



You have downloaded a document from
RE-BUŚ
repository of the University of Silesia in Katowice

Title: Zróżnicowanie przestrzenne i zmienność wieloletnia występowania burz w Polsce (1949-1998)

Author: Zuzanna Bielec-Bąkowska

Citation style: Bielec-Bąkowska Zuzanna. (2002). Zróżnicowanie przestrzenne i zmienność wieloletnia występowania burz w Polsce (1949-1998). Katowice : Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego



Uznanie autorstwa - Użycie niekomercyjne - Bez utworów zależnych Polska - Licencja ta zezwala na rozpowszechnianie, przedstawianie i wykonywanie utworu jedynie w celach niekomercyjnych oraz pod warunkiem zachowania go w oryginalnej postaci (nie tworzenia utworów zależnych).



UNIwersYTET ŚLĄSKI
W KATOWICACH



Biblioteka
Uniwersytetu Śląskiego



Ministerstwo Nauki
i Szkolnictwa Wyższego

Zróżnicowanie przestrzenne i zmienność wieloletnia występowania burz w Polsce

Zuzanna Bielec-Bąkowska



Wydawnictwo
Uniwersytetu Śląskiego



Katowice 2002

**Zróźnicowanie przestrzenne
i zmienność wieloletnia
występowania burz w Polsce
(1949–1998)**

Prace Naukowe
Uniwersytetu Śląskiego
w Katowicach
nr 2059

Zuzanna Bielec-Bąkowska

Zróźnicowanie przestrzenne
i zmienność wieloletnia
występowania burz w Polsce
(1949–1998)

Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego



Katowice 2002

Redaktor serii: Nauki o Ziemi
ANDRZEJ T. JANKOWSKI

Recenzent
JANINA TREPIŃSKA

Autorka jest stypendystką Fundacji na rzecz Nauki Polskiej

N 286 / 2059



96 314332

Treść

1. Wprowadzenie	7
1.1. Cel i metoda pracy	12
1.2. Ogólna charakterystyka przestrzennego występowania burz na świecie, w Europie i w Polsce	19
2. Przestrzenna zmienność występowania liczby dni z burzą w Polsce	26
2.1. Roczna liczba dni z burzą	26
2.2. Liczba dni z burzą w sezonach i miesiącach	37
3. Charakterystyka wieloletniej zmienności występowania liczby dni z burzą w Polsce	47
3.1. Wieloletni przebieg liczby dni z burzą w Polsce	49
3.2. Wieloletni przebieg liczby dni z burzą na poszczególnych stacjach	61
3.3. Przebieg liczby dni z burzą w ciągu roku w Polsce	73
3.4. Przebieg liczby dni z burzą w ciągu roku na poszczególnych stacjach	78
4. Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na zmiany występowania liczby dni z burzą	97
4.1. Występowanie burz przy określonych typach cyrkulacji atmosfery	98
4.2. Wieloletnia zmienność liczby dni burzowych w świetle zmian cyrkulacji atmosfery	108
4.3. Wpływ frontów atmosferycznych na występowanie dni z burzą	117
4.4. Sytuacje synoptyczne podczas szczególnych przypadków dni z burzą	123
5. Regiony burzowe	129
6. Wnioski	133
Literatura	138
Wykaz załączników	143
Summary	152
Zusammenfassung	156

1. Wprowadzenie

Burza to jedno lub kilka nagłych wyładowań elektryczności atmosferycznej, przejawiających się krótkim i silnym błyskiem (błyskawica) oraz suchym trzaskiem lub głuchym dudnieniem (grzmot) wewnątrz chmury *Cumulonimbus*, lub pomiędzy chmurą a ziemią (*Instrukcja...*, 1962).

W ciągu ostatnich kilku lat zarówno w Polsce, jak i w Europie coraz częściej pojawiają się opinie o wzroście częstości pojawiania się zjawisk katastrofalnych. Jest to spowodowane coraz większą liczbą powodzi, silnych wiatrów czy dużych opadów śniegu, które mogą się stać przyczyną znacznych szkód w środowisku naturalnym i gospodarce, zagrażają też ludzkiemu życiu. Nawet niewielkie zmiany pogody (jej charakterystyk meteorologicznych czy terminu jej wystąpienia) również uważa się za wydarzenia wyjątkowe. Wytlumaczeniem tej rosnącej liczby zjawisk niebezpiecznych i katastrofalnych mają być zmiany klimatu, rozumiane zwykle jako ocieplanie się klimatu związane ze zwiększającą się antropopresją.

Burzę zalicza się do zjawisk niebezpiecznych, a czasem nawet do zjawisk ekstremalnych (PRUCHNICKI, 1999). Powodem takiego zaklasyfikowania jest gwałtowność jej przebiegu, towarzyszący porywisty wiatr i intensywne opady deszczu. Rocznie na Ziemi notuje się około 16 mln burz, z których te najmniejsze, o średnicy 1 km, mają energię równą 10 bombom zrzuconym na Hiroszimę, a temperatura powietrza w tunelu błyskawicy osiąga 30 000 K (STENHOFF, 1985). I chociaż na ogół burze nie powodują większych szkód na Ziemi, to stanowią one poważne zagrożenie w ruchu lotniczym oraz powodują utrudnienia i zakłócenia w przesyłaniu energii czy w szeroko pojętej telekomunikacji. Niestety, zdarzają się także przypadki, takie jak burza 9 września 1963 roku w Krakowie (LEWIŃSKA, 1964) czy burze towarzyszące powodzi w lipcu 1997 roku, które potrafią sparaliżować życie miasta i spowodować lokalne powodzie. Pomimo że próby poznania mechanizmów powstawania i przebiegu tego zjawiska trwają od dawna, do dziś burza pozostała zjawiskiem nie w pełni poznanym i ciągle trwają prace nad metodami jej prognozowania. Problem jest tym ważniejszy, że poja-

wiały się hipotezy mówiące o wpływie obszarów zurbanizowanych na wzrost występowania burz, a w miastach przecieź żyje obecnie znaczna część ludności świata i tam też skupia się najbardziej intensywna działalność gospodarcza (COBB, WELLS, 1970; HUFF, CHANGNON, 1973).

Występowanie oraz przebieg badanego zjawiska od zawsze wzbudzał duże zainteresowanie. Jednak badania klimatologiczne poświęcone występowaniu burz podjęto stosunkowo późno i większość z nich miała miejsce w XX wieku. Pierwsze opisy burz znajdujemy w wielu kronikach czy utworach literackich. Później pojawiły się notatki opisujące pojedyncze przypadki burz o szczególnie gwałtownym przebiegu czy wyrządzających wiele szkód materialnych (STASZIC, 1815), a także opisy poszczególnych dni i lat charakteryzujących się wyjątkowo dużą liczbą burz na określonym terenie (SZULC, 1901; SMOSARSKI, 1915). W pierwszej połowie XX wieku zaczęły się pojawiać opracowania bardziej kompleksowe, uwzględniające wyniki badań nad fizyką tego zjawiska, a w szczególności kładące nacisk na zjawiska elektryczne i opady towarzyszące burzom (BRANCATO, 1942; BYERS, BRAHAM, 1948; *Thunderstorm Climatology...*, 1947).

Obecnie badania poświęcone burzom są wielokierunkowe i przeprowadzane przez wiele zespołów badawczych. Wiodącą rolę odgrywają prace prowadzone w: Stanach Zjednoczonych, Japonii, Wielkiej Brytanii i krajach basenu Morza Śródziemnego, co jest uwarunkowane dużą częstością występowania burz oraz dużymi szkodami wyrządzanymi w tych regionach przez burze i zjawiska im towarzyszące. Z tych też właśnie krajów pochodzi najwięcej kompleksowych opracowań dotyczących genezy i przebiegu burz (MAGONO, 1980; COURT, GRIFFITHS, 1981; DJURIĆ, 1994; DUDHIA, 1997).

Problematykę badawczą poświęconą zrozumieniu powstawania i rozwoju zjawiska, jakim jest burza, można podzielić na kilka kierunków, w których główny nacisk położono na wyjaśnienie:

- procesów fizycznych prowadzących do powstania burzy,
 - wieloletniej zmienności występowania burz oraz ich przebiegu rocznego i dobowego,
 - warunków fizjograficznych i meteorologicznych sprzyjających powstawaniu burz, ze szczególnym uwzględnieniem cyrkulacji atmosfery,
- oraz na wydzielenie regionów burzowych i opracowanie metod prognozowania tego zjawiska.

Podstawowe procesy fizyczne rządzące powstawaniem i przebiegiem burz zostały już poznane, a ich opis można znaleźć w każdym ogólnym opracowaniu z zakresu meteorologii. Najnowsze badania koncentrują się na wyjaśnieniu dynamiki przebiegu burz, zjawisk elektrycznych towarzyszących burzom, rozkładu pola elektrycznego oraz poznaniu mechanizmów rządzących powstawaniem i rozmieszczeniem różnego rodzaju hydrometeorów w chmurach burzowych (BARAŃSKI, 1985; BARTOSIK, 1995; METCLAF, 1997; MOLINIE, PONTIKIS, 1995; SAUNDERS, 2000).

