

BURZE I GRADY W POLSCE

Zuzanna Bielec-Bąkowska

Thunderstorms and hails in Poland

Abstract: This paper is focuses on thunderstorms and hails in an attempt to address one of the most pressing issues in the debate on climate change, which is to understand sources of extreme meteorological and climatological phenomena. The study used records of observations at 24 weather stations covering the period 1949–2006 and thunderstorm details from eight stations in the period 1885–2008. The study identified no clear trend in the number of days with thunderstorms or with hails during the study period. For both phenomena there is a strong regional variation, both annually and in the long-term. This kind of spatial variation in the occurrence of thunderstorms and hails is characteristic of these phenomena in many areas of the world (Changnon 1988; Brázdil *et al.* 1998; Kuleshov *et al.* 2002). In Poland most of the stations that recorded a decrease in the number of days with thunderstorms after 1949 were found north of the line connecting Mt. Śnieżka in the southwest and the town of Suwałki in the northeast and the greatest decrease in this number was recorded in Słubice at 1.3 days per 10 years. A trend to an increase in the number of days with thunderstorms was observed south of the line. The greatest increase in the number of days with thunderstorms was recorded in Włodawa (1.7 days per 10 years), Lesko (1.6 days) and Katowice (1.1 days). Additionally, the study revealed that during the second part of XX century there was an increase in the number of days with thunderstorms in the cool half of the year at most of the stations involved. The pattern was particularly strong to the south of the Śnieżka-Suwałki line and in Szczecin. With the time scale expanded to the period 1885–2008, the changes are weaker, which clearly suggests that any patterns that emerge depend on the study period chosen. The spatial and temporal variabilities in the two phenomena are caused by the dominant types of atmospheric circulation and by regional differences in environmental conditions. Numerous authors have also suggested a link between changes in the occurrence of thunderstorms and hails and macroscale changes in the atmospheric circulation (Kamyshanova 1974; Changnon 1985). On the one hand, in some regions the influence of characteristic synoptic situations

may be stronger than the dominant large-scale atmospheric circulation (Bielec-Bąkowska 2002, 2003), while on the other, local conditions are potentially an important factor leading to the free convection conducive to thunderstorms and hails. This seems to be a very important consideration in analysing hails, especially when they accompany thermal thunderstorms. An example is provided by an increased occurrence of these phenomena in an area of Poland that was up to 80 metres higher in altitude than an area, from which the air arrived (Zinkiewicz, Michna 1955; Koźmiński 1965). The annual pattern of hails occurrence seems to be its most significant characteristic. A springtime maximum dominates at stations in the north and in the western half of the country, while a far more even distribution with a maximum shifted towards the summer season is found in the south of Poland. The long-term record of days with hails was very even at most of the stations and periods with significantly higher or lower number of days with hail occurred at most of the stations simultaneously are also difficult to find.

Key words: thunderstorms, hails, long-term variability, Poland

Zarys treści: W pracy przedstawiono zróżnicowanie przestrzenne i zmienność czasową pojawiania się burz i opadów gradu w Polsce. W badaniach wykorzystano serie obserwacyjne z 24 stacji meteorologicznych z lat 1949–2006 oraz, w przypadku informacji o burzach, z 8 stacji z okresu 1885–2008. Stwierdzono, że nie można jednoznacznie potwierdzić ani wzrostu, ani liczby dni burzowych, ani liczby dni z opadem gradu w ostatnich dziesięcioleciach. Na większości stacji położonych na północny zachód od linii łączącej Śnieżkę i Suwałki liczba dni burzowych zmniejszała się, natomiast na stacjach leżących na południowy wschód od tej linii przeważały tendencje dodatnie. Ważną cechą przedstawianych zmian jest ich regionalne zróżnicowanie związane z dominującymi w danym obszarze sytuacjami synoptycznymi oraz wpływem lokalnych warunków przyrodniczych. Jest ono szczególnie silnie widoczne w rocznym przebiegu częstości badanych zjawisk. Na północy kraju okres ich największej częstości jest znacznie dłuższy, a liczba dni z burzą wyraźnie mniejsza i bardziej równomiernie rozłożona w czasie niż na południu Polski. Roczne maksimum występowania burz przypada na lato, ale występowały także ciągi lat, w których przypadało ono na wiosnę lub wczesną jesień. Dni z gradem występują natomiast głównie w miesiącach wiosennych (kwiecień–czerwiec), stanowiąc wtedy od 25 do 60% ich częstości. Na stacjach położonych na północy i w zachodniej połowie kraju zaznacza się dominacja gradu występującego wiosną, na południu Polski natomiast jego przebieg jest bardziej wyrównany, a maksimum występowania częściej jest przesunięte w kierunku miesięcy letnich.

Słowa kluczowe: burze, grady, zmienność wieloletnia, Polska

Wprowadzenie

W Polsce do ekstremalnych zdarzeń meteorologicznych zalicza się m.in. występowanie burz i gradów. Należy jednak pamiętać, że nie zawsze wystąpienie tych zjawisk może być utożsamiane ze zdarzeniem ekstremalnym. Właściwa ocena natury rozpatrywanych zjawisk wynika z jednej strony z różnych definicji pojęcia zdarzeń ekstremalnych, z drugiej natomiast z charakteru zjawiska, jakim jest burza. Zwykle

nie jest ona jedynie serią wyładowań atmosferycznych, ale stanowi kompleks równocześnie występujących zjawisk i zmian wartości elementów meteorologicznych (m.in.: opad, nagłe zmiany kierunku i prędkości wiatru, spadek ciśnienia i temperatury). W Polsce zasięg przestrzenny i czas oddziaływania obu zjawisk na środowisko są zwykle niewielkie.

Niejednoznaczne jest również zaliczenie burzy do zjawisk ekstremalnych w przypadku zastosowania definicji uwzględniających częstość ich występowania. Według definicji zaproponowanej przez IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change* – Międzyrządowy Zespół ds. Zmian Klimatu) do zjawisk ekstremalnych należy zaliczyć takie, które *rzadko występują w danym miejscu i porze roku*. Mimo że termin „rzadko” może być różnie rozumiany, zdarzenie ekstremalne „powinno” występować z częstością mniejszą (większą) lub równą wartości 10 (90) percentyla wszystkich analizowanych przypadków. Jak wiadomo, w Polsce okres największej aktywności burzowej trwa zwykle od maja do sierpnia (około 80% wszystkich przypadków). W tym czasie, w zależności od regionu, liczba występujących burz waha się od około 15 do 29 dni (Bielec-Bąkowska 2002), co oznacza, że w sezonie tym dni burzowe stanowią około 12–24% wszystkich dni i można je uznać za zjawisko typowe dla tej części roku. Pojawienie się burzy w pozostałych miesiącach (szczególnie w zimie) czy też wystąpienie opadu gradu bez wątpliwości można natomiast uznać za zdarzenie wyjątkowe.

Często możemy się spotkać z nieco innymi sposobami określenia zdarzeń ekstremalnych. Kładą one nacisk nie tylko na częstość występowania samego zjawiska, ale również na regularność jego występowania, intensywność oraz wyjątkowo duże szkody materialne obserwowane zarówno w środowisku naturalnym, jak i w otoczeniu człowieka, czasem noszące nawet znamiona klęsk żywiołowych (Pruchnicki 1999; Easterling i in. 2000; Beniston, Stephenson 2004; Wisner i in. 2004). Według tak sformułowanych kryteriów pewna część burz czy opadów gradu występujących na obszarze Polski może być uznana za zjawiska ekstremalne. W wielu jednak przypadkach ani przebieg zjawiska, ani skutki jego wystąpienia nie świadczą o tak wyjątkowym charakterze wspomnianych zjawisk.

Pomimo przedstawionych wyżej wątpliwości co do zasadności uznawania każdej burzy lub opadu gradu za zjawisko ekstremalne, badania dotyczące czasowej i przestrzennej zmienności ich występowania należy uznać nie tylko za ciekawe, ale również za ważne z aplikacyjnego punktu widzenia. Wynika to z samej natury tych zjawisk, gdyż zmiana częstości tak rzadkich zjawisk może dobitnie świadczyć o istotnych zmianach klimatu danego regionu. Dodatkowo każde wystąpienie burzy lub opadu gradu należy traktować jako potencjalnie groźne (m.in.: stwarzają niebezpieczeństwo w transporcie lotniczym, problemy w łączności, szkody w rolnictwie lub uszkodzenia budynków), tym bardziej że precyzyjne prognozowanie miejsca ich wystąpienia, a szczególnie ich intensywności, ciągle jest bardzo trudne i jedy-

nie w przypadku prognoz ultrakrótkoterminowych charakteryzuje się znacznym stopniem sprawdzalności.

Charakter przebiegu obu opisywanych zjawisk, ich wpływ na kształtowanie klimatu poszczególnych regionów oraz skutki przyrodnicze, jakie wywołują, stały się powodem licznych badań dotyczących ich występowania. W badaniach tych szczególną uwagę zwraca się na wieloletnią zmienność występowania burz w różnych częściach świata oraz na związki występowania burz z cyrkulacją atmosfery (Kamyshanova 1974; Pelz 1977; Scheüpp 1980; Changnon 1985, 1988; Nosova 1989; Changnon, Changnon 2001). Nie mniej ważnym aspektem tych prac jest wieloletnia i roczna zmienność występowania opadów burzowych, ich wysokości oraz związków z sytuacjami synoptycznymi (Changnon 2001; Dai 2001ab) lub z rozwojem miast (Lewińska 1964; Huff, Changnon 1973; Dupuy 1995). W niektórych regionach (np. w Basenie Morza Śródziemnego) ze względu na dużą częstość i intensywność oraz znaczne szkody, jakie powodują w rolnictwie, niezwykle ważne stały się analizy dotyczące występowania opadów gradowych (Brázdil i in. 1998; Simeonov, Georgiev 2003; Chromá, Brázdil, Tolasz 2005). W ostatnich latach coraz więcej powstaje też prac poświęconych silnym porywom wiatru i trąbom powietrznym, które towarzyszą burzom (Bebłot i in. 2008; Dobrovolny, Brazdil 2003; Etkin i in. 2001; Šálek 1994, 2001). Zainteresowanie tymi zjawiskami jest związane z ich niszczyielską siłą i znacznymi szkodami, jakie powodują.

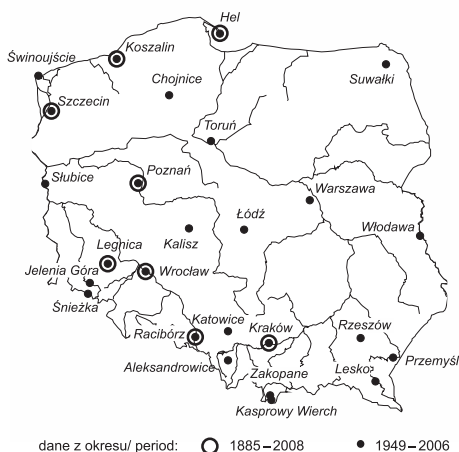
W Polsce znaczny wzrost zainteresowania burzami nastąpił w połowie, a następnie w latach 90. XX w. Opracowania powstałe w latach 50. i 60. dotyczyły głównie zmienności czasowej występowania burz oraz wyznaczania regionów burzowych (Wiszniewski 1949; Stopa 1962, 1965). W badaniach występowania burz szczególną uwagę zwracano na ich zmiany wieloletnie, wzrost ich częstości w półroczu chłodnym oraz ich związki z sytuacjami synoptycznymi (Kolendowicz 1996, 2005; Bielec 2001, Bielec-Bąkowska 2002, 2003; Grabowska 2002, 2005). Wyniki badań wskazują na duże zróżnicowanie regionalne wieloletniego przebiegu liczby dni burzowych (Bielec-Bąkowska, 2002, 2003), a wzrost liczby tych dni widoczny jest jedynie na części obszaru Polski (Grabowska 2005). Dużo słabiej poznane jest występowanie opadów burzowych. Większość prac im poświęcona dotyczyła występowania opadów gradu i obejmowała okres przed 1970 rokiem. Opisywano w nich przede wszystkim szlaki burz gradowych i obszary ich powstawania (Zinkiewicz, Michna 1955; Koźmiński, Rytel 1963; Koźmiński 1965). W ostatnich natomiast latach badania opadów gradów dotyczyły głównie ich zmienności wieloletniej i przebiegu dobowego, a także uwarunkowań cyrkulacyjnych sprzyjających ich występowaniu (Bielec-Bąkowska 2010; Twardosz i in. 2010 ab, 2011). Do nielicznych prac poświęconych innym rodzajom padów burzowych należą te opisujące ich występowanie w Krakowie (Bielec 1997; Twardosz 2005; Twardosz i in. 2011) oraz charakteryzujące opady burzowe w Polsce w latach 1951–2000 (Bielec-Bąkowska, Łupikasza 2009).

