

## **Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na występowanie dni z burzą w Polsce w latach 1971-2000**

Influence of atmospheric circulation on an occurrence of days with thunderstorms in the period 1971-2000 in Poland

**Leszek Kolendowicz<sup>1</sup>**

**Zarys treści:** Prezentowane wyniki badań dotyczą zależności występowania dni z burzą na obszarze Polski od cyrkulacji atmosferycznej nad obszarem Europy Środkowej i Wschodniej w 30-leciu 1971-2000. Na podstawie analizy map synoptycznych z lat 1971-2000 i aktywności burzowej wyróżniono 7 typów sytuacji synoptycznej charakterystycznych dla dni burzowych w Polsce. Wykorzystując obliczenia korelacji oraz regresji logistycznej dokonano próby określenia wpływu częstości występowania wyróżnionych typów sytuacji synoptycznej na częstość pojawiania się dni burzowych w poszczególnych latach badanego okresu. Uzyskane wyniki jednoznacznie wskazują na sytuację synoptyczną z chłodnym frontem atmosferycznym przemieszczającym się z sektora zachodniego i ciepłą, wilgotną masą powietrza zwrotnikowego przed frontem jako na najbardziej sprzyjającą występowaniu burz. Częstość tej sytuacji synoptycznej wyjaśnia w ponad 90% częstość dni burzowych.

**Słowa kluczowe:** dni z burzą, sytuacje synoptyczne

**Key words:** days with thunderstorm, synoptic situations

### **Wstęp**

Cyrkulacja atmosferyczna jest odpowiedzialna za transport wilgoci i energii cieplnej związanych bezpośrednio z przemieszczającymi się masami powietrza. W szerokościach umiarkowanych przybiera ona formę migrujących układów cyklonalnych i antycyklonalnych o średnicy od 1000 do 2000 km i czasie trwania od jednego do kilkunastu dni. Wpływając na pogodę jest ona odpowiedzialna zarówno za wartości elementów meteorologicznych, jak i za powstanie wielu zjawisk atmosferycznych. Do zjawisk atmosferycznych w dużej mierze związanych z cyrkulacją atmosfery należy zaliczyć burzę.

---

<sup>1</sup> Instytut Geografii Fizycznej i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego, Uniwersytet im. A. Mickiewicza, ul. Dziegielowa 27, 61-680 Poznań, e-mail: leszko@amu.edu.pl

Wpływem cyrkulacji atmosferycznej oraz warunków synoptycznych na wystąpienie burz zajmowało się wielu autorów. S.A. Changnon (1985, 1988a, 1988b) wykorzystując dane z XX w. z obszaru USA wskazał na pozytywne związki częstości występowania burz z aktywnością cyklonalną oraz częstością frontów chłodnych. V.A. Kamyshanova (1974) badając liczbę dni z burzą w Moskwie i Leningradzie w latach 1900-1968 stwierdziła podobieństwo przebiegu wieloletniego do obserwowanego w USA i Kanadzie w wyższych szerokościach geograficznych. Wskazała także związki aktywności burzowej z cyrkulacją atmosfery o charakterze cyklonalnym. R. Brázdil (1998) na podstawie danych z lat 1946-1995 przeanalizował między innymi powiązania częstości burz i opadów gradu z typami sytuacji synoptycznych, zwracając uwagę na ich istotny statystycznie związek z cyrkulacją o charakterze cyklonalnym. A. Walkner (1992) na obszarze Niemiec, Szwajcarii i USA wydzielił kilka klas burz ze względu na warunki synoptyczne, w których powstały i wskazał na silny związek aktywności burzowej z cyrkulacją atmosfery w sensie wielkoskalowym. Wskazał również na duży wpływ aktywności frontów chłodnych na intensywność burz. W niniejszym opracowaniu wyróżniono 7 typów sytuacji synoptycznej na obszarze Polski charakterystycznych dla dni burzowych i określono ich wpływ na aktywność burzową w poszczególnych regionach kraju (Kolendowicz 2005).

## Materiały i metody badawcze

Opracowanie oparto na danych dotyczących dni z burzą w 42 polskich stacjach synoptycznych sieci IMGW z lat 1971-2000 (ryc. 1). Za dzień z burzą przyjęto dobę, w której przynajmniej raz wystąpiła burza (od godziny 00.00 do następnego 00.00 UTC). W przypadku burz na przełomie doby zaliczono je do obu dni.