Spośród opracowań klimatologicznych poświęconych analizie występowania burz szczególną uwagę należy zwrócić na nieliczne prace dotyczące wieloletniej zmienności omawianego zjawiska. Do takich badań zaliczają się przede wszystkim studia oparte na długich seriach czasowych. Zagadnieniem tym zajmowali się m.in.: R. BRAZDIL (1998), S. A. CHANGNON (1985, 1988a, 1988b), V. A. KAMYSHANOVA (1974), A. M. NOSOVA (1989), J. PELZ (1977), M. SCHÜEPP (1980) i W. WISZNIEWSKI (1949).

V. A. KAMYSHANOVA (1974) i A. M. NOSOVA (1989) przedstawiły analizę zmienności rocznej liczby dni z burzą na kilku stacjach rosyjskich. Pierwsza autorka poddała analizie serię dni burzowych z lat 1900–1968, jakie miały miejsce w Leningradzie i w Moskwie. Na tej podstawie stwierdziła, że obserwowany od lat 30. wzrost liczby dni z burzą jest podobny do wzrostu liczby dni burzowych w północnych Stanach Zjednoczonych i w Kanadzie powyżej 50°N. Wykazała istnienie zależności pomiędzy wielkoskalową cyrkulacją a zmiennością występowania burz. Powiązań z typami cyrkulacji szukała także A. M. NOSOVA (1989), badając liczbę dni z burzą w Leningradzie, Moskwie, Kijowie i w Tbilisi z lat 1891–1980. Porównała również zmianę liczby dni burzowych ze zmiennością temperatury i opadów.

Prawie trzystoletnią (z pewnymi jednak przerwami) serię liczby dni z burzą opracował J. PELZ (1977), badający burze, jakie wystąpiły w Berlinie w latach 1701–1976. Przedstawił bardzo wszechstronną analizę tego zjawiska, zwracając zarazem uwagę na trudności w odtwarzaniu serii danych oraz na ich jakość. Opracowanie prezentuje przebieg liczby dni z burzą w wieloleciu, a także ich przebieg dobowy, czas trwania oraz kierunki przechodzenia burz. Podobnymi zagadnieniami zajmował się M. SCHÜEPP (1980), który badał występowanie burz i towarzyszących im gradów w Szwajcarii w latach 1901–1976.

Krótszą, bo 50-letnią serię liczby dni z burzą, gradów i wysokich opadów na pięciu stacjach w południowych Morawach badał R. BRAZDIL (1998). Autor ten przedstawił przebieg wieloletni i roczny wymienionych elementów, a także zbadał korelację pomiędzy pojawianiem się ich na poszczególnych stacjach. Analizie poddał również związek pomiędzy występowaniem burz, gradów i wysokich opadów a typami sytuacji synoptycznych.

Na uwagę zasługują ponadto prace S. A. CHANGNONA (1985, 1988a, 1988b) poświęcone występowaniu burz w Stanach Zjednoczonych i na świecie. Autor ten opracował bardzo szczegółowo czas trwania burz i ich rozkład przestrzenny opierając się na danych pochodzących ze 152 stacji w Stanach Zjednoczonych w przeciągu trzydziestu lat (1948–1978). Zanalizował także przebieg wieloletni i roczny burz oraz określił stopień korelacji pomiędzy występowaniem tego zjawiska i aktywnością cyklonalną. W badaniach nad rozkładem i zmiennością liczby dni burzowych na świecie S. A. CHANGNON wykorzystał dane z 227 stacji z okresu 1901–1980. Na tej podstawie opracował przebieg czasowy liczby dni z burzą, określił tendencję zmian badanego wskaźnika, pokazał regiony wzrostu

i spadku liczby burz oraz próbował wskazać na geograficzne przyczyny tych zmian.

Istnieje również cała grupa opracowań zajmujących się badaniem warunków meteorologicznych i geograficznych sprzyjających powstawaniu burz. Na przykład na związek pomiędzy burzami a odległością od morza lub oceanu wskazują m.in. publikacje DAVIS i SHONEA (PRICHARD, 1985), W. I. ARABADAZI (1971) czy D. R. EASTERLINGA i J. P. ROBINSONA (1985). Opisowali oni liczbę dni z burzą oraz ich przebieg dobowy na stacjach leżących w różnych odległościach od mórz. Wyniki tych prac mogą świadczyć o wyraźnym wpływie na występowanie burz w sezonach zimowych bryzy morskiej w regionach nadbrzeżnych, a we wnętrzu lądów wpływu układów cyklonalnych. W pozostałych porach roku większe znaczenie miały burze powstające w jednolitej masie powietrza. Wyjaśnieniu występowania burz zimowych poświęcona jest także praca J. KNUDSENA (1974), który przedstawił wpływ orografii i cyrkulacji atmosferycznej w wysokich szerokościach geograficznych na występowanie burz zimą. Przebiegiem burz zimowych oraz sprzyjającymi ich występowaniu typami pogód we Francji, na przykładzie Nancy i Tours, zajmowali się J. GRAVIER oraz I. ROUSSEL (1995). Z kolei J. MOLINIE i C. PONTIKIS (1995) wskazali na rolę, jaką w występowaniu burz odgrywa zmiana położenia Międzyzwrotnikowej Strefy Zbieżności oraz połączona z nią zmiana cyrkulacji i mieszanie się mas powietrza. Wpływ typów cyrkulacji, rodzajów mas powietrza, ze szczególnym uwzględnieniem frontów atmosferycznych, na rozwój burz badali także M. MICHAŁOWSKI (1962), J. WRÓBEL (1985), M. ŠÁLEK (1994), L. KOLENDOWICZ (1998) i A. J. van DELDEN (2000). Obszerne prace poświęcone związkowi pomiędzy warunkami synoptycznymi a występowaniem burz została napisana przez A. WALKNERA w 1992 roku. Podstawą tego opracowania stały się zdjęcia satelitarne szczególnie silnych burz, które wystały w Stanach Zjednoczonych i w Europie.

Dużą grupę opracowań stanowią prace omawiające opady towarzyszące burzom, a w szczególności gradom. Do tych prac można zaliczyć wyniki badań dotyczących powstawania i rozkładu różnego rodzaju cząstek opadu w chmurach burzowych (METCLAF, 1997; CHENG i in., 1985) czy też klimatologiczne opracowania występowania opadów gradu w określonych regionach (DUPUY, 1995; VIENET, 2000). W Polsce to zagadnienie podjęli przede wszystkim A. SCHMUCK (1949), W. SMOSARSKI (1952), W. ZINKIEWICZ, E. MICHNA (1955) i Cz. KOŹMIŃSKI (1963a, 1963b, 1965, 1968), badając dobowy i roczny przebieg opadów, szlaki burz gradowych, próbowali też wydzielić obszary powstawania burz gradowych.

Nie można pominąć publikacji, w których zwrócono uwagę na wpływ działalności człowieka na powstawanie burz, do których należy zaliczyć opracowania J. LEWIŃSKIEJ (1964), W. COBBA i H. J. WELLSA (1970) oraz F. A. HUFFA i S. A. CHANGNONA (1973).

W Polsce za pierwsze opracowanie oparte na długiej serii obserwacji należy uznać pracę W. WISZNIEWSKIEGO (1949), który opracował geograficzny rozkład

średniej liczby dni z burzą na terenie Polski za lata 1891–1930. W publikacji tej zwrócił uwagę na występowanie na obszarze Polski regionów „uprzywilejowanych” pod względem występowania większej lub wyjątkowo małej liczby burz. Podkreślił ponadto dużą zmienność przestrzenną i czasową liczby dni z burzą na przykładzie poszczególnych lat i miesięcy.

Na podkreślenie zasługują także prace M. STOPY i L. KOLENDOWICZA. M. STOPA (1962, 1964a, 1964b, 1965, 1966) w swoich pracach przedstawiła wielostronną analizę występowania burz w Polsce. Opierając się na serii danych z lat 1946–1955 opracowała przebieg roczny i dobowy burz, przedstawiła ich rozkład przestrzenny i zaproponowała podział Polski na regiony burzowe. Przeprowadziła badania poświęcone warunkom meteorologicznym sprzyjającym powstawaniu burz w różnych masach powietrza i zajmowała się określeniem prawdopodobieństwa wystąpienia burz w różnych rejonach kraju. Występowaniem burz w Polsce w drugiej połowie XX stulecia zajął się L. Kolendowicz, który swoje badania poświęcił głównie zmianom występowania burz w ciągu roku oraz warunkom synoptycznym wpływającym na ich powstawanie i przebieg. Opierając się na 40-letniej serii danych (1951–1990), opracował rozkład przestrzenny liczby dni burzowych na obszarze północno-zachodniej Polski. Przedstawił także kilka podziałów badanego obszaru na regiony burzowe. Najważniejsze z nich wyznaczył na podstawie rocznego przebiegu dni z burzą, a także badając prawdopodobieństwo występowania burz przy określonym typie cyrkulacji (KOLENDOWICZ, 1996). Analizie poddał wpływ kierunków adwekcji powietrza na pojawianie się burz oraz zależność pomiędzy temperaturą i wilgotnością a rocznym przebiegiem dni burzowych (KOLENDOWICZ, 1997a, 1997b, 1999a, 1999b). Ponadto na podstawie codziennych obserwacji i pomiarów z kilku stacji w Polsce, a także wykorzystując mapy synoptyczne i zdjęcia satelitarne, określił, jakie warunki termiczno-wilgotnościowe sprzyjają występowaniu burz, w jakich masach powietrza najczęściej się one pojawiają i jaki procent w ogólnej liczbie dni z burzą stanowią dni z burzami frontalnymi (KOLENDOWICZ, 1998).