Niniejsze opracowanie zostało poświęcone przedstawieniu przestrzennej i czasowej zmienności występowania burz oraz opadów gradu na obszarze Polski. W pewnym sensie stanowi ono podsumowanie dotychczasowych badań z tego zakresu i jednocześnie ma na celu ponowne zainteresowanie badaniami dotyczącymi opadów burzowych ze szczególnym uwzględnieniem opadu gradu.

Materiały źródłowe

Często prezentowana jest opinia o znacznym wzroście liczby burz w ostatnich latach w Polsce. W celu jak najpełniejszej weryfikacji tej hipotezy postanowiono przeanalizować występowanie burz w możliwie długim okresie oraz na możliwie dużej liczbie stacji. W tym celu, uwzględniając sposób przeprowadzania obserwacji oraz homogeniczność serii danych, wybrano 8 stacji, w odniesieniu do których wybrano ponad stuletnie (1885–2008) ciągi obserwacyjne (Hel, Szczecin, Koszalin, Poznań, Legnica, Wrocław, Racibórz i Kraków) oraz 24 stacje meteorologiczne z danymi z lat 1949–2006 w miarę równomiernie rozmieszczone na obszarze Polski (ryc. 1). Niestety obie wojny światowe stały się przyczyną kilkuletnich przerw w ciągach danych. Jedyną stacją, na której odnotowano ciągłość jest Kraków. Braki w danych wystąpiły również po 1948 roku. Wynikały one z różnego czasu rozpoczęcia działalności stacji, przerw w ich pracy czy też ze zmiany zakresu prowadzonych tam obserwacji. Luki w obserwacjach najczęściej dotyczyły całego roku lub znacznej jego części. Z tego powodu rok, w którym one wystąpiły, nie był uwzględniany w analizie. Przypadki takie miały miejsce na czterech stacjach:

- 1) Słubice – brak danych w latach 1994–2002,
- 2) Włodawa – brak danych w latach 1949, 1953–1954, 1966,
- 3) Lesko – brak danych w latach 1949–1954, 1966–1967,
- 4) Przemyśl – brak danych od roku 1992.



Ryc. 1. Stacje uwzględnione w opracowaniu
Fig. 1. Stations included in the study

Stacje uwzględnione w opracowaniu to stacje synoptyczne wchodzące w skład sieci IMGW. Wyjątek stanowi Stacja Historyczna Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie, która ma jedną z najdłuższych i nieprzerwanych serii obserwacji meteorologicznych.

W drugiej części opracowania poddano analizie występowanie opadu gradu. Podobnie jak we wcześniejszej pracy z tego zakresu (Bielec-Bąkowska 2010), ze względu na dostęp do danych, badania przeprowadzono w odniesieniu do 23 stacji (nie uwzględniono stacji w Krakowie) z okresu 1966–2006. Niestety, tak jak w przypadku burz, nie wszystkie serie obserwacyjne były kompletne. Niewielkie luki w danych wystąpiły na stacjach:

- 1) Słubice – brak danych z okresu 1 stycznia 1994–31 grudnia 2002,
- 2) Kalisz – brak danych z okresu 13–17 października 1970, 25 marca 1971–21 kwietnia 1971,
- 3) Włodawa – brak danych z okresu 1 maja–31 października 1966,
- 4) Lesko – brak danych z okresu 1 maja 1966 –31 grudnia 1967, 24–31 października 1971,
- 5) Przemyśl – brak danych od 7 maja 1992 do końca 2006 r.

Metody opracowania

Obserwacja występowania zjawisk meteorologicznych obciążona jest pewnym błędem subiektywnej oceny obserwatora. Wynika to z różnych predyspozycji obserwatorów, lokalizacji stacji, hałasu dobiegającym z otoczenia, problemu z dokładnym określeniem kierunku nadejścia burzy, jej początku i końca czy natężenia (Bielec, Kolendowicz 2001). Ponieważ jednak niezauważenie wystąpienia burzy jest mało prawdopodobne, analizie poddano nie liczbę burz, a liczbę dni z burzą. Za dzień z burzą uznano dobę, w której przynajmniej raz wystąpiła burza. Dość została przyjęta jako okres od godziny 00:01 UTC do godziny 24:00 UTC. Jeżeli burza wystąpiła na przełomie dób, zaliczano ją do obu dni (przypadki takie występowały jednak sporadycznie). W badaniach uwzględniono wszystkie przypadki burz, które wystąpiły w ciągu doby, przyjmując jednak nie krótszą niż półgodzinną przerwę między burzami. Nie stosowano podziału na burze bliskie i odległe.

Do określenia burzy przyjęto definicję stosowaną na stacjach IMGW i obowiązującą od 1962 r. Podaje ona, że za burzę uznaje się grzmot słyszany po upływie mniej niż 10 sekund od czasu ujrzenia błyskawicy, a burzą odległą nazywa się zjawisko wystąpienia grzmotu po upływie więcej niż 10 sekund, któremu błyskawica może towarzyszyć. Początek burzy wyznacza moment usłyszenia pierwszego grzmotu, koniec natomiast – grzmot, po którym w ciągu 15 min. nie słychać następnego. Jedynie w przypadku danych przedwojennych określenie dnia z burzą zgodnie z tymi

kryteriami nie zawsze było możliwe. W takich przypadkach (przed 1949 r.) dzień taki mógł być wyznaczony według obowiązujących w tamtym okresie instrukcji.

W przypadku analizy występowania opadu gradu przyjęto podobne założenia, jak podczas wcześniejszych badań związku występowania gradów z sytuacjami synoptycznymi (Bielec-Bąkowska 2010). W opracowaniu pod uwagę brano jedynie opady, które wystąpiły od kwietnia do września. Decyzja ta związana była z tym, że na większości terytorium Europy opady gradu występują głównie w ciepłej porze roku (Fraile i in. 2003; Simeonov, Georgiev 2003; Chromá i in. 2005) i z wielkością szkód, jakie powodują, oraz jakością dostępnych danych. Okazało się bowiem, że do każdego dnia przypisany został czas trwania opadu gradu w dziesiątych częściach godziny. W miesiącach chłodnej pory roku czas ten jednak często przekraczał 1 godzinę, a 29 stycznia 1988 roku wynosił nawet ponad 11 godzin. Jednocześnie wiadomo, że wystąpienie gradu w sezonie chłodnym jest bardzo mało prawdopodobne (Zinkiewicz, Michna 1955), czego przykładem może być występowanie gradu w Krakowie w latach 1886–2002 (Bielec 1996; Twardosz 2005). W okresie tym ani razu gradu nie notowano w zimie, a jego największą częstość stwierdzono wiosną oraz latem. Zasadniczo od kwietnia do września zwykle notowano 95% wszystkich przypadków opadu gradu, a większość tych opadów była związana z wystąpieniem burzy (Bielec 1996). Prawdopodobnie takie błędne odnotowanie wystąpienia gradu spowodowane było zaliczeniem każdego opadu lodowego do opadów gradu.

Kolejnym krokiem było sprawdzenie jednorodności otrzymanych danych, które następnie uznano za homogeniczne. W tym celu roczną liczbę dni z burzą i opadem gradu przetestowano za pomocą testu *Standard Normalised Homogeneity Test* (Alexandersson 1986) wykorzystując program *The Anklim* (Štěpánek 2006). W większości przypadków badane serie uznano za homogeniczne. W sytuacjach, w których istniało prawdopodobieństwo zerwania jednorodności, dane zostały zweryfikowane przez porównanie z otaczającymi stacjami i sprawdzenie historii stacji. Najwięcej wątpliwości pojawiło się w przypadku analizy danych dotyczących opadów gradu. Jak już wcześniej wspomniano, wydaje się, że serie te uwzględniają również inne rodzaje opadów lodowych. Jest to szczególnie dobrze widoczne w chłodnych miesiącach roku oraz na obu stacjach górskich: Śnieżce i Kasprowym Wierchu. Na obu stacjach występuje też bardzo wyraźna tendencja spadku liczby dni z gradem. Na Śnieżce na początku rozpatrywanego wielolecia występowało średnio około 15 takich dni, od początku lat 90. XX w. liczba ta była natomiast mniejsza od 5. Na Kasprowym Wierchu tendencja ta była nieco słabsza, ale również wyraźnie widoczna (spadek liczby dni z gradem z około 20 dni na początku na około 10 dni pod koniec rozpatrywanego okresu; spadek istotny statystycznie na poziomie $p < 0,01$). Nasuwa to podejrzenie o niejednorodność danych na obu stacjach. Ze względu na niewielką liczbę opracowań klimatologicznych poświęconych gradom zdecydowano się włączyć wspomniane stacje do analizy. Otrzymane wyniki należy jednak traktować z należytą ostrożnością.

Dane wykorzystane w badaniach charakteryzują się rozkładem różnym od rozkładu normalnego. W przypadku liczby dni z burzą asymetria rozkładu jest jednak niewielka. Jej wartość dla długich ciągów danych (1885–2008) jest mniejsza niż 0,4 i jedynie w Raciborzu liczba dni burzowych odznacza się umiarkowaną skośnością (–0,6). Na większości stacji skośność krótszych serii liczby dni z burzą (1949–2006) również jest słaba (< 0,4). Tylko dla Kasprowego Wierchu, Śnieżki, Przemysła i Torunia asymetria badanych danych waha się od 0,6–0,8, a w przypadku serii z Suwałk wyniosła 1,0. Większa skośność rozkładu występuje w przypadku liczby dni z opadem gradu i dla jedenastu serii obserwacyjnych przekracza wartość 1,0. Powodem takiego rozkładu jest bardzo mała roczna liczba rozpatrywanych dni (zwykle średnia roczna wahała się od 0,5 do 1,4 dnia) oraz pojedyncze przypadki, w których na danej stacji wystąpiło wyraźnie więcej dni z gradem w ciągu roku. Dotyczy to szczególnie stacji położonych na wybrzeżu Bałtyku.

W trakcie analizy wieloletniej zmienności liczby dni z burzą obliczono współczynniki korelacji pomiędzy poszczególnymi stacjami, a braki danych usuwano przypadkami. Określono również kierunek oraz wielkość tendencji zmian liczby rozpatrywanych dni w całym wieloleciu oraz ich zmiany w krótszych okresach.

Liczba dni z burzą w latach 1949–2006

Zróznicowanie przestrzenne

Wcześniejsze badania występowania dni burzowych w latach 1949–1998 (przeprowadzone na podstawie danych z 56 stacji synoptycznych) wykazały, że średnia roczna liczba dni z burzą w Polsce waha się od 15 dni na wybrzeżu do 33 dni w Tatrach i w południowo-wschodnich regionach kraju (Bielec-Bąkowska 2002) (ryc. 2). Wzrost liczby dni z burzą z północnego zachodu na południowy wschód jest również widoczny w przypadku najmniejszej (odpowiednio: 10–14 i 26–32 dni) i największej (odpowiednio: ponad 20 i 44–54 dni) liczby rozpatrywanych dni. Warto jednak zaznaczyć, że chociaż liczba dni burzowych jest najmniejsza na północy kraju, ich zmienność wieloletnia jest większa niż na południu Polski (Bielec-Bąkowska 2002).

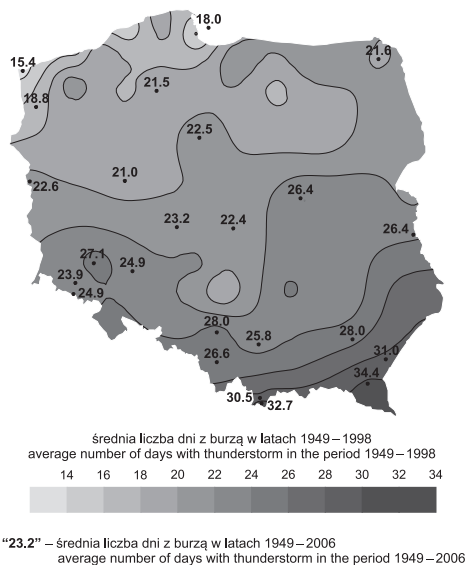
Porównując z opisanym rozkładem występowanie dni burzowych, na 24 uwzględnionych w opracowaniu stacjach w okresie 1949–2006 nie zauważono znaczących różnic. Tylko na 6 stacjach przekroczyły one 0,5 dnia, a największa z nich wynosząca 1,1 dnia została stwierdzona w przypadku Leska (różnice nieistotne statystycznie na poziomie $p < 0,05$). Średnia liczba dni burzowych wahała się od 15,4 dnia w Świnoujściu do 34,4 dnia w Lesku. Najmniejsze roczne wartości tego wskaźnika mieściły się w przedziale od 7 dni w Świnoujściu do 23 dni w Lesku, największe natomiast od 26 dni w Świnoujściu do 54 dni na Kasprowym Wierchu (tab. 1).

