

LESZEK KOLENDOWICZ

WYBRANE WSKAŹNIKI WILGOTNOŚCI POWIETRZA W DNIACH Z BURZĄ W POZNANIU

ZARYS TREŚCI

Niniejsze opracowanie zajmuje się próbą wyboru najbardziej przydatnego w klimatologicznych badaniach zjawiska burz wskaźnika wilgotności powietrza. Pod uwagę wzięto następujące wskaźniki wilgotności: wilgotność powietrza aktualną i maksymalną, ciśnienie pary wodnej, wilgotność właściwą, wilgotność bezwzględna oraz wilgotność względną.

WSTĘP

Jednym z parametrów fizycznych atmosfery wywierających duży wpływ na wystąpienie burz jest wilgotność powietrza (STOPA 1964; KOLENDOWICZ 1998). Ze względu na dużą liczbę wskaźników określających zawartość pary wodnej w powietrzu istotny jest problem wyboru tego z nich, który byłby najbardziej przydatny w klimatologicznych badaniach zjawiska burzy.

Opracowując to zagadnienie, wykorzystano dane ze stacji IMGW Poznań Ławica z wielolecia 1961–1990. Dane dotyczyły występowania dni z burzą oraz średnich dobowych wartości następujących wskaźników wilgotności powietrza: aktualnego i maksymalnego ciśnienia pary wodnej, wilgotności właściwej, wilgotności bezwzględnej oraz wilgotności względnej.

METODA BADAŃ

Zgodnie z przyjętą nomenklaturą (STRAUCH 1972), ciśnienie pary wodnej e definiuje się jako ciśnienie, które wywiera para

wodna zawarta aktualnie w powietrzu, i wyraża w hPa.

Ciśnienie maksymalne pary wodnej E to najwyższe ciśnienie pary nasyconej względem płaskiej powierzchni wody w danej temperaturze powietrza. Wyraża się je również w hPa.

Wilgotność właściwa q to masa pary wodnej zawarta w jednostce masy powietrza wilgotnego. Wyraża się ją wzorem:

$$q = \frac{622e}{p - 0,378e} \left[\frac{g}{kg} \right]$$

gdzie p – ciśnienie powietrza wilgotnego, e – aktualne ciśnienie pary wodnej.

Wilgotność bezwzględna a to ilość pary wodnej zawartej w 1 m^3 powietrza (w gramach). Wyraża się ją wzorem:

$$a = \frac{0,81e}{1 + \alpha t} \left[\frac{g}{m^3} \right]$$

gdzie α – współczynnik rozszerzalności objętościowej powietrza, t – temperatura powietrza, e – aktualne ciśnienie pary wodnej.

Wilgotnością względną nazywa się stosunek ciśnienia pary wodnej znajdującej się aktualnie w powietrzu do mak-

symalnego ciśnienia pary w danej temperaturze (tzn. ciśnienia pary wodnej nasyconej względem powierzchni wody).

$$f = \frac{e}{E}$$

Stosunek ten zazwyczaj wyrażony jest w procentach.

Charakteryzując poszczególne wskaźniki wilgotności w badanym wieloleciu, przeanalizowano wartości prawdopodobieństwa wystąpienia dni burzowych przy wyznaczonych uprzednio zakresach wartości wskaźników wilgotności powietrza. Wartość prawdopodobieństwa wyrażono w % i dla każdego zakresu średniej dobowej wilgotności powietrza obliczono, dzieląc liczbę dni z burzą występujących w tym zakresie wilgotności przez liczbę wszystkich dni charakteryzujących się tą wilgotnością. Dokonano również obliczeń liczby dni z wartościami wskaźników należącymi do wyznaczonych uprzednio zakresów oraz liczby dni z burzą przy danych zakresach wartości. Dla określonych uprzednio zakresów średniej dobowej wilgotności powietrza obliczono współczynniki korelacji pomiędzy wartościami liczby dni z burzą i liczbą wszystkich dni charakteryzujących się wilgotnością z tych przedziałów. Istotność współczynników korelacji przetestowano za pomocą testu t-Studenta. W wypadku analizy współczynników korelacji oraz ich testowaniu jako poziom istotności przyjęto wartość 0,01.