Warto jeszcze wspomnieć prace, których celem jest znalezienie najlepszej metody prognozowania opisywanego zjawiska. Badano powstawanie i rozwój burz, określając sytuacje synoptyczne, w trakcie których burze występowały, a także sprawdzano związki pomiędzy pojawianiem się burz a wskaźnikami chwiejności i wilgotności atmosfery (LITYŃSKA, MOROZOWSKA, PIWKOWSKI, 1970, 1971; KOZŁOWSKA, 1985). Najnowsze badania oparte są przede wszystkim na pomiarach aerologicznych, wynikach pomiarów radiometrycznych i zdjęciach satelitarnych (CHERNA, 1985; JURCZYK i in., 1999; KACZANOWSKI, 1987; HUNTRIESER i in., 1997; NOVAK, KRACMAR, 2000; SÉNESI i in., 1997, 2000).

1.1. Cel i metoda pracy

Na podstawie dotychczasowego stanu badań dotyczącego występowania burz w Polsce stwierdzono brak badań poświęconych wieloletniej zmienności tego zjawiska, tak w przebiegu przestrzennym, jak i czasowym, opartych na długich ciągach obserwacyjnych. Dlatego głównym celem niniejszej pracy jest *zbadanie zmienności występowania burz w Polsce w latach 1949–1998 oraz określenie roli, jaką w procesie tym odegrała cyrkulacja atmosferyczna.*

Wystąpienie burzy ma związek z istnieniem silnej chwiejności atmosfery i towarzyszącymi jej prądami wstępującymi (dochodzącymi do 30 m/s), które prowadzą do powstania rozbudowanych chmur *Cumulonimbus*. W Polsce warunki takie najczęściej występują podczas przechodzenia frontów atmosferycznych albo w wyniku kilkudniowego utrzymywania się pogody antycyklonalnej nad obszarem kraju (WARAKOMSKI, 1969; WILCZEK, 1991). Dlatego należałoby oczekiwać, że zmiana częstości występowania wymienionych typów pogody powinna znaleźć odzwierciedlenie w liczbie pojawiających się burz. Możliwe, że obserwowany w ostatnich latach wzrost częstości pojawiania się chmur *Cb*, a także większa częstość cyrkulacji zachodniej i związanych z nią układów cyklonalnych jest odpowiedzialna za zwiększenie się liczby burz w Polsce (CEBULAK i in., 1996; MATUSZKO, 1999; NIEDŹWIEDŹ, 1996; USTRNUL, 1997). Postanowiono więc sprawdzić, czy powszechnie wyrażana opinia dotycząca wzrostu liczby burz występujących w Polsce jest prawdziwa. Zbadano również, czy można wydzielić okresy, w których burze pojawiały się znacznie częściej niż zwykle i czy w całym kraju występowały one w tym samym czasie. Podjęto także próbę określenia powiązań pomiędzy cyrkulacją atmosfery a występowaniem burz.

Wymienione zagadnienia realizowano w postaci następujących celów cząstkowych:

- analizy zmienności występowania liczby dni z burzą w aspekcie przestrzennym,
- zbadania, czy istnieją podobieństwa w zmienności występowania burz na wybranych do analizy stacjach,
- sprawdzenia, czy wzrost liczby burz zimowych w Europie znajduje potwierdzenie na terenie Polski,
- zbadania korelacji pomiędzy sytuacjami synoptycznymi i towarzyszącymi im burzami oraz pomiędzy liczbą dni z burzą a wskaźnikami cyrkulacji atmosferycznej.

Materiały źródłowe

W niniejszym studium za podstawę do przeprowadzenia badań nad występowaniem burz w Polsce przyjęto, jak w większości opracowań klimatologicznych, nie liczbę burz, a liczbę dni z burzą. Kilka powodów przemawiało za takim

wskaźnikiem. Najważniejszym z nich jest fakt, że stwierdzenie wystąpienia burzy nie jest wynikiem pomiaru, lecz spostrzeżeniem obserwatora. Oznacza to, że może ono być obciążone błędami jego oceny subiektywnej, np. nieusłyszenie pierwszego lub kolejnego grzmotu, czy, w miastach, pomylenia grzmotu z hałasem miejskim. Skutkiem takich pomyłek jest błędny zapis przebiegu omawianego zjawiska, który stanowi podstawę do wydzielenia pojedynczej burzy. Należy przypomnieć, że definicja i sposób zapisu burzy także zmieniały się w czasie. Dlatego dzień z burzą, której raczej nie sposób nie zauważyć, wydaje się właściwym wskaźnikiem do osiągnięcia zamierzonego celu badań.

W badaniach wykorzystano spostrzeżenia meteorologiczne dotyczące występowania burz, pochodzące z 56 stacji w Polsce znajdujących się w sieci IMGW. Wybrane stacje są rozłożone stosunkowo równomiernie na terenie całego kraju i reprezentują wszystkie główne regiony geograficzne (ryc. 1). Stacje te zostały wybrane ze względu na sposób przeprowadzania obserwacji burz i zjawisk im towarzyszących oraz ze względu na długość i homogeniczność serii danych. Z wykorzystanych 56 serii obserwacji burz jedna nie pochodziła ze stacji synoptycznych, tylko ze Stacji Klimatologicznej IGiGP UJ posiadającej jedną z najdłuż-



Ryc. 1. Stacje uwzględnione w opracowaniu

Fig. 1. Stations used in analysis

szych w Polsce serii obserwacji meteorologicznych. Wybrano tę stację, ponieważ krakowska stacja synoptyczna w Balicach ma znacznie krótszy od wymaganego do analizy ciąg obserwacji. Sposób przeprowadzania obserwacji na Stacji Klimatologicznej IGiGP UJ w Krakowie jest zgodny z wymogami dla stacji synoptycznych, a niezmiennosc położenia stacji wpływa znacząco na jednorodność serii. Poza stacją krakowską, gdzie dokładnego opisu obserwacji burz dokonuje się w godzinach od 6 do 21 CSE, a w nocy odnotowuje się tylko porę doby, w której ona wystąpiła, na wszystkich pozostałych stacjach obserwacje prowadzi się nieprzerwanie przez całą dobę. Jedyne w wyjątkowych wypadkach wystąpienia przerw lub zmian w pracy stacji spostrzeżenia notuje się tylko za pomocą symboli oznaczających poszczególne pory doby.

Dane, które wykorzystano do analizy, pochodzą z roczników meteorologicznych (*Rocznik meteorologiczny*, 1954–1965), dzienników synoptycznych i wykazów klimatologicznych poszczególnych stacji oraz komputerowych baz danych IMGW. Obejmują lata 1949–1998. Taki niestandardowy jak na opracowania klimatologiczne okres wybrano z kilku powodów. Najważniejszym z nich jest jak najdłuższa seria obserwacji prowadzonych w sposób nieprzerwany i według tych samych zasad. Jest to warunek istotny, ponieważ roczna liczba burz występująca w określonym miejscu w Polsce jest niewielka i krótki okres obserwacji nie pozwala na wysnucie wiążących wniosków. Długa seria danych jest również niezbędna do określenia zmienności wieloletniej badanego zjawiska. Jak wspomniano wcześniej, do tej pory podobne opracowania, dotyczące występowania burz w Polsce, opierały się na 10- lub 20-letnich ciągach danych (STOPA, 1962; *Atlas klimatyczny Polski*, 1973) i tylko w publikacji L. KOLENDOWICZA (1996) przedstawiono wyniki z 40 lat obserwacji. Kolejnym powodem wybrania spostrzeżeń związanych z burzami z takiego okresu obserwacji jest uwzględnienie możliwie najnowszych danych, które pozwolą stwierdzić, czy ostatnio notowany wzrost częstości występowania w Europie i Polsce zjawisk katastrofalnych znajduje również odbicie we wzroście liczby burz nad Polską.

Niestety nie wszystkie z uwzględnionych w analizie stacji prowadziły obserwacje od początku badanego okresu. Trzy z nich zaczęły pracę kilka lat później lub dane z początkowych lat były niepełne. Niemniej jednak ze względu na pozostałą część serii danych oraz i tak małą gęstość punktów obserwacyjnych zostały włączone do analizy. Do stacji tych należą:

- Nowy Sącz – dane od 1954 roku,
- Terespol i Lesko – dane od 1955 roku.

W późniejszych latach, w materiałach pochodzących ze wszystkich stacji, także zdarzały się braki wynikające z przerw w pracy stacji albo z niedostępności materiałów archiwalnych. Przypadki takie miały miejsce sześć razy i braki dotyczyły danych z jednego miesiąca lub roku, a odnośnie do Gdańska i Włodawy odpowiednio 3 lat i 2 lat. Zostały uzupełnione przez uśrednienie wyników ze stacji sąsiednich, jednak dotyczyło to tylko rocznej liczby dni z burzą.