Przeprowadzone badania pozwoliły również stwierdzić, że nie można jednoznacznie wskazać okresu, w którym najczęściej występowały lata z najwyższą lub najniższą liczbą dni burzowych. Najniższa roczna liczba dni z burzą częściej była notowana w pierwszej połowie badanego wielolecia (do roku 1980) – 19 razy. Po roku 1990, od którego szacuje się znaczny wzrost zdarzeń ekstremalnych w Polsce, wystąpiło tylko 7 takich przypadków, w tym 3 po roku 2000. Również jednak najwyższa roczna liczba dni z burzą częściej była notowana przed rokiem 1980 – 22 razy, a po roku 1990 – 7 razy, w tym 4 razy po roku 2000 (tab. 1). Widoczne jest ponadto duże regionalne zróżnicowanie występowania lat charakteryzujących się szczególnie dużą lub małą liczbą dni burzowych i nawet na blisko siebie położonych stacjach lata te często występowały w innym okresie.

Przebieg roczny

Najbardziej charakterystyczną cechą występowania burz w Polsce, która stanowi najważniejszy element decydujący o podziale kraju na regiony burzowe, jest roczny przebieg liczby dni burzowych (Kolendowicz 1996; Bielec-Bąkowska 2002). W Polsce około 97% wszystkich burz występuje od kwietnia do września. Średnia miesięczna liczba dni z burzą w tym okresie przekracza 1, osiągając najwyższą wartość na ogół w lipcu (średnio 5,6 badanych dni) lub w czerwcu (średnio 5,4). Najrzadziej, bo zaledwie kilka razy w ciągu wielolecia, dni burzowe występują w zimie (średnio 0,0 w grudniu do 0,1 w styczniu i lutym).

Porównując roczne zmiany częstości występowania dni burzowych na poszczególnych stacjach, zauważono, że pod tym względem najbardziej wyróżniają się stacje położone w północno-zachodniej i północnej części kraju. Obszar ten charakteryzuje się najniższą w Polsce liczbą dni burzowych w miesiącach półrocza ciepłego



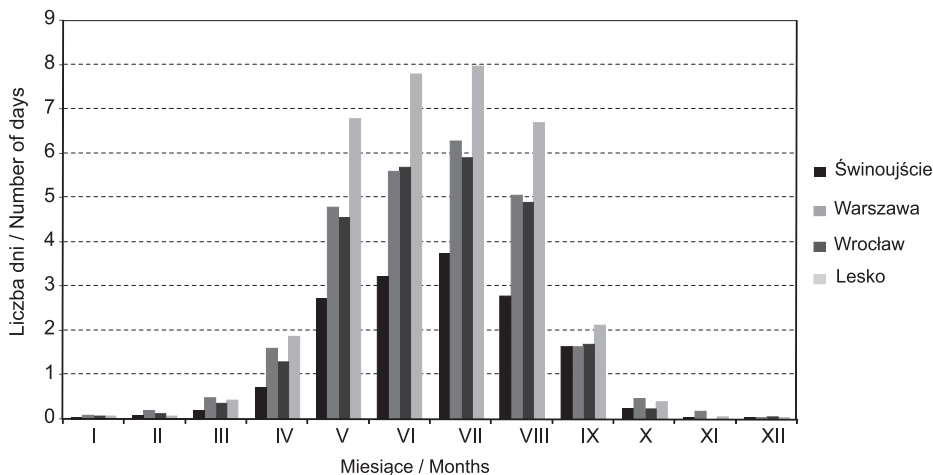
Ryc. 2. Średnia liczba dni z burzą w Polsce w latach 1949–1998 (Bielec-Bąkowska 2002) oraz na wybranych stacjach w latach 1949–2006
Fig. 2. The average number of days with a thunderstorm in Poland during 1949–1998 (Bielec-Bąkowska 2002) and at selected stations during 1949–2006

Tabela 1. Roczna liczba dni z burzą w Polsce w latach 1949–2006
 Table 1. The annual number of days with a thunderstorm in Poland during 1949–2006

Stacja/Station	Najmniejsza/The lowest		Średnia/ Average	Percentyl/ Percentile 90%	Największa/The highest		Współczynnik zmienności (%) / Variation coefficient (%)	Amplituda Amplitude
	Wartość/ Value	Rok/ Year			Wartość/ Value	Rok/ Year		
Hel	8	1976	18,0	24,3	33	2006	28,1	25
Suwałki	10	1972	21,6	27,0	42	1994	26,5	32
Świnoujście	7	1989, 1994	15,4	22,0	26	1964	30,5	19
Szczecin	9	1954, 1989	18,8	25,0	28	1967, 1968	24,1	19
Chojnice	9	1992	21,5	31,3	37	1963	29,3	28
Toruń	13	1982	22,5	29,0	36	1961	22,3	23
Ślubice	11	1989	22,6	28,0	36	1967	23,5	25
Poznań	12	1952	21,0	28,3	31	1949, 1987, 1999	23,3	19
Warszawa	12	1987	26,4	32,6	38	1963, 1968	19,7	26
Legnica	15	1976	27,1	34,3	41	1958	20,6	26
Wrocław	15	1956	24,9	29,3	42	1968	18,2	27
Kalisz	14	1976, 2003	23,2	30,3	34	1961	22,2	20
Łódź	14	1970, 1976	22,4	27,3	33	1961	17,1	19
Włodawa	11	1949	26,4	34,6	42	1975	25,6	31
Jelenia Góra	14	1954	23,9	30,0	34	1958	18,1	20

Stacja/Station	Najmniejsza/The lowest		Średnia/ Average	Percentyl/ Percentile 10%	Percentyl/ Percentile 90%	Największa/The highest		Współczynnik zmienności (%) / Variation coefficient (%)	Amplituda Amplitude
	Wartość/ Value	Rok/ Year				Wartość/ Value	Rok/ Year		
Śnieżka	16	1991	24,9	19,0	32,0	39	1963, 1975	20,8	23
Katowice	18	1962, 1970, 1977, 1992	28,0	20,7	35,0	41	2002	19,0	23
Kraków	16	1965	25,8	20,0	32,3	37	1968, 1975	20,9	21
Rzeszów	18	1971	28,0	21,7	34,0	41	1993	17,3	23
Aleksandrowice	16	1973	26,6	19,0	33,6	45	2002	23,1	29
Zakopane	18	2005	30,5	23,7	39,6	47	1975	20,8	29
Kasprowy Wierch	19	2005	32,7	24,0	41,3	54	1963	21,8	35
Lesko	23	1969	34,4	27,9	42,1	48	2002	17,5	25
Przemyski	21	1955	31,0	26,0	37,8	43	1975	15,2	22

(IV–IX) i największą liczbą dni występujących w sezonie chłodnym (X–III). Miesięczne maksimum liczby dni z burzą przypadło tu na lipiec i wahało się od 3,7 dnia w Świnoujściu do 4,7 na Helu (ryc. 3, tab. 2). Przesuwając się na południe i wschód od tego regionu, średnia miesięczna liczba dni z burzą w miesiącach letnich



Ryc. 3. Roczny przebieg liczby dni z burzą na wybranych stacjach w latach 1949–2006
Fig. 3. The annual occurrence of days with a thunderstorm at selected stations during 1949–2006

Tabela 2. Częstość [liczba przypadków] występowania największej liczby dni z burzą w poszczególnych miesiącach na wybranych stacjach w Polsce w 1949–2006
Table 2. The frequency [in days] of occurrence of the largest number of days with a thunderstorm at selected stations in Poland during 1949–2006

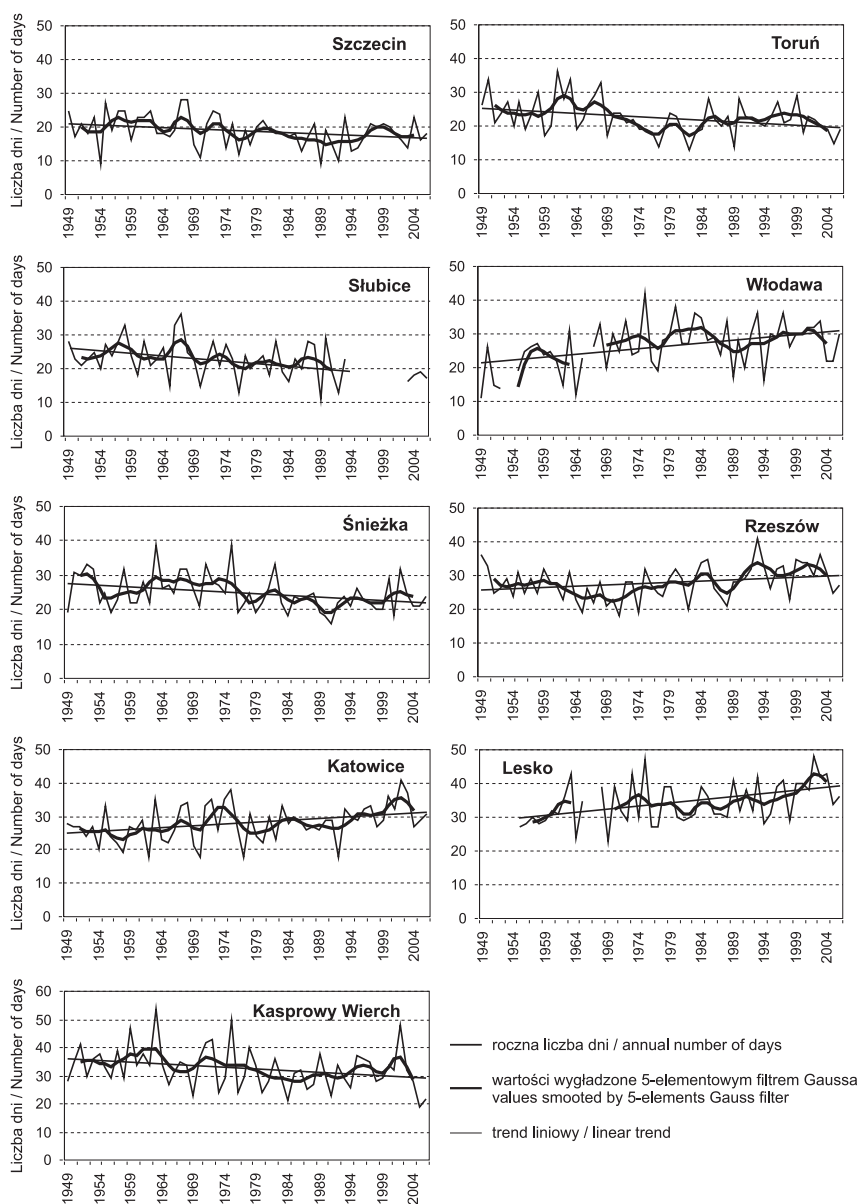
Stacja/ Station	Miesiące / Months											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Hel	–	–	–	1	7	14	32	13	1	–	–	–
Suwałki	–	–	–	2	10	21	24	8	–	–	–	–
Świnoujście	–	–	–	–	15	16	24	15	8	–	–	–
Poznań	–	–	–	1	10	20	26	17	–	–	–	–
Warszawa	–	–	–	–	11	18	25	13	–	–	–	–
Jelenia Góra	–	–	–	–	8	27	19	12	–	–	–	–
Kraków	–	–	–	–	10	23	23	15	–	–	–	–
Rzeszów	–	–	–	–	9	21	27	11	–	–	–	–

się zwiększa. Na południowym wschodzie kraju przekracza ona 7 dni w czerwcu lub lipcu. Występowanie rocznego maksimum liczby dni burzowych zmienia się w zależności od stacji oraz warunków pogodowych panujących w danym roku. W badanym wieloleciu przypadało ono na miesiące od kwietnia do września, chociaż tak duże zróżnicowanie widoczne jest przede wszystkim na stacjach w Polsce Północnej (tab. 2). Bardzo często zdarzają się lata, w których przez kilka miesięcy w roku występuje taka sama liczba dni burzowych. Może być ona niewielka, ale może sięgać nawet 7–9 dni w kilku kolejnych miesiącach. Największa miesięczna liczba dni burzowych – 19 – wystąpiła w Lesku w lipcu 1973 r. Czasami występują również kilkuletnie ciągi, w których największa liczba dni burzowych przypada na wiosnę lub sierpień i wrzesień, a w miesiącach letnich notuje się ich niewiele lub nie występują wcale.

