostu ciśnienia i towarzyszącej im cyrkulacji antycyklonalnej przy adwekcji powietrza z zachodu i południowego wschodu (tab. 8).

Wpływ sytuacji synoptycznej na przebieg zmian międzydobowych ciśnienia atmosferycznego w omawianym okresie zanalizowano obliczając średnie miesięczne wartości tych zmian z dni, w których wystąpił określony typ sytuacji synoptycznej. Wyniki porównano odpowiednio ze średnimi miesięcznymi wartościami zmian międzydobowych ciśnienia (ryc. 5). Wzrost i spadek wartości zmiany międzydobowej ciśnienia w odniesieniu do średniej miesięcznej był nieregularny i zróżnicowany oraz miał miejsce podczas wszystkich sytuacji synoptycznych. Przy czym największy wpływ na bodźcowe oddziaływanie ciśnienia miało miejsce w sytuacji cyklonalnej, szczególnie od listopada do lutego przy adwekcji powietrza: z północy N_C (–5,9 hPa), pośredniej O_C (–5,7 hPa), północnego wschodu NE_C (–5,6 hPa) i północnego zachodu NW_C (–5,6 hPa). Wzrost wartości zmiany międzydobowej ciśnienia w stosunku do średniej miesięcznej był największy podczas sytuacji antycyklonalnej: przy adwekcji powietrza z północnego wschodu NE_A (4,5 hPa) w styczniu oraz w cyrkulacji pośredniej przy adwekcji powietrza ze wschodu E_0 (4,0 hPa) w listopadzie i południowego S_0 (4,0 hPa) w grudniu. Sytuacje synoptyczne szczególnie sprzyjające oddziaływaniu bodźcowemu międzydobowych zmian ciśnienia atmosferycznego to przede wszystkim sytuacje cyklonalne.

Tabela 8. Średnie miesięczne i maksymalne wartości międzydobowych zmian ciśnienia atmosferycznego (hPa) w Warszawie, 2011–2015 r.

Table 8. Monthly mean and maximum values of interdaily atmospheric pressure (hPa) changes in Warsaw, 2011–2015

Miesiące – Months	Średnia – Mean	Maximum	Data – Date
I	5,0	18,4	18.01.2013
II	4,8	23,7	15.02.2012
III	5,1	19,6	15.03.2014
IV	4,2	14,0	16.04.2014
V	3,2	10,6	01.05.2015
VI	2,8	10,7	14.06.2012
VII	2,8	9,5	10.07.2013
VIII	2,4	8,5	29.08.2015
IX	3,3	11,2	23.09.2013
X	4,0	15,4	23.10.2014
XI	4,0	16,5	23.11.2015
XII	5,3	20,6	10.12.2013
I–XII	3,9	23,7	15.02.2012



Ryc. 5. Średnie miesięczne różnice między zmianami międzydobowymi ciśnienia atmosferycznego przy poszczególnych typach sytuacji synoptycznej a średnimi wartościami miesięcznymi w Warszawie, 2011–2015 r.

Fig. 5. Monthly mean differences of interdaily changes of air pressure for different types of atmospheric circulation in Warsaw, 2011–2015

Częstość występowania sytuacji szczególnie sprzyjających bodźcowemu oddziaływanu międzydobowych zmian ciśnienia atmosferycznego, wahała się w analizowanym okresie od 0,6% do prawie 10%, w obu przypadkach w grudniu (tab. 9). Występowaniu silnych bodźców dynamicznych sprzyjały najczęściej sytuacje cyklonalne z adwekcją z północnego wschodu (NE_C) w lipcu 7,7% i północnego zachodu (NW_C) w październiku i grudniu 7,1%. Jednak najsilniejsza bodźcowość wystąpiła przy cyrkulacji antycyklonalnej w grudniu 9,7% przy adwekcji powietrza z zachodu (W_A).