Dane, które wykorzystano w analizie po przeprowadzeniu wstępnej kontroli, uznano za homogeniczne. Z kilku powodów przyjęto takie założenie. Najważniejszym z nich była niezmiennosc definicji burzy i sposobu jej notowania w ciągu całego badanego okresu na wszystkich stacjach uwzględnionych w opracowaniu. W większości przypadków położenie stacji nie zmieniało się. Jeżeli któraś ze stacji została przeniesiona, zawsze było to przemieszczenie na niewielką odległość (w obrębie jednej miejscowości), które nie miało większego wpływu na notowaną liczbę dni burzowych. Ponadto jednorodność serii sprawdzono za pomocą testu H. Alexanderssona dla elementów nieciągłych (ALEXANDERSSON, 1986). W tym celu stacje zaliczono do jednej z 9 grup stacji reprezentujących podobny typ przebiegu rocznej liczby dni z burzą i występujących w regionie o podobnych cechach fizyczno-geograficznych. Dla każdej tak stworzonej grupy obliczono średni przebieg rocznej liczby dni z burzą w badanym okresie (tzw. średnie obszarowe) i potraktowano go jako homogeniczny ciąg danych, który był podstawą sprawdzenia jednorodności danych ze stacji w danej grupie. W większości przypadków serie danych okazały się homogeniczne. W sytuacjach, w których istniało podejrzenie zerwania jednorodności danych, zostały one zweryfikowane przez porównanie z obserwacjami ze stacji otaczających i sprawdzenie historii stacji. W rezultacie we wszystkich przypadkach dane te uznano za homogeniczne, opierając się dodatkowo na założeniu, że przy dobrze opisanej serii danych (tzw. metadata) mniejszym błędem jest przyjęcie tezy o jej jednorodności niż próba znalezienia przyczyny zaburzeń i ich poprawianie (*Guidelines...*, 1986; HANSEN-BAUER, FORLAND, 1993).

W drugiej części pracy, poświęconej sytuacjom synoptycznym, podczas których występowały burze, wykorzystano typy cyrkulacji atmosfery pochodzące z *Katalogu typów cyrkulacji atmosferycznej* B. OSUCHOWSKIEJ-KLEIN (1978, 1991, 1998) z lat 1949–1998. Wykorzystano również typy sytuacji synoptycznych według T. NIEDŹWIEDZIA (1999) z lat 1949–1998, wskaźniki cyrkulacji według Z. USTRNULA (1999) z lat 1949–1995, oraz wartości wskaźnika oscylacji północnoatlantyckiej (NAO) z lat 1949–1997 (*North Atlantic Oscillation...*, 1998). Z kolei badając zależność pomiędzy burzami i przechodzącymi nad Polską frontami posłużono się mapami synoptycznymi IMGW publikowanymi w postaci *Biuletynu synoptycznego PIHM* (potem IMGW) (*Biuletyn...*, 1959–1979), *Map synoptycznych* (*Mapy...*, 1952–1981) oraz *Codziennego biuletynu meteorologicznego* (*Codzienny biuletyn...*, 1980–1981) z lat 1952–1981. Wykorzystanie krótszego niż dla dni burzowych trzydziestoletniego ciągu danych wynika z dostępności materiałów oraz ich jakości i jednorodności. Podstawowym źródłem danych były mapy zamieszczane w *Biuletynach synoptycznych* w latach 1959–1979, które mają postać map synoptycznych obejmujących całą Europę i publikowanych dwa razy na dobę o godzinie 00 UTC i 12 UTC. W przypadku wystąpienia luk – zwykle braku map z jednego lub kilku dni, uzupełniano je posługując się *Mapa-*

mi synoptycznymi, które były publikowane jedynie dla godziny 00 czasu uniwersalnego. Od 1980 roku zamiast wcześniej wymienionych *Biuletynów...* zaczęto wydawać *Codzienny biuletyn meteorologiczny*. Niestety, zamieszczane w nim mapy przedstawiają cyrkulację nad Europą tylko z godziny 00 UTC, a ich dokładność w porównaniu z mapami zamieszczonymi w *Biuletynach synoptycznych* jest znacznie mniejsza. Z tego powodu mapy te wykorzystano tylko do analizy lat 1980–1981, stanowiących uzupełnienie trzydziestoletniego ciągu danych.

Metoda opracowania

Przedmiotem opracowania jest szczególne zjawisko atmosferyczne – burza, którego analiza nie opiera się na pomiarach, jak to ma miejsce w przypadku większości elementów meteorologicznych, lecz na spostrzeżeniach obserwatora. Jedynie podczas badania fizycznych aspektów burzy do jej opisu używa się instrumentów pomiarowych. Z tego powodu w celu przeprowadzenia zamierzonych badań należało spostrzeżenia jakościowe zamienić na ilościowe i na potrzeby tej publikacji przyjęto pewne założenia.

Opracowaniu poddano wszystkie przypadki wystąpienia burz na 56 stacjach w Polsce w latach 1949–1998. Za podstawowy wskaźnik charakteryzujący występowanie burz przyjęto dzień z burzą, przy którego określeniu przyjęto następujące kryteria:

- W całym badanym wieloleciu do określenia burzy stosowano definicję obowiązującą od 1962 roku, opracowaną przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej (*Instrukcja...*, 1962). Podaje ona, że za **burzę** uznaje się grzmot słyszany po upływie mniej niż 10 s od czasu ujrzenia błyskawicy, a burzą odległą nazywa się zjawisko wystąpienia grzmotu po upływie więcej niż 10 s, któremu błyskawica może towarzyszyć lub nie. Początek burzy wyznacza moment usłyszenia pierwszego grzmotu, koniec burzy zaś to grzmot, po którym w ciągu 15 min nie było słychać następnego.
- Uwzględniono wszystkie przypadki burz, które wystąpiły w ciągu doby, jednak przyjmując nie krótszą niż półgodzinną przerwę między burzami.
- Nie stosowano podziału na burze bliskie i odległe.
- Za dzień z burzą uznano dobę, w której przynajmniej raz wystąpiła burza.
- Doba została przyjęta jako okres od godziny 00:01 UTC do godziny 24:00 UTC.
- Jeżeli burza miała miejsce na przełomie doby, zaliczano ją do obu dni (przypadki takie występowały jednak sporadycznie).

Przyjmując podaną definicję dnia z burzą (dnia burzowego) kierowano się kilkoma przesłankami. Pierwszą z nich była potrzeba ujednoczenia sposobu zbierania danych. W wykazach klimatologicznych podaje się liczbę dni z burzą w miesiącu. O ile jednak definicja burzy jest prawie niezmienna przynajmniej od

1920 roku (*Instrukcja...*, 1920), o tyle kryterium określenia dnia z burzą zmieniało się w czasie. Na początku badanego okresu doba burzowa trwała od 21:00 czasu miejscowego dnia poprzedniego do 21:00 badanego dnia (*Instrukcja...*, 1949, 1953), a od 1962 roku liczbę dni z burzą oblicza się według doby opadowej. Jeżeli w danym dniu burza zaczęła się przed pierwszym terminem klimatologicznym i zakończyła się po nim, to nie zaliczamy jej do doby poprzedniej, tylko do dnia obecnego. Dodatkowo należy przypomnieć, że główne terminy obserwacji również się zmieniały. Do 1971 roku były to: I termin – 7 UTC, II termin – 13 UTC i III termin – 21 UTC czasu miejscowego. Od 1 stycznia 1971 roku za I termin uznaje się godzinę 00, za II – 06 UTC, za III – 12 UTC i za IV – 18 UTC. Tak więc dla analizowanego zjawiska raz dobę liczono od 21 UTC czasu miejscowego, później od 7 UTC tego samego czasu, a obecnie od 06 UTC. Drugim powodem liczenia doby od północy do północy według czasu uniwersalnego był fakt, że znaczną część materiałów zapisywano w tym właśnie czasie.

Opisana sytuacja była podstawą do przyjęcia doby kalendarzowej liczonej według czasu uniwersalnego oraz przeliczenia wszystkich obserwacji dotyczących wystąpienia burz na czas południka Greenwich.

Jak już wcześniej wspomniano, w materiałach, jakie zgromadzono, wystąpiły pewne luki, które próbowano uzupełnić. I tak, jeżeli na jakiejś stacji w ciągu miesiąca lub roku obserwacje były niepełne albo w ogóle ich nie notowano, to do analizy rocznej liczby dni burzowych wykorzystywano średnią liczbę dni z burzą liczoną ze stacji najbliższej położonych. Podczas analizy zmienności liczby dni z burzą w ciągu roku, a także badając zależności pomiędzy dniami burzowymi a sytuacjami synoptycznymi i przechodzeniem frontów posługiwano się nie uzupełnioną serią obserwacji. Ponieważ w ciągu badanych 50 lat nie zdarzył się przypadek wystąpienia burzy dnia 29 lutego, w opracowaniu rocznego rozkładu liczby dni z burzą przyjęto, że rok ma 365 dni.

Bywało również i tak, że obserwator zapisał burzę, nie podając dokładnego czasu jej początku i końca, ale użył symbolu oznaczającego określoną część doby. W takich przypadkach burzę zaliczano do dnia, przy którym widniał dany symbol.

Badając występowanie burz w Polsce, analizie poddano:

- przestrzenny rozkład liczby dni z burzą w całym badanym wieloleciu, a także jego zmienność w poszczególnych pięcioleciach i latach,
- wieloletnią zmienność dni burzowych na poszczególnych stacjach,
- typy sytuacji synoptycznych, podczas których notowano występowanie burz,
- związek pomiędzy występowaniem dni burzowych a przechodzeniem nad Polską frontów atmosferycznych.

Pierwszą część pracy poświęcono przestrzennemu i wieloletniemu zróżnicowaniu występowania dni burzowych. Analizie poddano zarówno roczną, jak i sezonową liczbę dni z burzą, używając w tym celu standardowych narzędzi statystycznych.