WYNIKI BADAŃ

Charakteryzując dni z burzą za pomocą średnich dobowych wartości ciśnienia pary wodnej (tab. 1), zauważa się, że prawdopodobieństwo wystąpienia dnia burzowego zwiększa się wraz ze wzrostem ciśnienia pary wodnej, osiągając największą wartość (75%) dla ciśnienia większego od 22 hPa. Dni z burzą nie

Tabela 1. Zakresy wartości aktualnego ciśnienia pary wodnej e zawartej w powietrzu. Poznań 1961–1990

Table 1. Ranges of actual water vapor pressure e contained in the air. Poznań 1961–1990

e [hPa]	P	r
0–2,0	0,00	
2,1–4,0	0,00	
4,1–6,0	0,16	0,08
6,1–8,0	0,37	0,11
8,1–10,0	1,70	0,28
10,1–12,0	5,16	0,34
12,1–14,0	8,03	0,43
14,1–16,0	17,97	0,63
16,1–18,0	29,20	0,71
18,1–20,0	39,38	0,78
20,1–22,0	55,26	0,82
> 22,0	75,00	0,86

P – prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z burzą przy danych zakresach wartości aktualnego ciśnienia pary, (probability of occurrence of days with thunderstorm at given values of actual water vapor pressure), r – współczynniki korelacji pomiędzy przebiegiem liczby dni z burzą przy określonych zakresach aktualnego ciśnienia pary oraz liczbą dni z danymi zakresami aktualnego ciśnienia pary (coefficients of correlation between the number of days with thunderstorm at given ranges of actual water vapor pressure and the number of days with particular ranges of water vapor pressure)

występują natomiast przy ciśnieniu pary wodnej mniejszym od 4,1 hPa. Przy wzrastającym ciśnieniu pary obliczone współczynniki korelacji osiągają coraz większe wartości, przy czym wartości istotne statystycznie dotyczą ciśnienia większego od 14,0 hPa.

W wypadku analizy średnich dobowych wartości maksymalnego ciśnienia pary wodnej w dniach z burzą (tab. 2), stwierdza się również wzrost prawdopodobieństwa wystąpienia burz przy wzrastającym ciśnieniu. Osiąga ono maksymalną wartość 22,2% dla ciśnienia pary większego od 35 hPa. Burze nie występują natomiast przy wartościach ciśnienia mniejszych od 5,1 hPa. Obliczone współczynniki korelacji są istotne statystycznie dla ciśnienia z zakresu od 15,1 do 35,0 hPa.

Badając średnie dobowe wartości wilgotności właściwej w dniach burzowych (tab. 3), zauważa się również wzrost prawdopodobieństwa wystąpienia dnia z burzą przy zwiększających się wartościach tego wskaźnika. Dla wilgotności większej od 14 g/kg prawdopodobieństwo osiąga wartość 100%. Burze nie występują natomiast przy wilgotności mniejszej od 2,1 g/kg. Współczynniki korelacji wzrastają razem ze zwiększającą się wilgotnością właściwą i osiągają wartości istotne statystycznie dla wilgotności większej od 8,0 g/kg.

Analizując wartości wilgotności bezwzględnej charakteryzujące dni burzowe (tab. 4), stwierdza się stopniowy wzrost prawdopodobieństwa wystąpienia burz przy wzrastającej wilgotności powietrza. Maksymalną wartość, wynoszącą 46,7%, prawdopodobieństwo osiąga przy wil-

Tabela 2. Zakresy wartości maksymalnego ciśnienia pary wodnej E zawartej w powietrzu. Poznań 1961–1990

Table 2. Ranges of maximum values of water vapor pressure E contained in the air. Poznań 1961–1990

E [hPa]	P	r
0,0–5,0	0,00	
5,1–10,0	0,34	0,07
10,1–15,0	3,25	0,30
15,1–20,0	9,43	0,63
20,1–25,0	17,81	0,73
25,1–30,0	23,74	0,73
30,1–35,0	21,65	0,56
>35,0	22,22	0,36

P – prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z burzą przy danych zakresach wartości maksymalnego ciśnienia pary wodnej zawartej w powietrzu (probability of occurrence of days with thunderstorm at given ranges of maximum water vapor pressure), r – współczynniki korelacji pomiędzy przebiegiem liczby dni z burzą przy określonych zakresach maksymalnego ciśnienia pary oraz liczbą dni z danymi zakresami maksymalnego ciśnienia pary (coefficients of correlation between the number of days with thunderstorm at given ranges of maximum water vapor pressure and the number of days with particular ranges of maximum water vapor pressure)