Tabela 9. Częstość (%) występowania sytuacji synoptycznych sprzyjających bodźcowemu oddziaływanu międzydobowych zmian ciśnienia atmosferycznego w Warszawie, 2011–2015 r.
Table 9. Frequency occurrence (%) of selected circulation types favourable to strong dynamic stimuli due to interdaily changes of atmospheric pressure in Warsaw, 2011–2015

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
W_A	1,3	2,8	6,5	4,7	7,1	3,3	1,9	3,9	2,0	8,4	5,3	9,7
N_C	6,5	4,3	1,9	6,0	5,2	3,3	—	1,9	3,3	5,8	2,0	3,2
NE_C	1,3	1,4	2,6	2,0	3,2	5,3	7,7	—	2,7	0,6	—	0,6
NW_C	6,5	6,4	5,2	5,3	3,2	6,7	4,5	1,9	3,3	7,1	6,0	7,1
O_C	3,2	2,1	1,3	2,0	4,5	3,3	3,9	2,6	2,0	2,6	0,7	0,6
N_0	5,2	2,1	1,3	5,3	2,6	5,3	1,9	2,6	2,7	—	0,7	1,9
W_0	1,3	3,5	1,9	2,7	2,6	1,3	2,6	3,9	3,3	4,5	4,0	7,1

— brak danych – lack of cases

PODSUMOWANIE

Ciśnienie atmosferyczne o oddziaływanu bodźcowym może wystąpić w Warszawie w każdym miesiącu z prawdopodobieństwem od 0,2% do 19,1% w przypadku ciśnienia o wartościach wyższych niż 1015 hPa oraz od 0,1 do 3,4% w przypadku ciśnienia niższego od 985 hPa, z wyjątkiem czerwca i sierpnia. Owczarek [2005] w swoich badaniach w rejonie Hornsundu (Spitsbergen) uzyskała znacznie wyższe prawdopodobieństwo do około 60% dla ciśnienia o wartościach wyższych niż 1015 hPa i prawie do 18% w przypadku ciśnienia niższego niż 985 hPa. Zmiany międzydobowe ciśnienia atmosferycznego mogą osiągać około 24 hPa (w przypadku badań Owczarek [2005] nawet ponad 35 hPa, a w badaniach Kuchcik i in. [2013] 30 hPa dla Warszawy), a częstość występowania bodźców „silnych” wywołanych tymi zmianami wynosiła w poszczególnych miesiącach od 1% do 16%, natomiast bodźców „bardzo silnych” od 2% do 8%. Najkorzystniejszymi miesiącami dla organizmu człowieka (podobnie wyniki otrzymali również Owczarek [2005] i Kuchcik [2013]) są czerwiec, lipiec i sierpień, w których najrzadziej odnotowywane są wartości ciśnienia o oddziaływanu bodźcowym oraz „silne” i „bardzo silne” bodźce dynamiczne spowodowane zmianami międzydobowymi ciśnienia. Najmniej korzystne są grudzień, styczeń, luty i marzec. Spośród sytuacji synoptycznych największe znaczenie dla bodźcowości zmian ciśnienia mają sytuacje

cyklonalne: szczególnie przy adwekcji powietrza z sektora północno-zachodniego (NW_C) oraz przy cyrkulacji antycyklonalnej: adwekcji powietrza z sektora pośredniego (0_A) i północno-zachodniego (NW_A).

Wyniki badań dotyczące rocznej cykliczności międzydobowych zmian ciśnienia atmosferycznego potwierdzają, przynajmniej w ogólnym zarysie wcześniejsze rezultaty Kozłowskiej-Szczęsnej i in. [1997], Fortuniaka i in. [2000], Błażejczyka [2004], Półrolniczaka [2010a,b] oraz Kuchcik i in. [2013].

Wyniki tej pracy stanowią informację uzupełniającą wiedzę o warunkach bioklimatycznych obszaru Warszawy o element rzadko rozpatrywany, lecz mogący mieć znaczenie dla samopoczucia i zdrowia osób mieszkających i przebywających na tym obszarze.