W drugiej części dotyczącej wpływu sytuacji synoptycznych na występowanie burz każdemu dniowi z burzą przypisano odpowiedni typ sytuacji synoptycznej pochodzący z katalogu cyrkulacji atmosferycznej. Do tego celu wykorzystano katalog typów cyrkulacji B. OSUCHOWSKIEJ-KLEIN (1978, 1991, 1998), który wybrano ze względu na jego reprezentatywność dla stacji w całym kraju. Obejmuje on 14 typów cyrkulacji, do których dodatkowo dopisuje się jeden z trzech stopni podobieństwa do typu wzorcowego. Jednak na potrzeby tego studium przyjęto tylko 14 podstawowych typów bez względu na stopień ich podobieństwa do wzorca.

Typy cyrkulacji atmosferycznej według B. OSUCHOWSKIEJ-KLEIN (1978):

- A – zachodnia cyrkulacja cyklonalna,
- CB – północno-zachodnia cyrkulacja cyklonalna,
- D – południowo-zachodnia cyrkulacja cyklonalna,
- B – południowa cyrkulacja cyklonalna,
- F – południowo-wschodnia cyrkulacja cyklonalna,
- C₂D – zachodnia cyrkulacja antycyklonalna,
- D₂C – południowo-zachodnia i południowa cyrkulacja antycyklonalna,
- G – centralna cyrkulacja antycyklonalna,
- E₂C – północno-zachodnia cyrkulacja antycyklonalna,
- E₀ – północno-wschodnia i wschodnia cyrkulacja cyklonalna,
- E – północno-wschodnia cyrkulacja antycyklonalna,
- E₁ – południowo-wschodnia i wschodnia cyrkulacja antycyklonalna,
- BE – południowa cyrkulacja pośrednia pomiędzy cyrkulacją cyklonalną i antycyklonalną,
- X – cyrkulacja nie sklasyfikowana.

Zaprezentowany katalog sytuacji synoptycznych zalicza się do klasyfikacji subiektywnych, czyli opartych na ocenie autora. Za podstawę tej klasyfikacji przyjęto wydzielenie wzorcowych typów cyrkulacji z położen głównych ośrodków barycznych w Europie, warunkujących określony kierunek napływu mas powietrza nad Polskę oraz dużą powtarzalność danego typu cyrkulacji, która pozwala uznać ją za istotny element cyrkulacji w naszym regionie. W wyniku zastosowania takich kryteriów powstał katalog, który nie uwzględnia pojawiania się nad Polską pewnych sytuacji synoptycznych, np. północnej cyrkulacji cyklonalnej lub antycyklonalnej. Ponadto niektóre typy cyrkulacji łączą w sobie adwekcję mas powietrza z kilku kierunków. Jednak ze względu na to, że katalog reprezentuje sytuacje obejmujące swym zasięgiem cały obszar Polski, a także ze względu na jego powszechne wykorzystywanie w opracowaniach klimatologicznych (co pozwala na porównywanie wyników), zdecydowano się na jego użycie w niniejszej pracy. Dodatkowym argumentem przemawiającym za zastosowaniem opisywanej klasyfikacji sytuacji synoptycznych jest niewielka liczebność typów cyrkulacji, co umożliwi osiągnięcie wyników istotnych statystycznie.

Zbadano również związek pomiędzy liczbą dni burzowych a przechodzącymi frontami. W tym celu sprawdzono, czy w dniu, w którym wystąpiła burza, nad

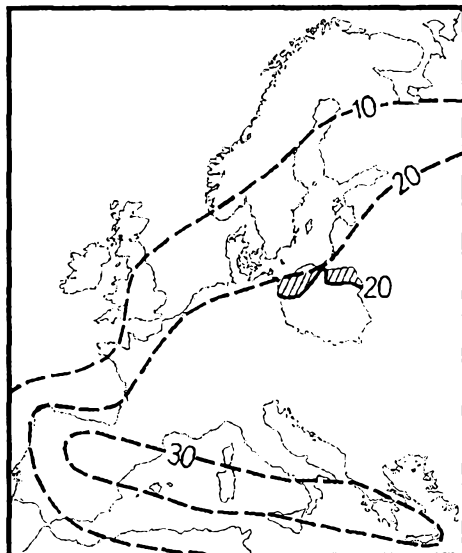
Polską przechodził front atmosferyczny. Aby ten dzień zaklasyfikować do grupy dni z frontem, dokonano analizy map synoptycznych z godziny 00 UTC i z godziny 12 UTC (z lat 1980–1981 tylko z godziny 00 UTC). Jeżeli na jednej z map widniał front atmosferyczny przechodzący nad Polską, dzień ów uznawano za dzień z frontem. Jednak czasem fronty przemieszczały się tak szybko, że tylko analiza kolejnych map synoptycznych pozwalała na stwierdzenie jego przejścia nad krajem. Zdarzały się również takie dni, w których stwierdzano istnienie frontu stacjonarnego, którego linia na pewnym tylko odcinku „zahaczała” o granice kraju. W takim przypadku dzień ten także zaliczano do dni z frontem, gdyż w rzeczywistości strefa frontalna rozciąga się nad dość rozległym obszarem. Klasyfikując dni ze względu na przemieszczanie się frontów, nie uwzględniano podziału na front ciepły lub chłodny i wszystkie, w tym i okluzje, zliczano w ten sam sposób.

1.2. Ogólna charakterystyka przestrzennego występowania burz na świecie, w Europie i w Polsce

Rozkład liczby burz występujących na świecie, podobnie jak innych elementów meteorologicznych, zależy od takich czynników, jak szerokość geograficzna, rozkład lądów i oceanów, odległość od zbiorników wodnych itp. Jednocześnie jest dobrym wskaźnikiem odzwierciedlającym istnienie warunków sprzyjających występowaniu silnych prądów konwekcyjnych, rozbudowanych chmur *Cumulonimbus* (*Cb*) oraz pojawianiu się zjawisk niebezpiecznych: wyładowań elektrycznych, nawałnych deszczy, opadów gradu czy silnych wiatrów. Według materiałów WMO najwięcej burz (od 60 dni do ponad 180 dni z burzą rocznie) pojawia się nad lądami w strefie międzyzwrotnikowej, gdzie wysokie wartości temperatury i wilgotności powietrza są podstawą rozwoju silnych prądów wstępujących, w wyniku których powstają rozbudowane chmury burzowe o wysokości kilkunastu lub nawet więcej kilometrów (KACZOROWSKA, 1986). Granice tego rejonu burzowego oraz zmiana liczby burz w ciągu roku są związane z przemieszczaniem się Międzyzwrotnikowej Strefy Zbieżności (MSZ). Wynikiem zmiany jej położenia jest pobudzenie cyrkulacji o składowej południkowej, co prowadzi do adwekcji, a następnie wymieszania się mas powietrza o odmiennych cechach fizycznych i bardzo silnego rozwoju konwekcji (MOLINIE, PONTIKIS, 1995). Na północ lub południe od opisanej strefy liczba burz maleje, aż do sporadycznych przypadków wystąpienia ich w strefach polarnych. W strefie zwrotnikowej występowanie burz jest ograniczone z powodu istnienia inwersji pasatowej, natomiast w szerokościach umiarkowanych rozwój chmur burzowych ograniczają niższe wartości temperatury, a burze towarzyszą zwykle aktywnym frontom atmosferycznym

albo, w cieplej porze roku, rozwijają się jako burze wewnątrzmasowe (CROWE, 1987; MARTYN, 1987).

W Europie, w porównaniu z obszarami leżącymi w niższych szerokościach geograficznych, roczna liczba dni z burzą jest stosunkowo niewielka. Najwięcej, bo ponad 30 takich dni notuje się na południu kontynentu (ryc. 2). Wpływ na to



Ryc. 2. Roczna liczba dni z burzą w Europie (STOPA, 1962)

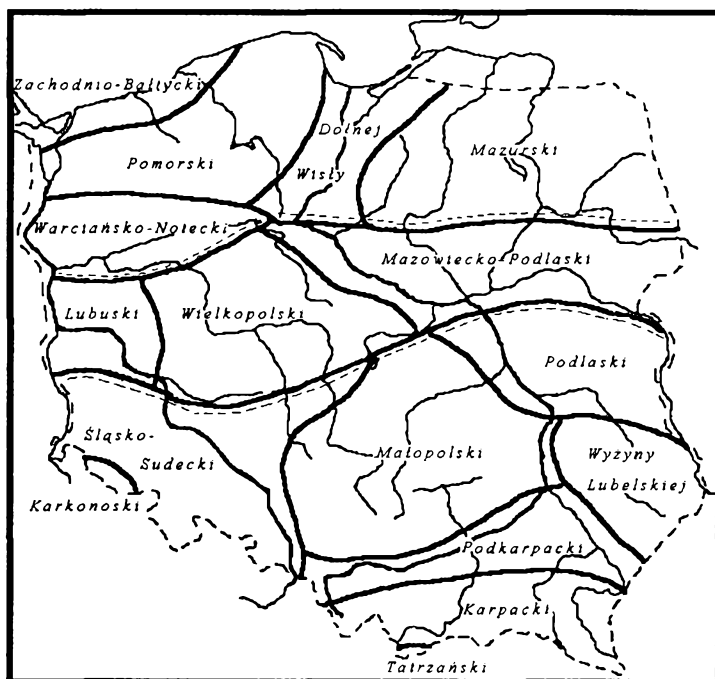
Fig. 2. Annual number of days with thunderstorm in Europe (STOPA, 1962)

mają wyższe wartości temperatury, oddziaływanie Morza Śródziemnego, orografia i znacznie częstszy niż w pozostałej części Europy napływ mas powietrza zwrotnikowego. We wnętrzu kontynentu średnio w roku występuje około 20 dni z burzą i liczba ich maleje wraz z przesuwaniem się ku północy i wybrzeżom zachodnim, gdzie notuje się kilka dni burzowych rocznie. W przebiegu rocznym maksimum liczby dni z burzą zmienia się wraz ze zmianą stopnia kontynentalizmu. W strefie śródziemnomorskiej i na wybrzeżach Europy Zachodniej najwięcej burz występuje jesienią i zimą, w Europie Środkowej i Wschodniej zaś maksymalne liczby dni burzowych obserwuje się latem.