Ryc. 1. Rozmieszczenie stacji synoptycznych  
Fig. 1. Location of weather stations

W celu wyróżnienia typów sytuacji synoptycznych charakterystycznych dla dni z burzą na obszarze Polski posłużono się mapami synoptycznymi z godziny 00.00 UTC, publikowanymi w *Biuletynie synoptycznym PIHM* z lat 1971-1980 oraz *Codziennym biuletynie meteorologicznym IMGW* z lat 1981-2000. Wyróżniono 7 typów sytuacji synoptycznej charakterystycznych dla dni burzowych. Wpływ tych typów na aktywność burzową zbadano na podstawie obliczenia współczynników korelacji rang Spearmana (zbiór danych dotyczących liczby dni z burzą w badanym 30-leciu nie charakteryzował się rozkładem normalnym) oraz przy użyciu analizy regresyjnej. W opracowaniu wykorzystano regresję logistyczną w postaci:

$$y = 1/(1+\exp(a_0+a_1x+a_2x^2)) \text{ (Rosner 1986)}$$

Zastosowanie regresji pozwoliło na wyznaczenie zależności wystąpienia dnia z burzą ( $y$ ) na podstawie liczby dni z określonym typem sytuacji synoptycznej ( $x$ ) w poszczególnych dniach badanego okresu, gdzie  $a_0$ ,  $a_1$  i  $a_2$  są oszacowywanymi parametrami funkcji regresyjnej.

Zmienne zależne w funkcjach regresyjnych wymagały unormowania, aby wyrażały szansę wystąpienia dnia z burzą, czyli aby mieściły się w przedziale od 0 do 1. Z tego powodu zaistniała konieczność przeliczenia wszystkich zmiennych na wartości średnie dobowe z poszczególnych lat wielolecia. Dodatkowo analizowano normalność błędów regresji (rozkładów reszt), co pozwoliło uwiarygodnić otrzymane wyniki. Zastosowanie w opracowaniu regresji logistycznej opartej na funkcji kwadratowej pozwoliło na uzyskanie najlepszych rezultatów zarówno pod względem ilości wiarygodnych wyników, jak również pod względem procentowego wyjaśnienia poprzez regresję.

Następnie zbadano wieloletnią zmienność liczby dni z burzą oraz liczby dni burzowych występujących przy wyróżnionych typach sytuacji synoptycznej. Zastosowanymi miarami zmienności były odchylenie standardowe i współczynnik zmienności (iloraz odchylenia standardowego i średniej, podany w procentach).

Zbadano również tendencje zmian zarówno liczby dni z burzą, jak i liczby dni burzowych występujących przy wyróżnionych typach sytuacji synoptycznej. Na wykresach naniesiono linie trendu wraz z ich równaniami.

## Wyniki badań

Analiza sytuacji synoptycznych w badanym wieloleciu na obszarze Polski wykazała istnienie charakterystycznych układów barycznych oraz związanych z nimi frontów atmosferycznych występujących podczas dni z burzą. Wyróżniono 7 typów sytuacji synoptycznej charakterystycznych dla dni burzowych.

Typy sytuacji synoptycznej w dniach z burzami frontalnymi:

- Typ 1: Burze nad Polską mogą powstawać podczas przemieszczania się frontu chłodnego lub zokludowanego (bądź zespołu frontów wraz z frontem ciepłym poprzedzającym front chłodny) z kierunków od północno-zachodniego przez zachodni do południowo-zachodniego.
- Typ 2: Front chłodny lub układ frontów przemieszcza się nad obszar Polski z kierunków od północno-zachodniego przez zachodni do południowo-zachodniego, jednak umiejscowienie układu wysokiego ciśnienia z centrum nad zachodnią Rosją, Ukrainą lub Białorusią powoduje przed nadejściem frontu napływ ciepłego i wilgotnego powietrza zwrotnikowego nad obszar kraju z sektora południowego. Burze powstające na czole nadchodzącego frontu chłodnego lub zokludowanego przebiegają z reguły gwałtownie.
- Typ 3: Front chłodny lub zokludowany przemieszczania się nad obszar Polski z kierunku północnego lub północno-wschodniego.
- Typ 4: Burze powstają również na frontach związanych z lokalnym układem niskiego ciśnienia, którego centrum przemieszcza się z południowego zachodu na północny

wschód bezpośrednio nad obszarem Europy Zachodniej i Środkowej, w tym również nad Polską.

Typy sytuacji synoptycznych w dniach z burzami wewnątrzmasowymi:

Typ 5: Do tego typu zaklasyfikowano dni z sytuacją synoptyczną bez frontów nad obszarem Polski i przy jednoczesnym braku układu wysokiego ciśnienia nad Europą Środkową.