Tabela 3. Zakresy wartości wilgotności właściwej powietrza q . Poznań 1961–1990

Table 3. Ranges of specific air humidity q . Poznań 1961–1990

q [g/kg]	P	r
0,0–2,0	0,00	
2,1–4,0	0,18	0,11
4,1–6,0	0,87	0,20
6,1–8,0	5,30	0,42
8,1–10,0	13,52	0,67
10,1–12,0	30,58	0,77
12,1–14,0	53,66	0,82
>14,0	100,00	1,00

P – prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z burzą przy danych zakresach wartości wilgotności właściwej powietrza (probability of occurrence of days with thunderstorm at given ranges of values of specific air humidity), r – współczynniki korelacji pomiędzy przebiegiem liczby dni z burzą przy określonych zakresach wilgotności właściwej oraz liczbą dni z danymi zakresami wilgotności właściwej (coefficients of correlation between the number of days with thunderstorm at given ranges of specific air humidity and the number of days with particular ranges of specific air humidity)

gotności od 14,1 do 16,0 g/m³. Przy wilgotności większej od 16,0 g/m³ obserwowany jest natomiast niewielki spadek prawdopodobieństwa wystąpienia dnia z burzą – do 44,4%. Burze nie występują przy średniej dobowej wilgotności bezwzględnej wynoszącej mniej niż 2,1 g/m³. Obliczone współczynniki korelacji są dodatnie i istotne statystycznie dla wartości wilgotności większych od 10 g/m³, osiągając wartość maksymalną dla zakresu od 14,1 do 16,0 g/m³.

Średnia dobowa wilgotność względna w dniach burzowych badanego wielolecia (tab. 5) nie spada poniżej 41%. Prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z burzą waha się od 1,9% dla wilgotności z zakresu 41–50% do 7,6% dla wilgotności z zakresu 61–70%. Jedyny istotny statystycznie współczynnik korelacji dotyczy zakresu wilgotności z przedziału 61–70%.

Porównując obliczone wartości prawdopodobieństwa oraz współczynników

Tabela 4. Zakresy wartości wilgotności bezwzględnej powietrza *a*. Poznań 1961–1990

Table 4. Ranges of absolute air humidity *a*. Poznań 1961–1990

<i>a</i> [g/m ³]	<i>P</i>	<i>r</i>
0,0–2,0	0,00	
2,1–4,0	0,07	0,00
4,1–6,0	0,24	0,14
6,1–8,0	1,65	0,30
8,1–10,0	6,10	0,39
10,1–12,0	13,97	0,67
12,1–14,0	28,55	0,72
14,1–16,0	46,67	0,82
>16,0	44,44	0,60

P – prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z burzą przy danych zakresach wartości wilgotności bezwzględnej powietrza (probability of occurrence of days with thunderstorm at given ranges of absolute air humidity), *r* – współczynniki korelacji pomiędzy przebiegiem liczby dni z burzą przy określonych zakresach wilgotności bezwzględnej oraz liczbą dni z danymi zakresami wilgotności bezwzględnej (coefficients of correlation between the number of days with thunderstorm at given ranges of absolute air humidity and the number of days with particular ranges of absolute air humidity)

korelacji, zauważa się, że wilgotność właściwa i ciśnienie pary wodnej charakteryzują się podobnymi wynikami badań. W obu wypadkach wraz ze wzrostem wartości wskaźnika rośnie prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z burzą. Prawdopodobieństwo to jest bardzo duże dla największych zakresów wartości badanych wskaźników. Dla wilgotności względnej powietrza większej od 14 g/kg wynosi ono 100%, a dla ciśnienia pary większego od 22 hPa 75%. W wyniku przeprowadzonej dodatkowej analizy stwierdzono ponadto, że dni z burzą pojawiają się również z prawdopodobieństwem wynoszącym 100% przy średnim dobowym ciśnieniu pary większym od 23 hPa. Jednakże tak duże wartości prawdopodobieństwa należy traktować z ostrożnością. Zarówno w wypadku ciśnienia pary wodnej, jak i wilgotności właściwej powietrza liczba dni z ich wartościami większymi od 22 hPa

i 14,0 g/kg nie przekracza czterech w badanym 30-leciu. W wypadku obu porównywanych wskaźników zauważa się również wzrost wartości testu t-Studenta oraz wzrastającą dodatnią korelację pomiędzy częstością występowania dni burzowych a wzrostem wilgotności powietrza. Zatem związki pomiędzy wzrostem zawartości pary wodnej w powietrzu i wzrostem częstości pojawiania się dni z burzą są całkowicie wiarygodne dla wilgotności właściwej większej od 8,0 g/kg i ciśnienia pary większego od 14,0 hPa.