W Polsce średnia liczba dni burzowych w ostatnich 50 latach wynosiła 24 dni (BIELEC, 1999). Jej rozkład przestrzenny wykazuje jednak duże zróżnicowanie (od 15 dni na północnym zachodzie do 33 dni na południowym wschodzie kraju) świadczące o silnym wpływie zarówno warunków cyrkulacyjnych, jak i oddziaływania warunków lokalnych. Zmienność tę dobrze ilustruje porównanie

opracowań liczby dni burzowych w Polsce z różnych okresów obserwacyjnych sporządzonych przez kilku autorów (*Atlas klimatyczny Polski*, 1973; *Narodowy atlas Polski*, 1973–1978; *Atlas środowiska geograficznego Polski*, 1994).

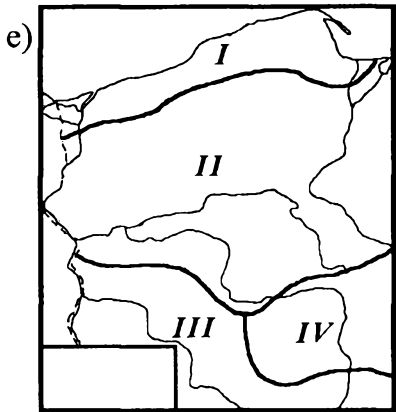
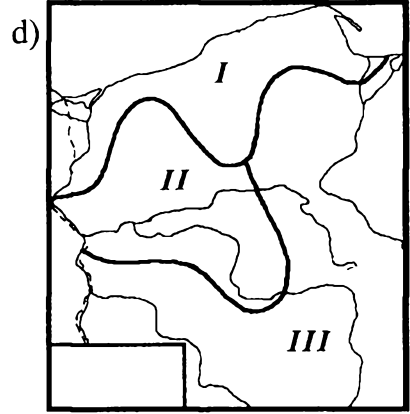
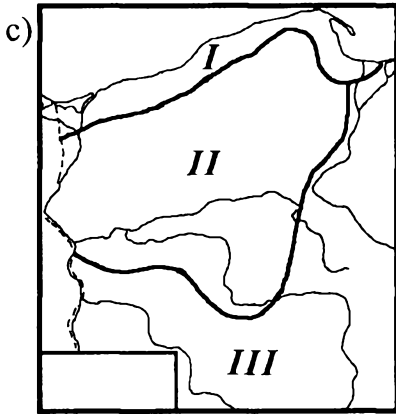
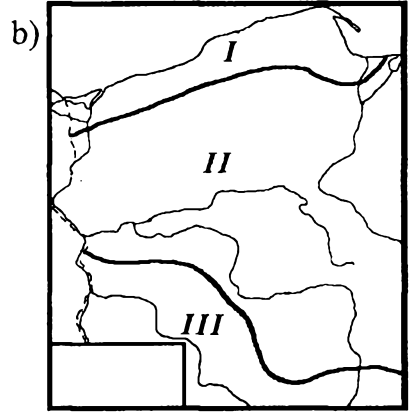
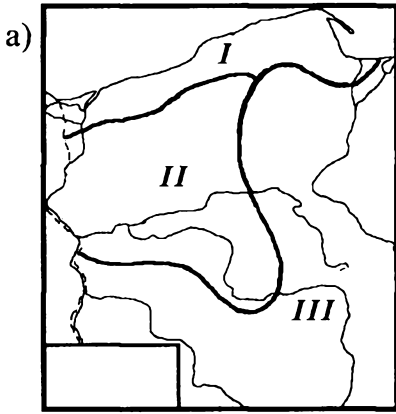
Pomimo różnic w liczbie burz występujących w poszczególnych latach niektórzy autorzy podjęli próbę podziału kraju na regiony burzowe. I tak M. STOPA (1965) na podstawie kilku wskaźników charakteryzujących występowanie burz wydzieliła w Polsce trzy strefy i szesnaście regionów burzowych (ryc. 3). Poszczególne strefy i regiony różnią się przede wszystkim:



Ryc. 3. Podział Polski na regiony burzowe (STOPA, 1965)

Fig. 3. Thunderstorm's regions (STOPA, 1965)

- liczbą dni burzowych i burz (najmniej ich występuje na północy kraju i liczba ta wzrasta ku południowi),
- datami występowania najwcześniejszych i najpóźniejszych burz (zwykle wcześniej pojawiają się one na zachodzie kraju i tam też najwcześniej zanikają),
- przebiegiem dobowym, który jest bardzo zróżnicowany nawet w obrębie regionu,
- stosunkiem liczby burz gradowych do ogólnej liczby burz, który jest większy we wschodniej części Polski (>20‰), a największe wartości osiąga w górach (>60‰).



Ryc. 4. Regiony burzowe wyznaczone na podstawie a) liczby dni z burzą w pentadach oraz prawdopodobieństwa pojawiania się dni z burzą przy: b) określonych kierunkach napływu powietrza, c) cyklonalnych typach cyrkulacji, d) pośrednich typach cyrkulacji i e) antycyklonalnych typach cyrkulacji w roku średnim w latach 1951–1990 (KOLENDOWICZ, 1996)

Fig. 4. Thunderstorm's regions distinguished on the ground of

a) number of days with thunderstorm in five-day-periods of a year and probability value of stormy days occurrence during: b) particular air-flow-directions, c) cyclonic atmospheric circulation types, d) intermediate atmospheric circulation types and e) anticyclonic atmospheric circulation types in a mean year in the period 1951–1990 (KOLENDOWICZ, 1996)

Inne podejście zaprezentował L. KOLENDOWICZ (1996), dokonując podziału ze względu na występowanie burz w północno-zachodniej Polsce. Podstawą dokonanej regionalizacji był:

- roczny przebieg dni z burzą, dzięki któremu wyróżniono trzy regiony o określonym typie przebiegu,
- prawdopodobieństwo pojawienia się dni burzowych w poszczególnych typach cyrkulacji atmosfery dzielące badany obszar na cztery regiony,
- prawdopodobieństwo pojawienia się dni burzowych w czasie dni z określonymi kierunkami napływu powietrza, na podstawie którego wyróżniono trzy regiony (ryc. 4).

Porównanie wszystkich przedstawionych podziałów skłoniło autora do sformułowania hipotezy o występowaniu silnej odrębności regionalnej, której podstawą jest zależność występowania dni burzowych od określonych typów cyrkulacji atmosferycznej i kierunków adwekcji mas powietrza.

Warunki synoptyczne sprzyjające występowaniu burz w Polsce

Poza celem poznawczym badanie występowania burz ma charakter użyteczny, służąc przede wszystkim znalezieniu metody pozwalającej na jak najlepszą prognozę powstania burzy. W Polsce niewielu autorów próbowało określać warunki meteorologiczne sprzyjające występowaniu burz. Jednak na podstawie istniejących prac można podać podstawowe charakterystyki warunków synoptycznych, które sprzyjają wystąpieniu burzy.

Najważniejsze znaczenie w powstawaniu burz mają temperatura i wilgotność powietrza. Z dotychczasowych badań wynika, że w Polsce burze najczęściej występują wtedy, kiedy średnia dobową temperatura powietrza waha się od 15°C do 20°C, a ciśnienie pary wodnej od 15 hPa do 20 hPa (KOLENDOWICZ, 1998). Zauważono ponadto, że wraz ze wzrostem wartości obu elementów o wystąpieniu burzy w temperaturze poniżej 20°C decyduje wilgotność powietrza, natomiast powyżej tej wartości rola wilgotności jest drugorzędna (STOPA, 1962). Wartości tych dwóch elementów uznano za fundament do opracowania statystycznych modeli prognozowania wystąpienia burz wewnątrzmasowych i związanych z frontami atmosferycznymi przechodzącymi nad Polską. Do tego celu wykorzystano wskaźnik chwiejności (ΔT) i wilgotności powietrza (W) (LITYŃSKA i in., 1970, 1971):

$$\Delta T = (T - T')_{500} \quad \text{ i } \quad W = (T - T_d)_{850} + (T - T_d)_{700} + (T - T_d)_{500},$$

gdzie:

T – temperatura na krzywej stratyfikacji,

T' – temperatura na krzywej stanu,

T_d – temperatura punktu rosy.

W rezultacie wyróżniono trzy strefy występowania burzy, określone przez wymienione wskaźniki (tab. 1).