Typ 6: Burze wewnątrzmasowe mogą powstawać również w okresach występowania przez dłuższy czas nad Polską wyraźnego wyżu, przy braku frontów atmosferycznych nad obszarem Polski.

Wyróżniono ponadto pośredni typ sytuacji synoptycznej, w którym z reguły burze występują na zapleczu frontu ciepłego:

Typ 7: Do powstania burz nad obszarem Polski, z reguły wewnątrz masy powietrza, dochodzi również po przejściu frontu ciepłego z południa, południowego wschodu lub wschodu. Napływ ciepłego powietrza spowodowany jest podwyższonym ciśnieniem atmosferycznym nad obszarem wschodniej lub południowej Europy oraz obniżonym ciśnieniem nad pozostałą częścią kontynentu. Burze powstają w tym przypadku z reguły nie na froncie, ale w masie powietrza napływającej za frontem ciepłym (Kolendowicz 2005).

Analiza aktywności burzowej w wyróżnionych typach sytuacji synoptycznej wykazuje największą frekwencję dni burzowych w typie 1 i 5. Dni z burzą w wymienionych typach sytuacji stanowią razem niemal 80% wszystkich dni burzowych. Tak duża częstość dni z burzą związana jest z bardzo dużą częstością tych typów w ciągu roku. W badanym okresie frekwencja dni z sytuacją synoptyczną typu 1 wynosiła około 30%, a dni z sytuacją typu 5 niemal 50%.

Stosunkowo dużą frekwencję dni z burzą charakteryzowała się sytuacja synoptyczna typu 4. Dni burzowe występujące przy tym typie sytuacji stanowiły około 10% wszystkich dni burzowych w badanym 30-leciu.

Dni z burzą pojawiają się z największym, ponad 20% prawdopodobieństwem w typie 2 sytuacji synoptycznej. Dużym prawdopodobieństwem cechuje się również sytuacja synoptyczna typu 4 (ponad 10%). Należy wskazać również na sytuację synoptyczną typu 7, przy której

prawdopodobieństwo osiąga około 10% w ciągu roku. Przy pozostałych typach sytuacji synoptycznej prawdopodobieństwo wystąpienia dni z burzą osiąga mniejsze wartości.

Badając zależność częstości występowania dni z burzą od wyróżnionych typów sytuacji synoptycznej w badanym 30-leciu posłużono się współczynnikiem korelacji rangowej Spearmana (tab. 1).

Na podstawie analizy korelacji stwierdza się, że silna pozytywna oraz

Tab. 1. Współczynniki korelacji rang Spearmana przebiegów liczby dni z wyróżnionymi typami sytuacji synoptycznej (S1-S7) i liczby dni z burzą w wyróżnionych typach w poszczególnych latach okresu 1971-2000. Wyfłuszczone wartości istotne na poziomie 0,05

Table 1. Values of Spearman's rank correlation coefficient presented for a sum of days with synoptic situation (S1-S7) and a sum of days with thunderstorm during this situation in the period 1971-2000. Values statistically significant at 0.05 level in bold

S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
<b>0,47</b>	<b>0,89</b>	0,44	<b>0,65</b>	0,21	<b>0,61</b>	0,41

istotna statystycznie korelacja charakteryzuje sytuację synoptyczną typu 2; nieco słabsza zależność statystyczna dotyczy sytuacji typu 4 i 6.

Na podstawie badań z użyciem regresji logistycznej stwierdzono, że największy wpływ na występowanie dni z burzą ma sytuacja synoptyczna typu 2. Częstość tego typu sytuacji synoptycznej wyjaśnia pojawianie się dni burzowych w ponad 90%. Frekwencja sytuacji synoptycznej typu 4 wyjaśnia wystąpienie dni z burzą w ponad 55%. W przypadku pozostałych typów sytuacji synoptycznej uzyskane wyniki badań nie przekraczały 25% bądź nie były wiarygodne. Wyniki analizy regresji przedstawiono w tabeli 2.