PIŚMIENNICTWO

- Baranowski, J., Błażejczyk, K., Pisarczyk, S., Śmietanka, M. (1998). Wpływ warunków meteorologicznych za zachorowalność mieszkańców Warszawy. Dokumentacja Geograficzna IGiPZ PAN, 26, ss. 155.
- Bartoszek, K., Węgrzyn, A., Sienkiewicz, E. (2014). Częstość występowania i uwarunkowania cyrkulacyjne nocy ciepłych, bardzo ciepłych oraz gorących w okolicach Lublina i Nałęczowa. *Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ.*, 66, 410–420.
- Bąk, B., Maszewski, R. (2012). Typy cyrkulacji atmosfery w regionie Bydgosko-Toruńskim podczas długotrwałej suszy meteorologicznej w latach 1989–1998. *Woda Środ. Obsz. Wiej.*, t. 12, 4(40), 17–29.
- Bednorz, E. (2011). Synoptic conditions of the occurrence of snow cover in central European lowlands. *Intern. J. Climatol.*, 31: 1108–1118.
- Bednorz, E., Półrolniczak, M., Czarnecki, B. (2013). Synoptic conditions governing upwelling along the Polish Baltic coast. *Oceanologia* 55(4), 767–785.
- Błażejczyk, K. (2002). Znaczenie czynników cyrkulacyjnych i lokalnych w kształtowaniu klimatu i bioklimatu aglomeracji warszawskiej. *Dok. Geogr.*, 26, IGiPZ PAN, Warszawa.
- Błażejczyk, K. (2004). Bioklimatyczne uwarunkowania rekreacji i turystyki w Polsce. IGiPZ PAN, *Pr. Geogr.*, 192, ss. 290.
- Błażejczyk, K., Kunert, A. (2011). Bioklimatyczne uwarunkowania rekreacji i turystyki w Polsce. Monografie. IGiPZ PAN, Warszawa.
- Bokša, V.G., Boguckij, B.V. (1980). *Medicinskaja klimatologia i klimatoterapija*. Zdorovja, Kiev.
- Casado, M.J., Pastor, M.A. (2013). Circulation types and winter precipitation in Spain. *Int. J. Climatol.* Wiley Online Library.
- Fortuniak, K., Kozuchowski, K., Papiernik, Ż. (2000). Sezonowa zmienność ciśnienia atmosferycznego w Warszawie w XIX i XX wieku. *Przegl. Geofiz.*, 45(1), 17–32.
- Girjatowicz, J.P., Świątek, M., Wolski, T. (2016). The influence of atmospheric circulation on the water level on the southern coast of the Baltic Sea. *Int. J. Climatol.* Wiley Online Library.
- Jankowiak, J. (red.) (1976). *Biometeorologia człowieka*. Państwowy Zakład Wydawnictw Lekarskich, Warszawa, ss. 186 s.
- Kassomenos, P.A., Paschalidou, A.K., Lykoudis, S., Koletsis, I. (2014). Temperature inversion characteristics in relation to synoptic circulation above Athens, Greece. *Environ. Monit. Assess.*, 186, 3495–3502.
- Kozłowska-Szczęsna, T., Błażejczyk, K., Krawczyk, B. (1997). *Bioklimatologia człowieka*. IGiPZ PAN, Monografie, 1, ss. 200.
- Kozłowska-Szczęsna, T., Krawczyk, B., Kuchcik, M. (2004). Wpływ środowiska atmosferycznego na zdrowie i samopoczucie człowieka. Monografie, 4. *Dok. Geogr.* IGiPZ PAN, Warszawa, 194.