Statystyczny model prognozy burz nad Polską (LITYŃSKA i in., 1970, 1971)

Tabela 1

Statistic model of thunderstorm forecast for Poland (LITYŃSKA et al., 1970, 1971)

Table 1

Rodzaj prognozy	Burze frontalne		Burze wewnątrzmasowe
	03–12 UTC	12–24 UTC	
Prognoza burz	$(T-T)_{500} < -1^\circ$	$(T-T)_{500} < +1^\circ$	$\Delta T < -1^\circ, W < 20^\circ$
Prognoza możliwości burz	$-1^\circ \leq (T-T)_{500} \leq +6^\circ$	$+1^\circ \leq (T-T)_{500} \leq +7^\circ$	$-1^\circ \leq \Delta T \leq +1^\circ, W \leq 30^\circ$ i $\Delta T < -1^\circ, 20^\circ \leq W \leq 30^\circ$
Prognoza braku burz	$(T-T)_{500} > +6^\circ$	$(T-T)_{500} > +7^\circ$	$\Delta T > +1^\circ$ dla dowolnej wartości W i $W > 30^\circ$ dla dowolnej wartości ΔT

Badając masy powietrza, w których pojawiały się burze, stwierdzono, że najczęściej burze występują w masach powietrza polarnomorskiego (około 60–75% dni burzowych w zależności od okresu i obszaru obserwacji), a następnie w powietrzu zwrotnikowym (około 4–14%) i powietrzu polarnokontynentalnym (około 9–30% dni). W masach powietrza arktycznego burze pojawiają się niezwykle rzadko, stanowiąc jedynie ponad 1% wszystkich przypadków (KOLENDOWICZ, 1998; MICHAŁOWSKI, 1962). Należy jednak pamiętać, że powietrze polarnomorskie napływa nad obszar Polski najczęściej (około 65% przypadków), natomiast pozostałe masy powietrza (polarnokontynentalne, arktyczne i zwrotnikowe) dużo rzadziej. Częstość ich występowania wynosi odpowiednio około 29%, 4% i 2% (WOŚ, 1997 za: BOŁASZEWSKA, REUTT, 1962). Biorąc pod uwagę wskaźnik aktywności burzowej w określonej masie powietrza, który wyraża stosunek liczby burz do liczby dni z daną masą powietrza, stwierdzono, że warunki najbardziej sprzyjające do rozwoju burz występują w powietrzu polarnomorskim starym i polarnokontynentalnym (STOPA, 1962; WRÓBEL, 1985).

Analizie poddano także występowanie burz związanych zarówno z frontami atmosferycznymi, jak i powstającymi w jednorodnej masie powietrza. Okazało się, że w Polsce ponad dwie trzecie burz to burze frontalne, z których 75% stanowią burze frontu chłodnego. Stosunek burz frontalnych do wewnątrzmasowych jest różny w poszczególnych miesiącach i latach, i zależy od warunków pogodowych występujących w danym okresie (KOLENDOWICZ, 1998; MICHAŁOWSKI, 1962). Wśród burz wewnątrzmasowych najczęściej (około 50%) spotyka się burze powstałe w masie powietrza polarnomorskiego starego, a niespełna 25% występuje w powietrzu polarnokontynentalnym (WRÓBEL, 1985).

Badając występowanie burz, nie można pominąć analizy typów cyrkulacji atmosferycznej, którym towarzyszą. Jednak w zależności od badanego okresu,

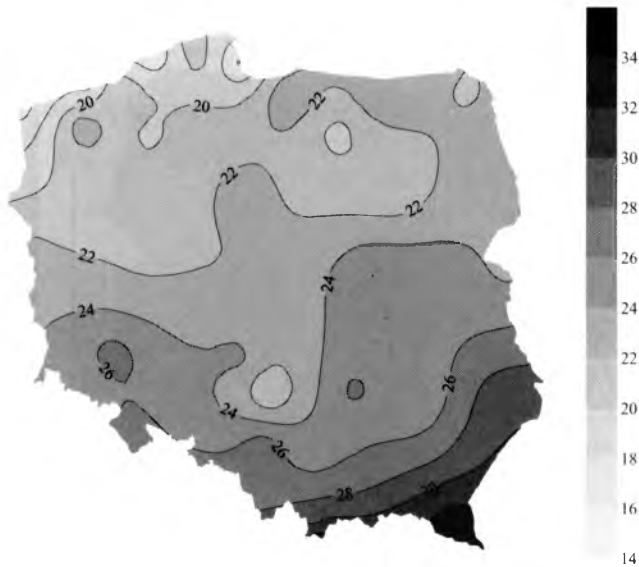
przyjętej klasyfikacji oraz od położenia stacji uzyskuje się różne wyniki i trudno wyciągnąć jednoznaczne wnioski. Najczęściej burze występują podczas sytuacji cyklonalnych, co w dużej mierze jest związane z przechodzeniem frontów atmosferycznych, a często występują podczas napływu powietrza z południa, północnego zachodu oraz występowania bruzdy cyklonalnej. Najrzadziej powstają wówczas, gdy nad obszarem Polski zalega ośrodek podwyższonego ciśnienia (KOLENDOWICZ, 1994, 1996; BIELEC, 1999).

2. Przestrzenna zmienność występowania liczby dni z burzą w Polsce

2.1. Roczna liczba dni z burzą

W rozdziale 1.2 pokrótce przedstawiono liczbę dni burzowych w Polsce na tle Europy i świata. Już z własnego doświadczenia wiemy, że w kraju liczba dni burzowych jest niewielka, zmienia się z roku na rok i większość burz jest notowana w cieplej połowie roku. Spostrzeżenia te potwierdzają opracowania naukowe oparte na obserwacjach meteorologicznych.

Analiza, jakiej dokonano na podstawie liczby dni burzowych pochodzących z 56 stacji znajdujących się na terenie całej Polski (z lat 1949–1998), wykazała, że średnio na polskich stacjach meteorologicznych notuje się około 24 dni burzowych w roku, ale w zależności od regionu, w którym leży stacja, liczba ta może się wahać od 15 dni do 33 dni rocznie. Rozkład przestrzenny rocznej liczby dni z burzą w Polsce uzyskany na podstawie ostatnich pięćdziesięciu lat (1949–1998) ukazuje ryc. 5. Jak można zauważyć, roczna liczba dni burzowych wzrasta z północnego zachodu na południowy wschód. Na wybrzeżu rocznie notuje się około 15–20 dni z burzą, na pojezierzach i w Wielkopolsce wartości te wzrastają do 24 dni burzowych, aby na południu i południowym wschodzie osiągnąć od 26 dni do 30 dni w roku. Jedynie w Tatrach i w najbardziej na południowy wschód wysuniętych regionach kraju rocznie notuje się więcej niż 30 dni z burzą, co oznacza, że dzień z burzą zdarza się tam dwa razy częściej niż nad morzem. Stacjami, na których dni burzowe notuje się najrzadziej, są Szczecin – 15,2 dnia burzowego w roku, Gdańsk – 15,4 dnia i Ustka – 16,3 dnia. Najczęściej natomiast wystąpienia burzy można się spodziewać na Kasprowym Wierchu – 33,0 dni z burzą, w Lesku – 32,8, Zakopanem – 30,5, Przemyślu – 30,4 i Zamościu – 29,3 dnia. Liczba dni z burzą na pozostałych stacjach zwykle waha się od 20 do 24 (dotyczy to



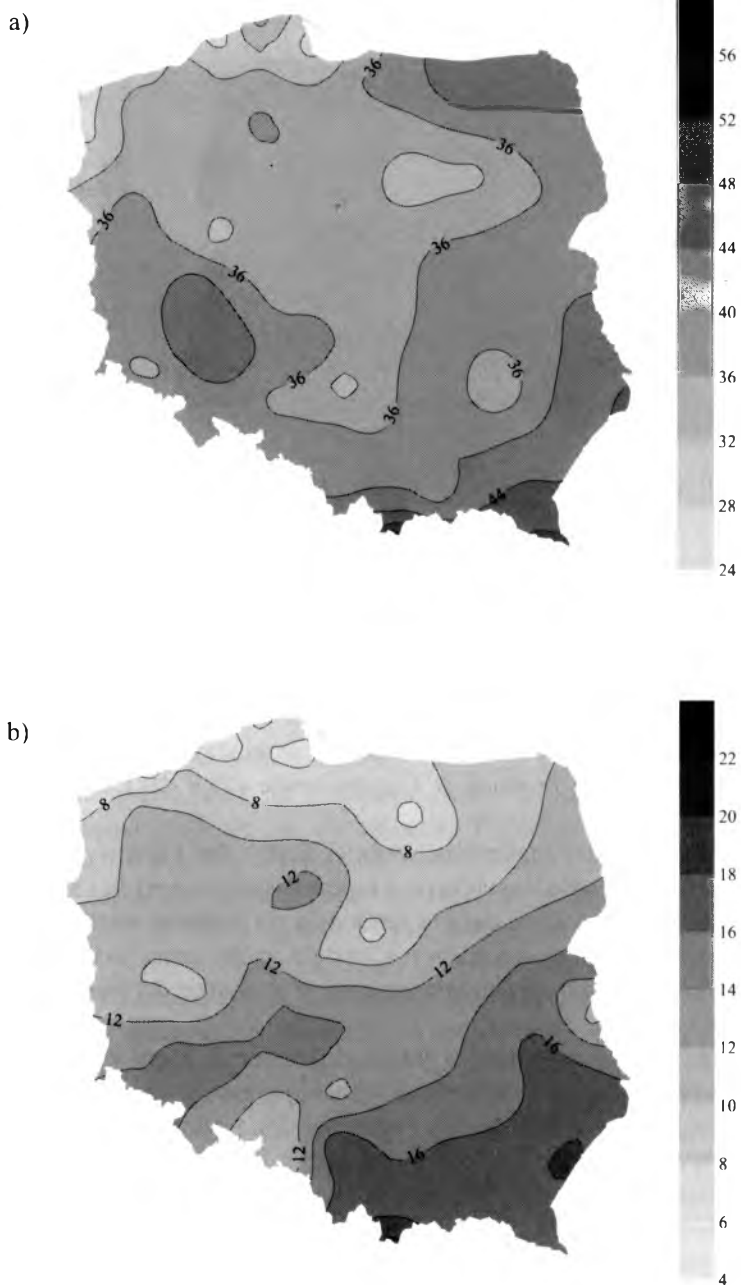
Ryc. 5. Średnia roczna liczba dni z burzą w Polsce w latach 1949–1998

Fig. 5. The average annual number of days with thunderstorm in Poland in the period 1949–1998

27 stacji – 48,2% wszystkich stacji) i została przedstawiona w tab. 2. Wątpliwości budzą jednak dane ze stacji w Częstochowie (19,9 dni), które wydają się zaniżone.