Tab. 2. Procent wyjaśnienia zależności częstości dni z burzą od częstości dni z określoną sytuacją synoptyczną w latach 1971-2000

Table 2. Percentage of explanation of the dependency of the days with thunderstorm frequency upon the days with distinguished type of synoptic situation frequency in the years 1971-2000

	$a_0$	$a_1$	$a_2$	W
S1	3,8777212	0,2061941	-3,365528	<b>23,1</b>
S2	7,9160274	-218,356	3706,5672	<b>92,0</b>
S3	7,2269964	-25,00858	271744,72	19,1
S4	6,3353522	-23,63199	0,0999993	<b>55,6</b>
S5	4,6875875	-1,988388	0,1000000	<b>21,4</b>
S6	7,4523937	-19,54753	0,1000000	49,1
S7	6,4212188	-21,14475	0,1000000	<b>12,0</b>

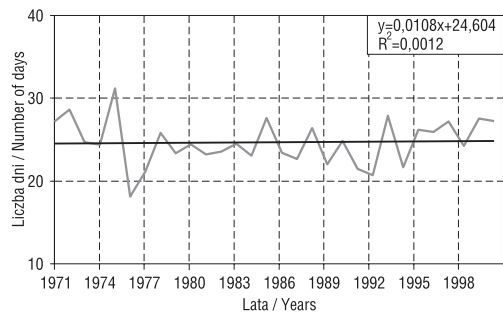
W – wyróżnione typy sytuacji synoptycznej, S1,...,S7 – oszacowane parametry funkcji regresyjnej

$y=1/(1+\exp(a_0+a_1x+a_2x^2)) - a_0, a_1, a_2$ . Wytłuszczone wartości istotne statystycznie

W – distinguished types of synoptic situation, S1,...,S7 – estimated parameters of regression function

$y=1/(1+\exp(a_0+a_1x+a_2x^2)) - a_0, a_1, a_2$ . Bold fonts signify statistically significant values

Na podstawie analizy przebiegu liczby dni z burzą na obszarze Polski w latach 1971-2000 nie stwierdzono istotnych statystycznie tendencji zmian aktywności burzowej w tym czasie (ryc. 2). Współczynnik zmienności w badanym 30-leciu wyniósł 11,1% (tab. 3). Istotna statystycznie dodatnia tendencja aktywności burzowej dotyczy natomiast sytuacji synoptycznej typu 2, a ujemna tendencja charakteryzuje sytuację synoptyczną typu 5 i 6 (ryc. 3). Największą zmiennością aktywności burzowej w badanym okresie charakteryzuje sytuacja synoptyczna typu 2 (124,6%) oraz typu 6 (96,7%) (tab. 3).



Ryc. 2. Średnia roczna liczba dni z burzą w Polsce w latach 1971-2000

Fig.2. Mean annual number of days with thunderstorm in Poland in the period 1971-2000

Tab. 3. Miary zmienności wieloletniej liczby dni z burzą (DB) oraz liczby dni z burzą przy wyróżnionych typach sytuacji synoptycznej (S1-S7). Dane średnie z obszaru Polski z lat 1971-2000

Table 3. Multiannual variability coefficients for days with thunderstorms (DB) and number of days with thunderstorm in distinguished type of synoptic situation (S1-S7). Mean data for Poland from the period 1971-2000

	Sr	Os	Wz
DB	24,8	2,8	11,1
S1	9,5	1,7	18,0
S2	1,0	1,2	124,6
S3	1,1	0,8	71,4
S4	2,5	1,4	55,6
S5	8,6	2,2	26,1
S6	0,8	0,7	96,7
S7	1,2	0,9	78,1

Sr – średnia, Os – odchylenie standardowe, Wz – współczynnik zmienności.

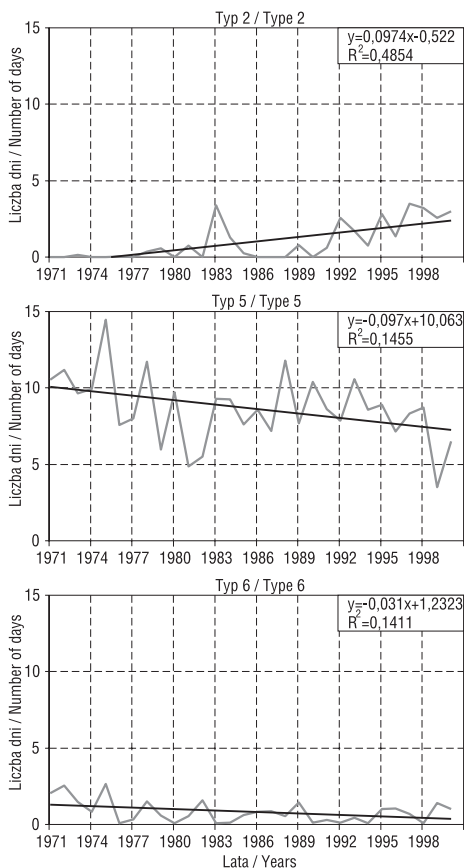
Sr – mean, Os – standard deviation, Wz – variability coefficient.