- Koźmiński, Cz., Michalska, B. (2012). Międzydobowe zmiany ciśnienia atmosferycznego w Polsce niekorzystne dla organizmu człowieka. *Przeł. Geogr.*, 84(3), 361–374.
- Kuchcik, M. (1999). Wpływ warunków pogodowych na umieralność mieszkańców Warszawy. *Balneol. Pol.*, 41(1–2), 71–87.
- Kuchcik M., Błażejczyk K., Szmyd J., Milewski P., Błażejczyk A., Baranowski J. (2013). Potencjał leczniczy klimatu Polski. IGiPZ PAN, Wydawnictwo Akademickie Sedno, Warszawa, ss. 274.
- Lityński, J. (1969). Liczbowa klasyfikacja typów cyrkulacji i typów pogody dla Polski. *Pr. PIHM*, 97, 3–15.
- Matuszko, D., Pluta, G. (2012). Rola cyrkulacji atmosfery w kształtowaniu zachmurzenia (na przykładzie Krakowa). [W:] Z. Bielec-Bąkowska, E. Łupikasa, A. Widawski (red). *Rola cyrkulacji atmosfery w kształtowaniu klimatu*. Wydział Nauk o Ziemi UŚ, Sosnowiec, 147–156.
- Nowosad, M. (2004). Sezony cyrkulacyjne nad Polską 1951–1990. *Ann. Universitas Mariae Curie-Skłodowska*, LIX, 5, sectio B, 83–100.
- Okoniewska, M., Więclaw, M. (2013). Trwałość występowania typów pogody w okresach adwekcji różnych rodzajów mas powietrza w Toruniu (in Polish) (Stability of occurrence of weather types in the periods of advection different air masses in Toruń). *J. Health Sci.*, 3(14), 11–20.
- Owczarek, M. (2005). Bodźcowe oddziaływanie ciśnienia atmosferycznego w rejonie polskiej stacji polarnej w Hornsundzie w latach 1991–2000. *Probl. Klimatol. Polarnej*, 15, 143–153.
- Pórolniczak, M. (2010a). Międzydobowe zmiany ciśnienia atmosferycznego na obszarze środkowej Europy w latach 1951–2000. [W:] *Klimat Polski na tle klimatu Europy. Zmiany i ich konsekwencje*. Red. E. Bednarz, L. Kolendowicz. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, 107–119.
- Pórolniczak, M. (2010b). Sezony bioklimatyczne międzydobowych zmian ciśnienia atmosferycznego w Poznaniu w drugiej połowie XX wieku. *Badania Fizjogr., Seria A*, 61, 73–89.
- Przybylak, R., Maszewski, R. (2009). Zmienność cyrkulacji atmosferycznej w regionie Bydgosko-Toruńskim w latach 1881–2005. *Acta Agrophys.*, 14(2), 427–447.
- Przybylak, R., Wyszynski, P., Vizi, Z., Jankowska, J. (2013). Atmospheric pressure changes in the Arctic from 1801 to 1920. *Int. J. Climatol.*, 33, 1730–1760.
- Rozbicki, T., Gołaszewski, D. (2003). Analysis of local climate changes in Ursynów in the period 1960–1991 as a result of housing estate development. *5th Int. Conf. on Urban Climate-proceedings*, vol. 2, Wydawnictwo UŁ, Łódź, 455–458.
- Szyga-Pluta, K. (2009). Typy cyrkulacji atmosfery a rodzaje chmur w Poznaniu. *Bad. Fizjogr. nad Polską Zach.*, 60, seria A, 133–145.
- Szyga-Pluta, K. (2015). Circulation influence on cloudiness in Poznań. *Quaest. Geograph.*, 34(3), 141–149.
- Szyga-Pluta, K., Pórolniczak, M. (2012). Międzydobowe zmiany ciśnienia atmosferycznego w Poznaniu na tle typów cyrkulacji GWL (Grosswetterlagen). *Przeł. Geogr.*, 84(3), 423–435.
- Ustrnul, Z., Wypych, A. (2011). Ekstremalne wartości temperatury powietrza w Polsce w świetle różnych klasyfikacji typów cyrkulacji. *Prace i Studia Geogr.*, 47, 87–95.
- Żmudzka, E. (2005). Pole ciśnienia nad Europą i północnym Atlantykiem w sezonach i latach o anomalnym zachmurzeniu nad Polską. *Woda Środ. Obsz. Wiej.*, 5(14), 393–410.
- Żmudzka, E. (2007). Zmienność zachmurzenia nad Polską i jej uwarunkowania cyrkulacyjne (1951–2000). Wydawnictwo UW, Warszawa, ss. 400.

THE INFLUENCE OF BIOMETEOROLOGICAL STIMULI OF AIR PRESSURE IN RELATION TO ATMOSPHERIC CIRCULATION IN WARSAW

Abstract. Temporal distribution of atmospheric pressure, the stimulus impact of atmospheric pressure greater than 1015 hPa or below 985 hPa were the aim of this study. Frequency of occurrence and probability of interdaily pressure changes were stated and relationship between these changes and types of atmospheric circulation according to Litynski were analyzed. One hour values of atmospheric pressure from station Ursynów WULS-SGGW of the period 2011–2015 were used in the calculations. Based on the study found that in Warsaw atmospheric pressure of stimulus impact can occur in any month with the probability between 0.2% and 19.1% for pressure greater than 1015 hPa, and between 0.1 to 3.4% for pressure lower than 985 hPa except two months: June and August. The interdaily changes in atmospheric pressure may reach about 24 hPa and the frequency of occurrence „strong” stimulus caused by these changes in each month were from 1% to 16% while frequency of occurrence „very strong” stimulus from 2% to 8%. Among of the synoptic situations, the most important for stimulus of pressure changes are cyclonic situations especially for the inflow of air from the north-western sector (NW_C).

Key words: interdaily changes of the atmospheric pressure, atmospheric circulation, Warsaw

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 1.09.2016.

Do cytowań – For citation: Rozbicka, K., Rozbicki, T. (2016). Oddziaływanie bodźcowe ciśnienia w zależności od cyrkulacji atmosferycznej w Warszawie. *Acta. Sci. Pol., Formatio Circumiectus*, 15(3), 121–136.