Zmienność wieloletnia

Znaczne zróżnicowanie przestrzenne występowania liczby dni z burzą widoczne jest także podczas porównywania ich zmienności wieloletniej między poszczególnymi stacjami. Trudno jest wskazać lata, w których nawet na blisko położonych stacjach zmiany liczby dni burzowych były bardzo podobne (ryc. 4). Zwykle, rozpatrując niewielki region, można zauważyć, że występowały kilkuletnie okresy wzrostu lub spadku liczby dni z burzą. Porównując jednak poszczególne lata wydzielonych okresów można zauważyć duże różnice pomiędzy stacjami. Potwierdzają to obliczone współczynniki korelacji zmian liczby dni burzowych. Zdecydowana większość z nich jest dodatnia, a w 46% przypadków są one istotne statystycznie. Jedynie jednak w 17% przypadków wartości wskaźnika są równe lub większe od 0,5. Największe podobieństwa wieloletnich zmian liczby dni burzowych stwierdzono między liczbą dni burzowych w Jeleniej Górze i na Śnieżce ($r = 0,77$), w Krakowie i Aleksandrowicach ($r = 0,72$) oraz w Zakopanem i na Kasprowym Wierchu ($r = 0,71$).

Kolejnym etapem badań było sprawdzenie, czy występują tendencje zmian liczby dni burzowych w badanym wieloleciu. W przypadku 11 stacji stwierdzono zmniejszenie liczby dni burzowych, w tym tylko na 5 jest on istotny statystycznie na poziomie 0,05 i 0,01 (Szczecin, Toruń, Słubice, Śnieżka, Kasprowy Wierch). Wzrost liczby dni z burzą wystąpił natomiast na 13 stacjach, przy czym na 4 (Katowice, Rzeszów, Lesko, Włodawa) jest on istotny statystycznie ($p < 0,05$ i 0,01) (ryc. 4 i 5). Otrzymane wyniki wskazują, że wzrost lub zmniejszenie się liczby dni burzowych zależy od regionu kraju. Większość stacji, na których występuje ujemna tendencja zmian liczby dni burzowych, jest położona na północny zachód od linii łączącej Śnieżkę i Suwałki. Wyjątkiem są stacje w Świnoujściu i Chojnicach, na których odnotowano niewielki wzrost liczby dni z burzą. Na pozostałych stacjach, leżących na południowy wschód od wyznaczonej linii, tendencje zmian liczby dni z burzą są



Ryc. 4. Wieloletnia zmienność liczby dni z burzą w Polsce w latach 1949–2006 na wybranych stacjach

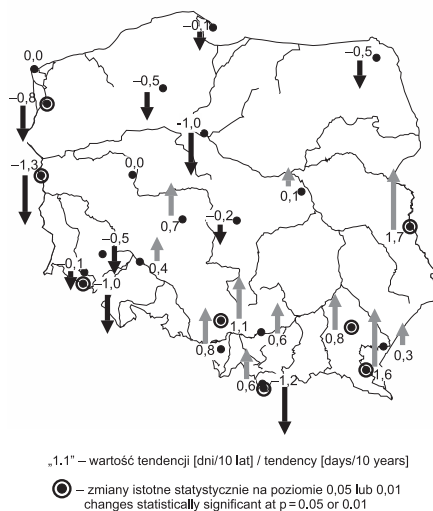
Fig. 4. The long-term variability of days with a thunderstorm in Poland during 1949–2006 at selected stations

dotadnie. Wyjątek stanowią Kasprowy Wierch i Łódź.

W badanym wieloleciu największy spadek liczby analizowanych dni wystąpił w Słubicach i wynosił 1,3 dnia na 10 lat. Znaczącą tendencją ujemną odznaczają się także stacje na Kasprowym Wierchu (−1,2 dnia/10 lat), na Śnieżce (−1,0 dnia/10 lat) i w Toruniu (−1,0 dnia/10 lat). Największy wzrost liczby rozpatrywanych dni stwierdzono we Włodawie (1,7 dnia/10 lat) oraz w Lesku (1,6 dnia/10 lat) i Katowicach (1,1 dnia/10 lat). W pozostałych przypadkach zmiany te były mniejsze od 1 dnia, a często nie przekraczały 0,5 dnia na dekadę.

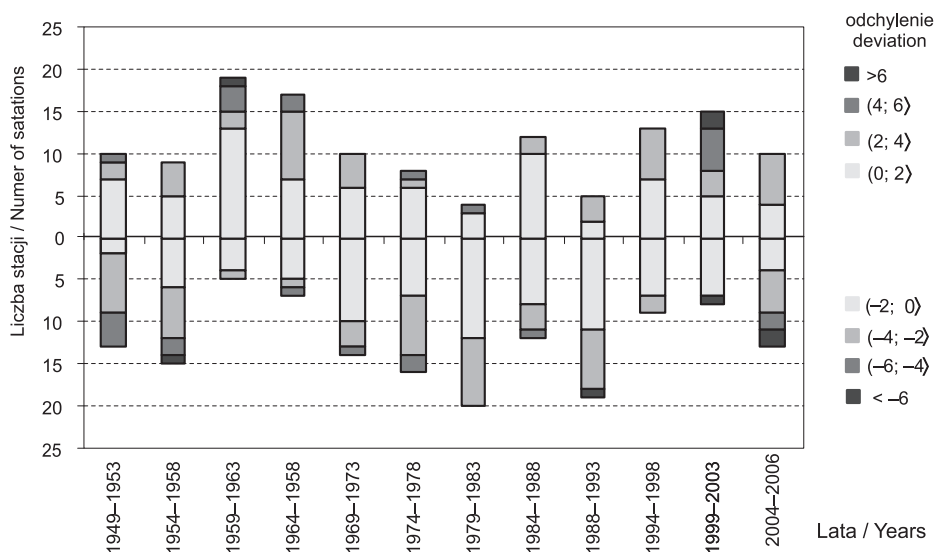
Postanowiono również sprawdzić, czy po 1990 r. roczna liczba dni burzowych znacznie różniła się od notowanej w latach wcześniejszych. W tym celu zbadano liczbę stacji, na których w kolejnych pięcioletniach liczba dni burzowych była mniejsza lub większa od średniej wieloletniej. Na tle całego wielolecia wyróżniają się lata 60. oraz lata 1969–1993 (ryc. 6). W pierwszym przypadku na większości stacji wystąpiło więcej dni z burzą i zwykle odchylenia te wahały się od 0 do 4 dni. Mniej dni burzowych było głównie w południowo-wschodniej i wschodniej Polsce. W latach 1969–1993 natomiast na większości stacji dni burzowych było mniej niż średnio w wieloleciu. Wyjątkowe było pięcioletnie 1979–1983, w którym tylko na 4 stacjach (Suwałki, Szczecin, Włodawa i Zakopane) liczba dni z burzą była nieco większa od średniej. W pozostałym okresie (na początku badanego wielolecia oraz po roku 1993) zarówno znak, jak i wielkość rozpatrywanych różnic była bardziej zróżnicowana i trudno wskazać obszary charakteryzujące się podobnymi zmianami. W pierwszej dekadzie badanego okresu nieco więcej było stacji, na których notowano mniej dni burzowych. Było to 14 stacji w pierwszej i 15 stacji w drugiej pentadzie. W ostatnich zaś 13 latach większą liczbę dni burzowych notowano na 38 stacjach, mniejszą natomiast na 34.

Warto również zwrócić uwagę na wielkość różnic średniej liczby dni burzowych z opisywanych wyżej pięcioletni od średniej z wielolecia. W przeważającej części badanego okresu (1949–2006) na stacjach dominowały różnice od 0 do 2 oraz od



Ryc. 5. Tendencje zmian rocznej liczby dni z burzą w Polsce w latach 1949–2006

Fig. 5. Trends in the number of days with thunderstorms in Poland over the period 1949–2006



Ryc. 6. Różnice średniej liczby dni z burzą w kolejnych pięcioleciach (z wyjątkiem ostatniego okresu 3-letniego) od średniej z okresu 1949–2006 na poszczególnych stacjach

Fig. 6. Differences between the average number of days with a thunderstorm in five-year intervals (finishing with a three-year interval) and the average for the period 1949–2006 at each station

2 do 4 dni (ryc. 6). Różnice większe od 4, a nawet 6 dni burzowych najczęściej występowały na początku, a w szczególności na końcu analizowanego wielolecia. W latach 1999–2003 aż na 7 stacjach były one większe niż 4 dni. W Katowicach i w Lesku średnie z tego okresu były odpowiednio o 7,0 i 7,2 dnia większe niż średnie wieloletnie. Przedstawione wyniki oznaczają, że roczna liczba dni burzowych zwykle w niewielkim stopniu różni się od średniej obliczonej z całego wielolecia (wszystkie podane wartości są nieistotne statystycznie na poziomie $p < 0,05$), a nieco większa liczba dni burzowych występująca na niektórych stacjach po roku 2000 nie może być podstawą do jednoznacznych opinii o wzroście częstości występowania burz w Polsce.

Ponieważ w obszarach pozazwrotnikowych bardzo często zmiany klimatu są szybciej zauważalne w sezonie chłodnym, sprawdzono, jak liczba dni burzowych zmieniała się w chłodnej połowie roku analizowanego wielolecia. Rozpatrywano okres od października do marca. W miesiącach tych burze występują sporadycznie, a średnia liczba dni z burzą waha się od mniej niż 0,05 dnia w grudniu (ok. 3 dni z burzą w Polsce) do 0,3 dnia w marcu i październiku (ok. 17 dni). W całym wielo-

leciu tylko raz, na Helu w październiku 1980 r., zanotowano aż 4 dni burzowe. Tak niewielka liczba dni burzowych w chłodnych miesiącach roku jest wynikiem zbyt małej chwiejności atmosfery. Jedynie w pobliżu wybrzeży może ona zostać na tyle zwiększona, aby możliwe było wystąpienie burzy. Opisana sytuacja występuje przede wszystkim jesienią i wiosną, pojawianie się burzy w zimie jest natomiast związane z bardzo aktywnymi niżami przemieszczającymi się z nad Atlantyku.

Otrzymane wyniki wskazują, że rzeczywiście, na większości rozpatrywanych stacji liczba dni z burzą występująca od października do marca wzrastała (ryc. 7). Wzrost ten był najbardziej wyraźny na stacjach położonych na południowy wschód od opisywanej wcześniej linii łączącej Suwałki i Śnieżkę oraz w Szczecinie. Zwiększona częstość występowania opisywanego zjawiska jest dobrze widoczna, gdy porównujemy liczbę dni burzowych w kolejnych dekadach analizowanego wielolecia (tab. 3). Po roku 1980 liczba dni z burzą bywała trzy- (Warszawa, Rzeszów), cztero- (Aleksandrowice), a nawet pięciokrotnie (Kraków) większa niż w latach 50.

Liczba dni z burzą w latach 1885–2008

Przedstawione wcześniej prawidłowości w większości znajdują swoje potwierdzenie w pracach innych autorów obejmujących różne okresy obserwacji (Stopa 1965, Kolendowicz 1996, 2005, Grabowska 2001, 2005). Największe rozbieżności pojawiają się w wieloletnich zmianach rocznej lub sezonowej liczbie dni burzowych. Należy jednak pamiętać, że zarówno kierunek, jak i wielkość trendu zależą od wielolecia, jakie zostało poddane analizie. Z tego powodu zdecydowano się na porównanie zmian liczby dni burzowych, jakie zachodziły w drugiej połowie XX w. ze zmianami z lat 1885–2008. Tak długie serie danych są dostępne z niewielu stacji w Polsce, wydaje się jednak, że przedstawione poniżej przykłady dobrze oddają charakter zmian analizowanego zjawiska w dłuższym okresie.