Pozostałe trzy wskaźniki wilgotności powietrza stanowią odmienną grupę, różniącą się od poprzedniej szczególnie wartościami prawdopodobieństwa. Maksymalne wartości prawdopodobieństwa są znacznie mniejsze niż w wypadku wilgotności właściwej i ciśnienia pary wodnej oraz nie przypadają na zakresy największych wartości badanych wskaźników. Natomiast cechą wspólną obu wyróżnionych grup wskaźników jest

Tabela 5. Zakresy wartości wilgotności względnej powietrza *f*. Poznań 1961–1990

Table 5. Ranges of relative air humidity *f*. Poznań 1961–1990

<i>f</i> [%]	<i>P</i>	<i>r</i>
31–40	0,00	
41–50	1,86	0,12
51–60	5,66	0,42
61–70	7,61	0,53
71–80	6,93	0,25
81–90	5,14	-0,30
>90	2,89	-0,21

P – prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z burzą przy danych zakresach wartości wilgotności względnej powietrza (probability of occurrence of days with thunderstorm at given ranges of relative air humidity), *r* – współczynniki korelacji pomiędzy przebiegiem liczby dni z burzą przy określonych zakresach wilgotności względnej oraz liczbą dni z danymi zakresami wilgotności względnej (coefficients of correlation between the number of days with thunderstorm at given ranges of relative air humidity and the number of days with particular ranges of relative air humidity)

występowanie największych wartości współczynników korelacji przy zakresach wilgotności charakteryzujących się maksymalnymi wartościami prawdopodobieństwa wystąpienia dnia z burzą.

WNIOSKI

Podsumowując wyniki badań, stwierdzić należy, że do wskaźników wilgotności powietrza najbardziej przydatnych w badaniach klimatologicznych burz zaliczyć należy średnią dobową wilgotność właściwą oraz średnie dobowe ciśnienie pary wodnej. Wskaźniki te wyrażają w sposób całkowicie wiarygodny stopniowy wzrost zależności pomiędzy coraz większą zawartością pary wodnej w powietrzu a zwiększającą się częstością występowania dni z burzą. Przy czym zwrócić należy uwagę na fakt 100% prawdopodobieństwa wystąpienia dni burzowych dla średnie-

go dobowego ciśnienia pary większego od 23 hPa i średniej dobowej wilgotności właściwej większej od 14,0 g/kg.

Najmniej przydatnym wskaźnikiem wilgotności powietrza, który mógłby być wykorzystany w badaniach burz, jest wilgotność względna. Poszczególne zakresy wartości wilgotności względnej charakteryzują się niewielkimi wartościami prawdopodobieństwa wystąpienia dni z burzą. Ponadto pozytywne związki korelacyjne dotyczą tylko jednego spośród siedmiu rozpatrywanych zakresów.

LITERATURA

- KOLENDOWICZ L., 1998: Zjawiska burzowe w Polsce a warunki synoptyczne. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań
- STOPA M., 1964: Warunki meteorologiczne sprzyjające pojawianiu się burz w różnych masach powietrza. *Przeł. Geofiz.*, 9, 1.
- STRAUCH E., 1972: Metody i przyrządy pomiarowe w meteorologii i hydrologii. PWN, Warszawa.

Recenzent: prof. dr hab. Andrzej Kędziora

Zakład Klimatologii
Instytut Geografii Fizycznej
i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego
Uniwersytet im. A. Mickiewicza w Poznaniu

CHOSEN INDICES OF AIR HUMIDITY ON DAYS WITH THUNDERSTORM IN POZNAŃ

Summary

The paper presents the results of the examination of usefulness of chosen indices of average daily air humidity in climatic studies of the storm phenomenon. It was found that specific humidity and water vapor pressure express best the relationship between the increase of water vapor in the air and the increasing frequency of occurrence

of days with thunderstorm. Moreover, there is a strong relationship of the two processes at the extremely high values of both quantities. The probability of occurrence of days with thunderstorm at the average daily water vapor pressure higher than 23 hPa and average daily specific humidity higher than 14.0 g/kg is 100%.