## Wnioski

Wyniki badań dotyczące tendencji zmian aktywności burzowej w Polsce w wieloleciu 1971-2000 zgodne są z dotychczasowymi wynikami badań Z. Bielec-Bąkowskiej (2002, 2003). Przebieg średniej rocznej liczby dni z burzą charakteryzuje się małą zmiennością, poza niewielkim wzrostem w latach 70. XX w. Brak również wyraźnych tendencji zmian częstości dni burzowych w badanym okresie.

Największy wpływ na występowanie dni z burzą w wieloleciu 1979-2000 ma sytuacja synoptyczna typu 2. Częstość dni burzowych wykazuje bardzo dużą korelację z frekwencją dni z tym typem sytuacji. Ponadto należy wskazać, że występowanie dni z sytuacją synoptyczną typu 2 wyjaśnia w ponad 90% frekwencję dni burzowych.

Dużym wpływem na częstość dni burzowych cechuje się również sytuacja synoptyczna typu 4, wyjaśniająca frekwencję dni burzowych w ponad 55%.



Ryc. 3. Średnia roczna liczba dni z burzą w typach sytuacji synoptycznej (typ 2, 5, 6) na obszarze Polski w latach 1971-2000

Fig. 3. Mean annual number of days with thunderstorm in types of synoptic situation (Type 2, 5, 6) in Poland in the period 1971-2000

## Literatura

- Bielec-Bąkowska Z., 2002, *Zróźnicowanie przestrzenne i zmienność wieloletnia występowania burz w Polsce*, Wyd. UŚ, Katowice.
- Bielec-Bąkowska Z., 2003, *Long-term variability of thunderstorm occurrence in Poland in the 20<sup>th</sup> century*, *Atmos. Res.*, 67-68, 35-52.
- Biuletyn synoptyczny PIHM*, 1971-1980, Warszawa.
- Brázdil R., 1998, *Casová a prostorová analýza bourek, krupobití a extrémních srážek v jižní části Moravy v období 1946-1995*, *Meteorologické zprávy*, 51, 45-52.
- Codzienny biuletyn meteorologiczny IMGW*, 1981-2000, Warszawa.
- Changnon S.A., 1985, *Secular variations in thunder-day frequencies in the Twentieth Century*, *J. Geophys. Res.*, 90, D4, 6181-6194.
- Changnon S.A., 1988a, *Climatology of thunder events in the conterminous United States, Part I: Temporal aspects*, *J. Climate*, 1, 389-398.
- Changnon S.A., 1988b, *Climatology of thunder events in the conterminous United States, Part II: Spatial aspects*, *J. Climate*, 1, 399-405.
- Kamyshanova V.A., 1974, *Thunderstorm activity over USSR and its relationship with atmospheric circulation types in the Northern Hemisphere*, [w:] *Studies in Atmospheric Electricity*, Leningrad, 14-22.
- Kolendowicz L., 2005, *Wpływ cyrkulacji atmosferycznej oraz temperatury i wilgotności powietrza na występowanie dni z burzą na obszarze Polski*, Wyd. Nauk. UAM, Poznań.
- Rosner B., 1986, *Fundamentals of biostatistics*, PWS Publishers, Duxbury Press, Boston.
- Walkner A., 1992, *Grossräumige Austauschprozesse der Atmosphäre als Ursache von Starkgewittern*, *Phys. Geogr.*, 35, Zürich.

## Summary

The results presented in this study analyse the relationship between the atmospheric circulation over central and western Europe and the occurrence of days with thunderstorms in that area of Poland during the 30-year period 1971-2000.

Seven types of synoptic situation characteristic for days when thunderstorms occur were distinguished based on the analysis of daily synoptic IMGW maps from the years 1971-2000 and data on thunderstorm activity in 42 synoptic stations. An attempt was made to specify the influence of the frequency of occurrence of different circulation types on the frequency of occurrence of thunderstorm days, using correlation analysis and logistic regression. Also, the multi-annual variability in the number of days with thunderstorms was taken into consideration, as well, as the multi-annual variability in the number of thunderstorm days occurring under particular circulation types. Finally, the trends of the frequency of thunderstorm days and the trends of frequency of thunderstorm days under particular circulation types were calculated. All the calculations were performed using average numbers of the days with thunderstorms for the entire area of Poland.