Otrzymane wyniki wskazują, że średnia liczba dni burzowych z długich ciągów obserwacji jest zbliżona do średniej z lat 1949–2006 (tab. 1 i 4). Zarówno wartości średnie, jak i wartości 10 i 90 percentyla na stacjach położonych na północy kraju (Hel, Szczecin) są nieco wyższe, a na pozostałych niższe niż obliczone z lat 1949–2006. Zmniejszenie liczby dni burzowych na północy kraju i wzrost na innych stacjach potwierdza również wieloletnia zmienność ich występowania (ryc. 8), częstość występowania lat z najmniejszą (częściej przed 1950 rokiem) i największą (częściej po roku 1950) liczbą rozpatrywanych dni (tab. 4), jak i średnia roczna liczba dni z burzą w trzech trzydziestoleciach analizowanego okresu (tab. 5; ze względu na braki danych nie rozpatrywano okresu 1915–1948). Warto jednak zwrócić uwagę na zmiany liczby dni burzowych w Legnicy, gdzie mimo stwierdzonego wzrostu liczby rozpatrywanych dni w latach 1885–2008, po roku 1949 nastąpiło wyraźne

Tabela 3. Liczba dni z burzą od października do marca w kolejnych dekadach lat 1949–2006
 Table 3. The number of days with a thunderstorm between October and March in ten-year intervals over the period 1949–2006

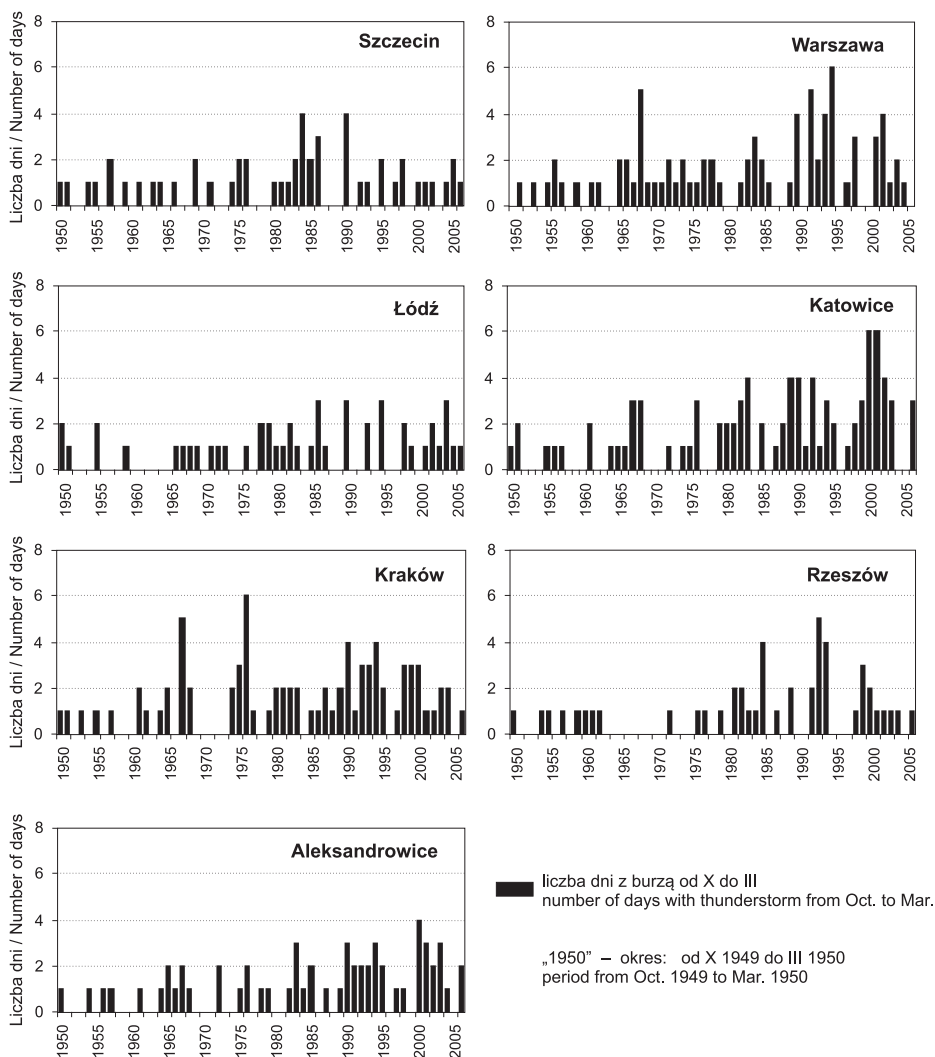
Dziesięciolecie/ Decade	Hel	Suwąki	Swinoujście	Szczecin	Chojnice	Toruń	Stubice	Poznań	Warszawa	Legnica	Wrocław	Kalisz	Łódź	Włodawa	Jelenia Góra	Śnieżka	Katowice	Kraków	Rzeszów	Aleksandrowice	Zakopane	Kasprowy Wierch	Lesko	Przemysł
1949/1950–1958/1959	2	2	4	7	4	3	6	4	7	6	6	5	6	0	2	4	6	5	5	4	6	5	1	4
1959/1960–1968/1969	7	2	2	6	4	1	10	10	13	6	6	2	4	1	5	5	11	13	3	8	8	8	6	5
1969/1970–1978/1979	4	2	6	6	6	2	7	4	14	11	8	14	8	3	4	7	8	13	4	7	11	8	9	8
1979/1980–1988/1989	12	4	7	14	9	13	8	14	10	8	10	11	10	7	9	8	20	15	13	9	9	7	14	9
1989/1990–1998/1999	6	4	6	11	5	5	3	9	25	11	9	9	11	11	13	13	21	24	15	16	8	9	15	4
1999/2000–2005/2006*	1	6	6	7	6	2	1	1	11	1	6	3	9	4	1	3	22	10	7	15	8	8	10	–

Objaśnienia/Explanations:

□ stacje, na których odnotowano najbardziej wyraźny wzrost liczby dni z burzą w drugiej połowie rozpatrywanego okresu/stations with the most distinct increase in the number of days with a thunderstorm during the second part of the analysed period,

* okres siedmioletni/seven-year period,

– brak danych/missing data.

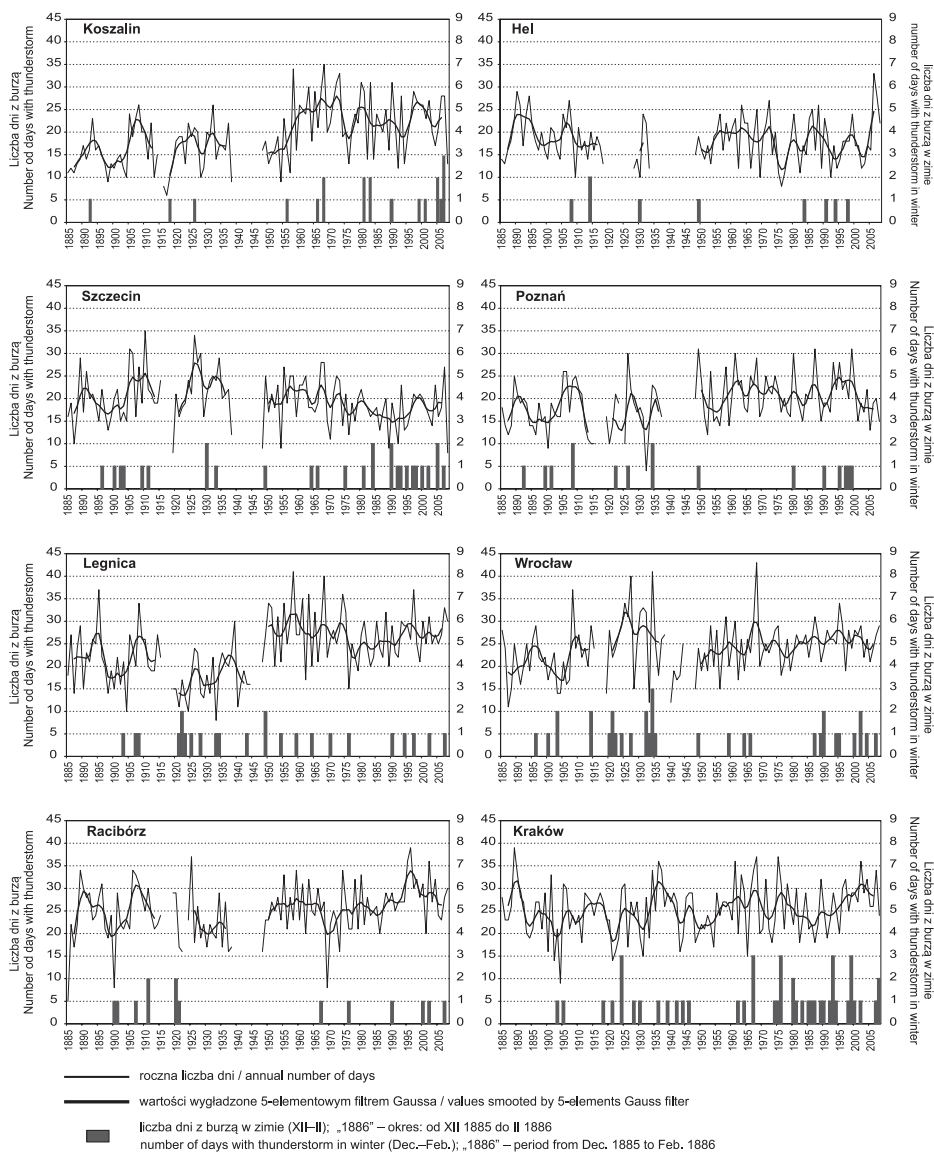


Ryc. 7. Liczba dni z burzą w okresie od października do marca w latach 1949–2006 na wybranych stacjach

Fig. 7. The number of days with a thunderstorm between October and March in the period 1949–2006 at selected stations

Tabela 4. Roczna liczba dni z burzą w Polsce w latach 1885–2008
 Table 4. The annual number of days with a thunderstorm in Poland during 1885–2008

Stacja/Station	Najmniejsza/The lowest		Percentyl/ Percentile 10%	Średnia/ Average	Percentyl/ Percentile 90%	Największa/The highest		Współczynnik zmienności/ Variation coefficient [%]	Amplituda/ Amplitude
	Wartość/ Value	Rok/ Year				Wartość/ Value	Rok/ Year		
Koszalin	6	1917	11,3	19,2	28,7	35	1968	33,8	29
Hel	8	1976	12,0	18,2	24,9	33	2006	27,5	25
Szczecin	8	1919, 2008	13,0	19,6	27,0	35	1910	27,8	27
Poznań	4	1932	13,9	19,2	26,0	31	1949, 1987, 1999	27,6	27
Legnica	8	1933	15,0	23,6	32,3	41	1958	28,8	33
Wrocław	11	1887	16,6	24,0	30,4	43	1968	24,5	32
Racibórz	5	1885	17,0	25,0	32,0	39	1996	23,8	34
Kraków	9	1904	18,0	25,3	32,7	39	1889	22,6	30



Ryc. 8. Wieloletnia zmienność liczby dni z burzą w Polsce w latach 1885–2008

Fig. 8. The long-term variability in the number of days with a thunderstorm in Poland during 1885–2008

Tabela 5. Średnia roczna liczba dni z burzą w trzydziestoleciach 1885–1914, 1949–1978 i 1979–2008

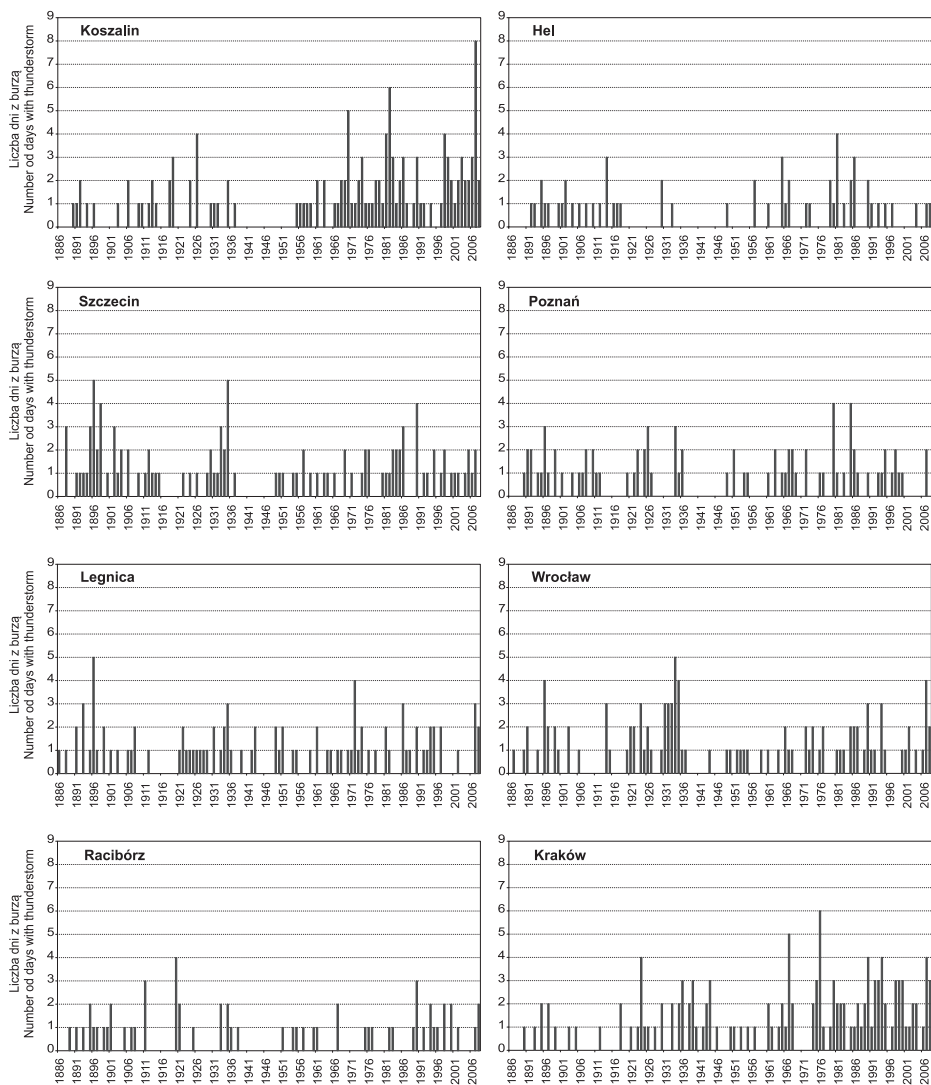
Table 5. The average annual number of days with a thunderstorm over the thirty-year intervals 1885–1914, 1949–1978 and 1979–2008

Trzydziestolecie/ Thirty-year intervals	Stacje/Stations							
	Koszalin	Hel	Szczecin	Poznań	Legnica	Wrocław	Racibórz	Kraków
1885–1914	15,7	19,1	20,2	17,5	22,0	21,6	24,3	24,6
1949–1978	21,9	17,9	20,0	20,9	28,0	24,3	25,1	25,7
1979–2008	22,7	18,4	17,4	20,7	26,5	25,6	27,7	26,1

zmniejszenie ich liczby. Należy podkreślić również, że wieloletnie zmiany liczby dni burzowych najslabiej zaznaczały się na stacji w Helu i Krakowie.

Liczba dni burzowych zmienia się znacznie z roku na rok, chociaż wydaje się, że nieco większe zmiany zachodziły do roku 1950 (Bielec-Bąkowska 2003). W większości przypadków okresy zwiększonej (zmniejszonej) liczby analizowanych dni występują na wszystkich stacjach w podobnych latach, co potwierdzają istotne statystycznie współczynniki korelacji (dochodzące do 0,55; $p < 0,05$). Charakter zmian i bezwzględna liczba dni z burzą są jednak różne na każdej ze stacji i zależą od warunków pogodowych panujących w regionie, w jakim jest ona zlokalizowana.

Analizie poddano również liczbę dni z burzą, które wystąpiły w sezonie chłodnym (X–III). Ich liczba w badanym wieloleciu (1885–2008) wahała się od 0,6 w Helu i Raciborzu do 1,1 dnia z burzą w Koszalinie i Krakowie. Poza ostatnimi dwiema stacjami, na których stwierdzono wyraźny wzrost liczby rozpatrywanych dni, na pozostałych stacjach trudno zauważyć istotne zmiany występowania dni z burzą czy nawet wskazać szczególnie wyraźne okresy wyższej lub niższej ich liczby (ryc. 9 i tab. 6). Potwierdzenia nie znajduje także opinia o wzroście liczby dni z burzą w zimie. Na poszczególnych stacjach średnia liczba dni z burzą w zimie wahała się od 0,1 dnia w Helu, Poznaniu oraz Raciborzu do 0,4 w Krakowie i jedynie w Szczecinie i Krakowie widać pewien wzrost częstości występowania burz zimowych pod koniec badanego wielolecia. Nie zauważono również wyraźnych zmian w występowaniu rocznego maksimum dni burzowych, które w zależności od roku najczęściej przypada na miesiące od maja do sierpnia (ryc. 10).

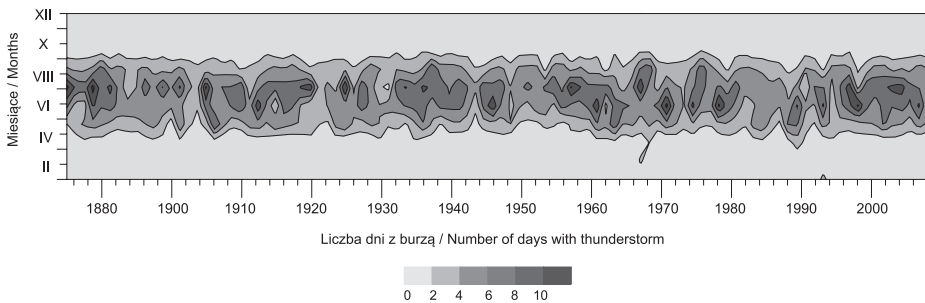


„1886” – okres: od X 1885 do III 1886 / period from Oct. 1885 to Mar. 1886

Ryc. 9. Liczba dni z burzą w okresie od października do marca w latach 1885–2008
 Fig. 9. The number of days with a thunderstorm between October and March 1885–2008

Tabela 6. Liczba dni z burzą od października do marca w kolejnych dekadach lat 1885–2005
 Table 6. The number of days with a thunderstorm between October and March in ten-year intervals 1885–2005

Dziesięciolecie/ Decades	Stacje / Stations							
	Koszalin	Hel	Szczecin	Poznań	Legnica	Wrocław	Racibórz	Kraków
1885/1886–1894/1895	5	4	10	7	8	5	5	4
1895/1896–1904/1905	2	7	18	8	10	11	7	5
1905/1906–1914/1915	8	7	9	8	5	5	5	1
1915/1916–1924/1925	7	3	2	6	6	9	7	9
1925/1926–1934/1935	9	3	16	8	12	22	4	8
1935/1936–1944/1945	1	–	1	2	5	3	2	15
1945/1946–1954/1955	1	1	5	5	7	6	3	5
1955/1956–1964/1965	8	6	6	4	5	3	3	7
1965/1966–1974/1975	19	5	7	8	11	9	3	13
1975/1976–1984/1985	23	10	11	12	5	8	4	18
1985/1986–1994/1995	11	8	11	8	13	14	8	23
1995/1996–2004/2005	20	2	9	5	3	5	6	16



Ryc. 10. Liczba dni z burzą w Krakowie w latach 1885–2008

Fig. 10. The number of days with a thunderstorm in Krakow during 1885–2008

Liczba dni z gradem w latach 1966–2006

Uzupełnieniem badań dotyczących występowania burz w Polsce jest analiza występowania opadów gradu, jako potencjalnie najbardziej groźnego opadu burzowego. Jak wspomniano we wstępie, niewiele jest prac poświęconych temu zagadnieniu. W większości przypadków dotyczą one obszarów źródłowych oraz szlaków gradowych określonych na podstawie krótkich serii pomiarowych, np. z lat 1946–1965. W późniejszych latach analiza opadów gradu była zwykle przeprowadzana w powiązaniu z rodzajami opadów, zwykle dotyczyła ich przebiegu dobowego lub wieloletniej zmienności w jednym punkcie pomiarowym (Bielec 1996; Twardosz 2005).

W niniejszym opracowaniu przedstawiono wstępne wyniki prac dotyczących rocznej i wieloletniej zmienności występowania dni z opadem gradu. Na rozpatrywanych 23 stacjach, poza stacjami wysokogóorskimi, opad ten występował niezmiernie rzadko. Średnio w okresie od kwietnia do września notowano od 0,5 dnia z gradem (19 przypadków w wieloleciu) w Szczecinie do 2,1 (86 dni) w Zakopanem oraz 8,4 i 12,4 dnia (346 i 510 dni) odpowiednio na Śnieżce i Kasprowym Wierchu (tab. 7). Ich liczba wzrasta z północnego zachodu na południowy wschód. Podobnie jak w przypadku liczby dni z burzą, którym zwykle towarzyszą opady gradu, jest to związane z różnymi warunkami cyrkulacyjnymi i środowiskowymi sprzyjającymi rozwojowi silnej konwekcji w poszczególnych regionach.

Największa liczba dni z gradem najczęściej występuje w miesiącach wiosennych. Na 13 stacjach roczne maksimum przypada na maj, na 7 – na kwiecień, i na 4 stacjach – na czerwiec. Dni z gradem w tych miesiącach stanowiły od 25 do 60% wszystkich przypadków. Wyjątek stanowiły opady na Helu, gdzie roczne maksimum ich częstości przypadało na wrzesień, chociaż w kwietniu i sierpniu ich liczba była też duża (tab. 7). W miesiącach letnich liczba dni z tym opadem jest na ogół mniejsza. W całym rozpatrywanym wieloleciu tylko 7 razy liczba ta w miesiącach letnich przekroczyła 10, poza Śnieżką i Kasprowym Wierchem. Trudno jednoznacznie określić zmiany liczby analizowanych dni w ciągu roku. Wydaje się, że na stacjach położonych na północy i w zachodniej połowie kraju silniej zaznaczone jest maksimum wiosenne (ryc. 11). Natomiast na stacjach w południowej części Polski przebieg jest bardziej wyrównany, a maksimum występowania gradu przesunięte jest na miesiące letnie.

Badając występowanie dni z opadem gradu (od kwietnia do września), trudno wskazać jakieś charakterystyczne cechy ich zmienności wieloletniej. Pomijając Śnieżkę i Kasprowy Wierch, zwykle w ciągu roku rozpatrywana liczba dni rzadko przekraczała 4 (ryc. 12). Najwięcej – 8 dni – wystąpiło w 1977 r. w Świnoujściu i w 1971 r. w Zakopanem. Spowodowane to było wystąpieniem aż 6 dni z gradem w kwietniu w Świnoujściu i 5 dni we wrześniu w Zakopanem. Na większości stacji wieloletni przebieg liczby dni z gradem jest bardzo wyrównany. Tylko na 7 stacjach (włączając w to Śnieżkę i Kasprowy Wierch) opisywane zmiany są bardziej widoczne.

Tabela 7. Częstość [%] oraz średnia liczba dni z gradem w Polsce w latach 1966–2006 w okresie od IV do IX

Table 7. The frequency [%] and average number of days with hail in Poland between April and September over the period 1966–2006

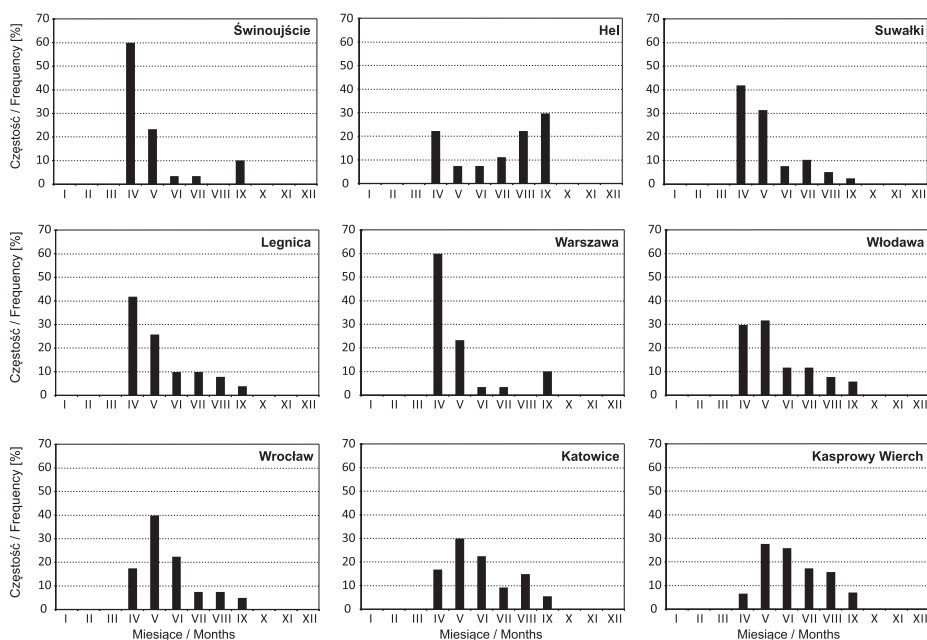
Stacja/ Station	Częstość [%]/Frequency [%]							Średnia / Average						
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV–IX	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV–IX
Hel	22,2	7,4	7,4	11,1	22,2	29,6	100	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,7
Suwałki	42,1	31,6	7,9	10,5	5,3	2,6	100	0,4	0,3	0,1	0,1	0,0	0,0	0,9
Świnoujście	60,0	23,3	3,3	3,3	–	10,0	100	0,4	0,2	0,0	0,0	–	0,1	0,7
Szczecin	26,3	36,8	10,5	15,8	–	10,5	100	0,1	0,2	0,0	0,1	–	0,0	0,5
Chojnice	27,3	29,1	18,2	14,5	7,3	3,6	100	0,4	0,4	0,2	0,2	0,1	0,0	1,3
Toruń	21,4	25,0	21,4	14,3	12,5	5,4	100	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1	1,4
Stubice*	24,0	40,0	12,0	20,0	4,0	–	100	0,2	0,3	0,1	0,1	0,0	–	0,7
Poznań	34,4	31,3	9,4	6,3	12,5	6,3	100	0,3	0,2	0,1	0,0	0,1	0,0	0,8
Warszawa	15,8	28,9	21,1	10,5	2,6	21,1	100	0,1	0,3	0,2	0,1	0,0	0,2	0,9
Legnica	42,0	26,0	10,0	10,0	8,0	4,0	100	0,5	0,3	0,1	0,1	0,1	0,0	1,2
Wrocław	17,5	40,0	22,5	7,5	7,5	5,0	100	0,2	0,4	0,2	0,1	0,1	0,0	1,0
Kalisz	31,0	26,2	19,0	11,9	4,8	7,1	100	0,3	0,3	0,2	0,1	0,0	0,1	1,0
Łódź	34,0	38,0	8,0	6,0	4,0	10,0	100	0,4	0,5	0,1	0,1	0,0	0,1	1,2
Włodawa*	30,0	32,0	12,0	12,0	8,0	6,0	100	0,4	0,4	0,2	0,2	0,1	0,1	1,3
Jelenia Góra	14,8	29,6	29,6	11,1	7,4	7,4	100	0,1	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0	0,7
Śnieżka	6,4	29,2	30,9	16,2	9,2	8,1	100	0,5	2,5	2,6	1,4	0,8	0,7	8,4
Katowice	17,0	30,2	22,6	9,4	15,1	5,7	100	0,2	0,4	0,3	0,1	0,2	0,1	1,3
Rzeszów	20,8	41,7	16,7	8,3	12,5	–	100	0,1	0,2	0,1	0,0	0,1	–	0,6
Aleksandrowice	15,3	27,1	27,1	10,2	8,5	11,9	100	0,2	0,4	0,4	0,1	0,1	0,2	1,4
Zakopane	22,1	20,9	23,3	10,5	10,5	12,8	100	0,5	0,4	0,5	0,2	0,2	0,3	2,1
Kasprowy Wierch	6,5	27,6	25,9	17,3	15,7	7,1	100	0,8	3,4	3,2	2,1	2,0	0,9	12,4
Lesko*	26,6	24,1	17,7	13,9	11,4	6,3	100	0,5	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	2,0
Przemysł*	32,0	12,0	24,0	20,0	8,0	4,0	100	0,3	0,1	0,2	0,2	0,1	0,0	1,0
Maksymalna	60,0	41,7	30,9	20,0	22,2	29,6	–	0,8	3,4	3,2	2,1	2,0	0,9	12,4
Minimalna	6,4	7,4	3,3	3,3	0,0	0,0	–	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5

Objaśnienia/Explanations:

□ maksimum roczne/annual maximum

– zjawisko nie wystąpiło/phenomenon did not occur

0,0 – zjawisko występowało w ilościach mniejszych od liczb, które mogą być podane w tablicy (< 0,05)/
frequency of phenomenon lower than 0,05%.

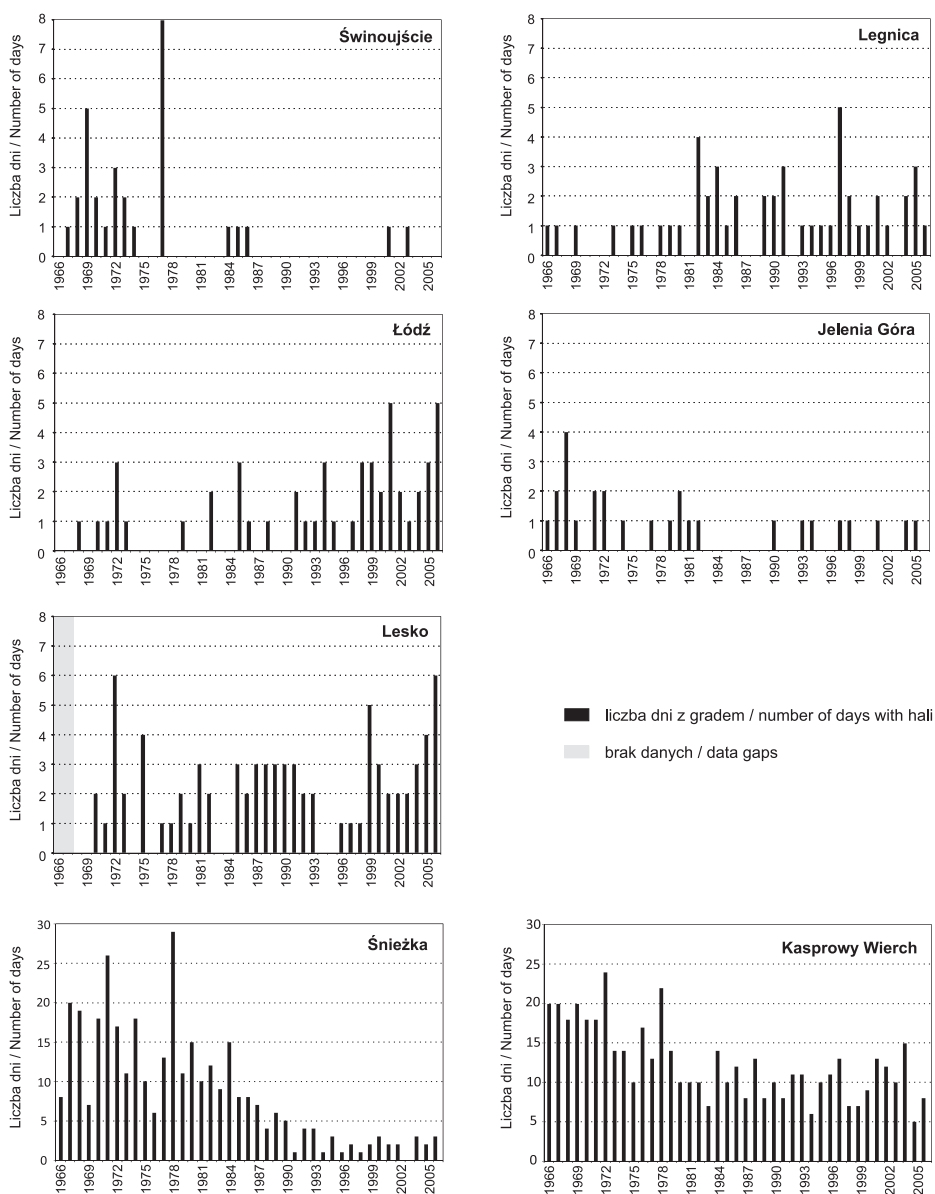


Ryc. 11. Częstość [%] liczby dni z gradem od kwietnia do września na wybranych stacjach w latach 1966–2006

Fig. 11. The frequency [%] of days with hail between April and September at selected stations during 1966–2006

W dwóch przypadkach: w Świnoujściu i Jeleniej Górze nastąpiło zmniejszenie liczby dni z gradem (z 10–17 dni w pierwszych dekadach wielolecia do 1–5 dni w dwóch ostatnich). Natomiast w Legnicy, Łodzi i Lesku w ostatnich dwóch dekadach analizowanego okresu w odnotowano mniej więcej dwu-, trzykrotny wzrost liczby badanych dni w porównaniu z pierwszą dekadą wielolecia (tab. 8). Najbardziej charakterystyczny był przebieg opisanych zmian w Świnoujściu i Łodzi. Na pierwszej stacji opady gradu wystąpiły prawie wyłącznie na początku wielolecia, na drugiej liczba dni z gradem znacząco wzrosła po 1996 r. Należy także zauważyć, że często jeden lub dwa lata występujące na początku lub na końcu badanego wielolecia, w których zanotowano większą liczbę dni z gradem mogły zdecydować o rosnącej lub malejącej tendencji zmian liczby analizowanych dni. Z tego powodu w niniejszym opracowaniu zrezygnowano z określenia tendencji zmian liczby dni z gradem.

Osobno należy rozpatrywać zmiany liczby dni z gradem, jakie zaszły na Śnieżce i Kasprowym Wierchu. Na obu stacjach spadek ich liczby jest wyraźny (tab. 8, ryc. 12). Na pierwszej ze stacji liczba dni z gradem zmniejszyła się ze 128–154 dni



Ryc. 12. Wieloletnia zmienność liczby dni z gradem w Polsce w latach 1966–2006 (IV–IX) na wybranych stacjach

Fig. 12. The long-term variability of the number of days with hail in Poland during 1966–2006 (IV–IX) at selected stations

Tabela 8. Liczba dni z gradem od kwietnia do września w kolejnych dekadach lat 1966–2005
 Table 8. The number of days with hail between April and September in ten-year intervals over the period 1966–2005

Dziesięciolecie/ Decades	Hel	Suwaki	Świnoujście	Szczecin	Chojnice	Toruń	Stubice	Poznań	Warszawa	Legnica	Wrocław	Kalisz	Łódź	Włodawa	Jelenia Góra	Śnieżka	Katowice	Rzeszów	Aleksandrowice	Zakopane	Kasprowy Wierch	Lesko	Piżemyśl
1966–1975	5	9	17	8	16	11	5	9	11	5	6	10	7	10	13	154	12	5	23	23	176	15	9
1976–1985	6	14	10	2	11	13	8	8	10	14	9	13	6	8	6	128	15	2	10	26	127	13	9
1986–1995	9	6	1	4	9	13	8	7	8	12	13	10	10	19	3	43	11	9	14	18	97	21	7
1996–2005	6	7	2	4	15	16	4	6	9	18	12	9	22	11	5	18	14	8	10	18	102	24	–

Objaśnienia/Explanations:

15 okres, w którym wystąpiły braki w danych / period with data gaps,

– brak danych/missing data.

w pierwszych dwóch dekadach do 18–43 dni w dwóch kolejnych (przy średniej na dekadę 86,5 dnia). Na Kasprowym Wierchu w pierwszych dekadach notowano 176 i 127 dni z gradem, w dwóch natomiast ostatnich 97 i 102 dni (przy średniej 127,5 dnia). Jak jednak zaznaczono na początku opracowania, dane pochodzące z tych stacji budzą wątpliwości. Z drugiej jednak strony na obu tych stacjach oraz na stacjach najbliższych nich położonych (Aleksandrowice, Zakopane, Jelenia Góra), a także na Czeskich Morawach i Śląsku (Chromá i in. 2005) zmiany liczby dni z gradem mają ten sam kierunek. Być może z tego powodu wykazany spadek liczby analizowanych dni rzeczywiście wystąpił, nawet jeśli jego wielkość pozostaje dyskusyjna.

Podsumowanie

Otrzymane wyniki nie pozwalają stwierdzić powszechnie występującego wzrostu ani liczby dni burzowych, ani liczby dni z opadem gradu w ostatnich dziesięcioleciach. Wyraźnie zarysowuje się duże zróżnicowanie regionalne, zarówno w ich przebiegu rocznym, jak i wieloletnim, a kierunki i wartości tendencji ich zmian zależą od analizowanego wielolecia. Takie przestrzenne zmiany w występowaniu burz oraz opadów gradu są charakterystyczne dla obu rozpatrywanych zjawisk i dotyczą wielu obsza-

rów na świecie (Changnon 1988; Brázdil i in. 1998; Kuleshov i in. 2002). W Polsce większość stacji charakteryzująca się spadkiem liczby dni burzowych występujących od 1949 r. położona jest na północny zachód od linii łączącej Śnieżkę i Suwałki, a największy spadek liczby analizowanych dni wystąpił w Słubicach i wynosił 1,3 dnia/10 lat. Na pozostałych stacjach, leżących na południowy wschód od wyznaczonej linii, przeważają tendencje dodatnie. Największy wzrost liczby rozpatrywanych dni odnotowano we Włodawie (1,7 dnia/10 lat) oraz w Lesku (1,6 dnia/10 lat) i Katowicach (1,1 dnia/10 lat). Otrzymane rezultaty wskazują także, że od drugiej połowy XX w. na większości rozpatrywanych stacji wzrasta liczba dni z burzą występująca w chłodnej połowie roku. Wzrost ten jest najbardziej wyraźny na stacjach położonych na południowy wschód od opisywanej wcześniej linii łączącej Suwałki i Śnieżkę oraz w Szczecinie. Rozpatrując występowanie badanych zjawisk w dłuższym wieloletnim okresie (1885–2008) opisane zmiany są słabiej widoczne, co oznacza, że do stwierdzonych zmian należy podchodzić z właściwą ostrożnością. Zróżnicowanie przestrzenne występowania badanych zjawisk i ich zmian wieloletnich spowodowane jest odmiennymi warunkami cyrkulacyjnymi oraz regionalnym zróżnicowaniem warunków przyrodniczych (Bielec-Bąkowska 2003, 2010; Twardosz i in. 2010). Wielu autorów wykazało też związek zmian występowania burz czy gradów z makroskalowymi zmianami cyrkulacji atmosfery (Kamyshanova 1974; Changnon 1985). Należy jednak pamiętać, że z jednej strony w niektórych regionach wpływ charakterystycznych sytuacji synoptycznych może być silniejszy od dominującej w danym obszarze wielkoskalowej cyrkulacji atmosferycznej (Bielec-Bąkowska 2002, 2003). Z drugiej strony ważnym czynnikiem sprzyjającym konwekcji i pojawianiu się analizowanych zjawisk są warunki lokalne. Wydaje się to bardzo istotne przy rozpatrywaniu opadów gradu, szczególnie tych towarzyszących burzom termicznym. Przykładem może być zwiększona częstość ich występowania w Polsce na obszarach o wysokościach względnych 0–80 m (Zinkiewicz, Michna 1955; Koźmiński 1965). W przypadku opadów gradu najważniejszą cechą ich występowania jest przebieg roczny. Na stacjach położonych na północy i w zachodniej połowie kraju silniej zaznaczona jest dominacja gradu występującego wiosną, na stacjach południowych natomiast przebieg jest bardziej wyrównany, a maksimum występowania częściej przesunięte jest w kierunku miesięcy letnich. Na większości stacji wieloletni przebieg liczby dni z gradem jest bardzo wyrównany i trudno wskazać okresy charakteryzujące się wyraźnie zwiększoną lub zmniejszoną liczbą dni z gradem na większej liczbie stacji.

Wspomniane wyżej związki pomiędzy występowaniem burz i gradów a innymi elementami środowiska powinny stać się podstawą bardziej szczegółowych i opartych na długich seriach obserwacyjnych badań wieloletniej zmienności obu zjawisk.

Praca została wykonana w ramach Projektu Zamawianego przez Ministerstwo Środowiska pod nazwą *Ekstremalne zdarzenia meteorologiczne i hydrologiczne w Polsce (ocena zdarzeń oraz prognozowanie ich skutków dla środowiska życia człowieka)*; PBZ-KBN-086/P04/2003).

Literatura

- Alexandersson H., 1986, *A homogeneity test applied to precipitation data*, Journal of Climatology, 6, 661–675.
- Bebłot G., Hołda I., Rorbek K., 2008, *Trąba powietrzna w rejonie Częstochowy 20 lipca 2007 roku* [w:] *Ekstrema pogodowe w Polsce – obserwacje, pomiary, prognozy*, M. Maciejewski, M.S. Ostojki (red.), IMGW, Warszawa, 23–40.
- Beniston M., Stephenson D.B., 2004, *Extreme climatic events and their evolution under changing climatic conditions*, Global and Planetary Change 44, 1–9.
- Bielec Z., 1996, *Występowanie burz w Krakowie w latach 1896–1995*, praca magisterska, archiwum Zakładu Klimatologii UJ.
- Bielec Z., 1997, *Opady burzowe w Krakowie w latach 1896–1995* [w:] *Ekstremalne zjawiska meteorologiczne, hydrologiczne i oceanograficzne*, IMGW, Warszawa.
- Bielec Z., 2001, *Long-term variability of thunderstorms and thunderstorm precipitation occurrence in Cracow, Poland, in the period 1896-1995*, Atmospheric Research, 56, 161–170.
- Bielec Z., Kolendowicz L., 2001, *Problems connected with the observation and climatological elaborations of thunderstorms*, Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, Lublin, B 55/56(7), 59–65.
- Bielec-Bąkowska Z., 2002, *Zróźnicowanie przestrzenne i zmienność wieloletnia występowania burz w Polsce (1949–1998)*, Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice, s. 160.
- Bielec-Bąkowska Z., 2003, *Long-term variability of thunderstorms occurrence in Poland in the 20th century*, Atmospheric Research, 67–68, 35–52.
- Bielec-Bąkowska Z., 2010, *Występowanie gradu w Polsce w świetle cyrkulacji atmosfery w latach 1966–2006* [w:] T. Ciupa, R. Suligowski (red.), *Woda w badaniach geograficznych*, Instytut Geografii Uniwersytet Jana Kochanowskiego, Kielce, 367–382.
- Bielec-Bąkowska Z., Łupikasza E., 2009, *Long-term precipitation variability on thunderstorm days in Poland (1951–2000)*, Atmospheric Research, 93, 506–515.
- Brázdil R., Štěpánek P., Vais T., 1998, *Časová a prostorová analýza bouřek, krupobiti a extrémních srážek v jižní části Moravy v období 1946–1995*, Meteorologické zprávy, 51, 2, 45–52.
- Changnon S.A., 1985, *Secular variations in thunder-day frequencies in the Twentieth Century*, Journal of Geophysical Research, 90, D4, 6181–6194.
- Changnon S.A., 1988, *Climatology of thunder events in the conterminous United States. Part I: Temporal aspects*, Journal of Climate, 1, 389–398.
- Changnon S.A., 2001, *Thunderstorm rainfall in the conterminous United States*, Bulletin of the American Meteorological Society, 82, 1925–1940.

- Changnon S.A., Changnon D., 2001, *Long-term fluctuations in thunderstorm activity in the United States*, *Climate Change*, 50, 489–503.
- Chromá K., Brázdil R., Tolasz R., 2005, *Spatio-temporal variability of halistorms for Moravia and Silesia in the summer half-year of the period 1961–2000*, *Meteorologický časopis*, 8, 65–74.
- Dai A., 2001a, *Global precipitation and thunderstorm frequencies. Part I: Seasonal and interannual variations*, *Journal of Climate*, 14, 1092–1111.
- Dai A., 2001b, *Global precipitation and thunderstorm frequencies. Part II: diurnal variations*, *Journal of Climate*, 14, 1112–1128.
- Dobrovolný P., Brázdil R., 2003, *Documentary evidence on strong winds related to convective storms in the Czech Republic since AD 1500*, *Atmospheric Research*, 67–68, 95–116.
- Dupuy, J., 1995, *Precipitations orageuses dans l'agglomération Lilloise*, *Cahiers de Géographie Physique*, 10, Université des Sciences et Technologies de Lille, 17–32.
- Easterling D.R., Evans J.L., Groisman P. Ya., Karl T.R., Kunkel K.E., Ambenje P., 2000, *Observed variability and trends in extreme climate events: a brief review*, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81, 417–425.
- Etkin D., Brun S. E., Shabbar A., Joe P., 2001, *Tornado climatology of Canada revisited: tornado activity during different phases of ENSO*, *International Journal of Climatology*, 21, 915–938.
- Fraille R., Berthet C., Dessent J., Sánchez J.L., 2003, *Return period of severe hailfalls computed from hailpad data*, *Atmospheric Research*, 67–68, 189–202.
- Grabowska K., 2001, *Zmienność aktywności burzowej w niektórych regionach geograficznych Polski*, *Prace i Studia Geograficzne UW*, 29, 181–190.
- Grabowska K., 2002, *Burze w Polsce i ich uwarunkowania*, praca doktorska, Zakład Klimatologii WGSR, Uniwersytet Warszawski, Warszawa.
- Grabowska K., 2005, *Tendencje zmian i prognozy aktywności burzowej w Polsce* [w:] E. Bogdanowicz, U. Kossowska-Cezak, J. Szkutnicki (red.), *Ekstremalne zjawiska hydrologiczne i meteorologiczne*, IMGW, Warszawa, 385–391.
- Huff F.A., Changnon S.A., 1973, *Urban influences on precipitation and storms*, *Journal of Applied Meteorology*, 12, 698–708.
- 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* [S. Solomon, D. Quin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996.
- 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., 1996, *Burze na obszarze Polski Północno-Zachodniej w świetle częstości występowania różnych typów cyrkulacji atmosfery*, *Zeszyty IGiPZ PAN*, 39, 1–115.
- Kolendowicz L., 2005, *Wpływ cyrkulacji atmosferycznej oraz temperatury i wilgotności powietrza na występowanie dni z burzą na obszarze Polski*, Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań.

- Kolendowicz L., 2007, *Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na występowanie dni z burzq w Poznaniu w latach 1951–2000*, Badania Fizjograficzne nad Polską Zachodnią, Seria A – Geografia Fizyczna, 58, 79–87.
- Koźmiński Cz., 1965, *Próba wydzielenia obszarów źródłowych tworzenia się termicznych burz gradowych na terenie województwa kieleckiego*, Przegląd Geograficzny, 37, 3, 521–532.
- Koźmiński Cz., Rytel M., 1963, *Próba wykreślenia izarytm prawdopodobieństwa wystąpienia burz gradowych w Polsce na podstawie lat 1947–1960*, Czasopismo Geograficzne, 34, 1, 51–60.
- Kuleshov Y., de Hoedt G., Wright W., Brewster A., 2002, *Thunderstorm distribution and frequency in Australia*, Australian Meteorological Magazine, 51, 145–154.
- Lewińska J., 1964, *Wyjątkowy przypadek opadu burzowego na obszarze Krakowa*, Gazeta Obserwatora PIHM, Warszawa, 3, 10–12.
- Nosova A.M., 1989, *Mnogoletnije izmenenija intensivnosti grovoj dejatelnosti*, Meteorologia i Hidrologia, 3, 106–109.
- Pelz J., 1977, *Die Gewitter im Berliner Raum*, Met. Abh., Neue Folge Serie A Monographien, 1, 3, Berlin.
- Pruchnicki J., 1999, *W sprawie pojęć dotyczących globalnych zmian klimatu*, Wiadomości IMGW, 22, 4, 35–42.
- Schüepp M., 1980, *Gewitter und Hagel*, Klomatologie der Schweiz, 25/K.
- Simeonov P., Georgiev Ch.G., 2003, *Severe wind/hail storms over Bulgaria in 1999–2001 period: synoptic- and meso-scale factors for generation*, Atmospheric Research, 67–68, 629–643.
- Šálek M., 1994, *Silné bouřky na Moravě spojené s výskytem tromby v obci Lanžhot dne 26.5.1994*, Meteorologické zprávy, 47, 172–177.
- Šálek M., 2001, *Výskyt tornáda v obci Studnice dne 19 dubna 2000*, Meteorologické zprávy, 54, 8–15.
- Štěpánek P., 2006, *An-Clim – software for time series analysis (for Windows)*, Department of geography, Faculty of Natural Science, Masaryk University, Brno. 1.47MB. Available at <http://www.climahom.eu/AnClim.html>. (data dostępu: 9 września 2010).
- Stopa M., 1962, *Burze w Polsce*, Prace Instytutu Geografii PAN, 34, 109–179.
- Stopa M., 1965, *Podział Polski na regiony Burzowe*, Przegląd Geograficzny, 37, 4, 659–665.
- Twardosz R., 2005, *Dobowy przebieg opadów atmosferycznych w ujęciu synoptycznym i probabilistycznym na przykładzie Krakowa (1886–2002)*, Kraków, s. 176.
- Twardosz R., Niedźwiedz T., Łupikasza E., 2010a, *The influence of atmospheric circulation on the type of precipitation (Kraków, southern Poland)*, Theoretical and Applied Climatology, 104, 233–250.
- Twardosz R., Niedźwiedz T., Łupikasza E., 2010b, *Burze w Krakowie i ich uwarunkowania cyrkulacyjne* [w:] T. Ciupa, R. Suligowski (red.), *Woda w badaniach geograficznych*, Instytut Geografii Uniwersytetu Jana Kochanowskiego, Kielce, 303–313.
- Twardosz R., Niedźwiedz T., Łupikasza E., 2011, *Zmienność i uwarunkowania cyrkulacyjne występowania postaci i typów opadów atmosferycznych na przykładzie Krakowa*, Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego.

- Wisner B., Blaikie P., Cannon T., Davis I., 2004, *At Risk: Natural hazards, people's vulnerability and disasters*, Routledge, New York.
- Wiszniewski W., 1949, *O burzach w Polsce*, Gazeta Obserwatora PIHM, 6, 9–12.
- Zinkiewicz W., Michna E., 1955, *Częstość występowania gradów w woj. Lubelskim w zależności od warunków fizjograficznych*, Annales UMCS, Sectio B, 10, 5, 224–267.

Zuzanna Bielec-Bąkowska
Katedra Klimatologii
Uniwersytet Śląski
ul. Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec
zuzanna.bielec-bakowska@us.edu.pl