Z opisanym wcześniej rozkładem średniej liczby dni burzowych porównano przestrzenne zróżnicowanie największej i najmniejszej rocznej liczby dni z burzą (ryc. 6). Jak można zauważyć, ogólna tendencja do wzrostu wartości wymienionych wskaźników z północy na południe została zachowana, jednak zarysowały się pewne różnice w rozkładzie przestrzennym w stosunku do średniej liczby dni burzowych.

W badanym okresie najmniejsza liczba dni z burzą, którą notowano na ujętych w opracowaniu stacjach najczęściej wahała się od 10 dni do 14 dni w roku (22 stacje – 39,3% wszystkich stacji). Najmniej dni z burzą w ciągu roku występowało na wybrzeżu Bałtyku i w północnej części Pojezierza Mazurskiego, gdzie najmniejsza roczna liczba dni burzowych nie przekraczała 10. Najmniej burz w tym regionie wystąpiło w 1976 roku w Ustce – były to tylko 4 dni. Niewiele więcej, bo 5 dni burzowych zanotowano również w Kołobrzegu (w 1976 roku), w Gdańsku (w 1977 roku) i w Olsztynie (w 1951 roku). Im bardziej na południu kraju znajduje się stacja, tym wyższe są wartości analizowanego wskaźnika, które w dorzeczu górnej Wisły i na Wyżynie Lubelskiej przekraczają 16 dni w roku, czyli więcej niż średnio w roku notuje się na północy Polski. Stacjami, na



Ryc. 6. Największa (a) i najmniejsza (b) roczna liczba dni z burzą w Polsce w latach 1949–1998

Fig. 6. The largest (a) and the smallest (b) annual number of days with thunderstorm in Poland in the period 1949–1998

Tabela 2

Roczna liczba dni z burzą na stacjach meteorologicznych w Polsce w latach 1949–1998

Table 2

**Annual number of days with thunderstorm at meteorological stations in Poland
in the period 1949–1998**

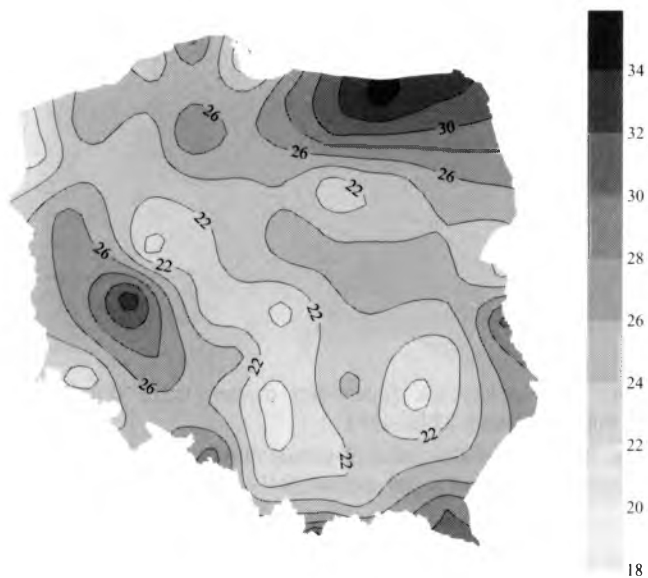
Stacja	Średnia	Maksymalna	Prawdopodobieństwo przewyższenia					Minimalna	Współczynnik zmienności [%]
			10%	25%	50%	75%	90%		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kołobrzeg	17,6	30	26	20	17	14	11	5	32,3
Koszalin	22,2	35	31	28	22	17	13	9	30,1
Ustka	16,3	26	23	20	16	13	10	4	29,8
Łeba	21,2	38	30	25	21	16	13	9	30,8
Lębork	20,5	32	28	24	21	17	14	6	27,9
Hel	17,8	27	24	22	18	14	11	8	27,3
Gdańsk	15,4	26	23	19	15	11	9	5	33,8
Elbląg	23,8	36	33	28	24	19	15	8	29,0
Kętrzyn	23,8	44	30	27	24	20	18	9	24,9
Suwałki	21,8	42	27	25	22	19	15	10	26,4
Świnoujście	15,2	26	22	19	15	12	9	7	32,0
Szczecin	18,8	28	25	23	19	16	13	9	25,5
Resko	23,1	36	31	28	23	19	15	11	26,8
Szczecinek	19,4	32	27	24	19	16	13	10	27,3
Chojnice	20,9	37	31	24	20	17	14	9	30,4
Toruń	22,7	36	29	26	22	19	18	13	22,9
Mława	21,0	30	28	23	21	18	15	10	21,9
Olsztyn	19,2	36	28	22	19	14	12	5	34,2
Ostrołęka	20,1	31	26	23	20	17	15	9	22,9
Białystok	23,6	37	33	28	24	18	15	11	27,8
Gorzów Wielkopolski	20,5	37	26	24	20	17	13	10	26,2
Ślubice	22,9	36	28	27	23	20	16	11	22,5
Poznań	21,1	31	28	24	21	17	15	12	23,1
Koło	22,1	33	29	26	23	18	14	10	25,9
Płock	22,3	33	29	25	22	19	16	7	22,5
Warszawa	26,1	38	31	29	27	22	20	12	20,5
Siedlce	25,2	39	33	29	25	22	17	14	24,3
Terespol	23,6	36	31	27	23	20	16	15	23,7
Zielona Góra	23,2	37	32	27	23	19	17	10	25,3
Legnica	27,2	41	35	31	27	22	20	15	21,8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Leszno	23,0	43	32	27	22	18	15	9	30,6
Wrocław	24,8	43	30	28	25	21	19	15	19,6
Kalisz	22,7	34	29	26	22	19	17	14	22,0
Wieluń	24,6	40	32	28	24	21	18	15	22,4
Łódź	22,3	33	28	25	22	20	18	14	18,3
Lublin	26,0	38	32	29	26	22	19	17	19,2
Włodawa	25,7	42	35	30	26	22	16	11	26,8
Jelenia Góra	24,0	34	30	27	23	21	19	14	18,7
Śnieżka	25,1	39	32	28	24	22	19	16	21,2
Kłodzko	26,4	37	33	31	27	23	20	13	20,6
Opole	24,2	36	30	28	24	21	19	11	21,8
Racibórz	26,4	39	33	29	26	23	21	16	17,9
Częstochowa	19,9	30	26	22	20	17	15	11	21,2
Katowice	27,3	38	33	31	27	24	20	18	18,6
Kraków	25,2	37	32	29	24	21	20	16	21,9
Kielce	26,4	39	34	31	26	23	19	14	21,5
Tarnów	26,5	40	32	29	26	23	21	17	19,8
Rzeszów	27,4	41	33	31	28	24	21	18	17,5
Sandomierz	24,0	33	30	28	24	20	18	14	19,6
Zamość	29,3	43	37	33	29	26	24	18	18,9
Aleksandrowice	26,2	37	33	30	26	21	19	16	22,9
Zakopane	30,5	47	39	34	30	26	24	19	20,4
Kasprowy Wierch	33,0	54	41	36	33	28	24	21	21,0
Nowy Sącz	28,8	38	35	31	30	25	22	18	16,6
Lesko	32,8	47	41	37	31	29	27	23	17,3
Przemyśl	30,4	43	37	33	30	28	26	18	16,2
Średnio w Polsce	23,6	31,3	28	25	23	21	20	17,5	12,4

których nawet w najmniej „burzowym” roku występuje ponad 20 dni z burzą, jest Kasprowy Wierch i Lesko, gdzie najmniej takich dni zanotowano odpowiednio: 21 dni w 1984 roku i 23 dni w 1968 roku.

Analizując największe, roczne liczby dni z burzą w Polsce stwierdzono, że na 37 stacjach (66,1% stacji) najczęściej liczba ta należała do przedziału od 30 dni do 39 dni burzowych w roku (ryc. 6a). W latach, w których na danej stacji lub w regionie notowano najwięcej opisywanych dni, liczba ta przewyższała średnią roczną o 30% do 40% (36 stacji), a w Suwałkach, Lesznie i Olsztynie była pra-

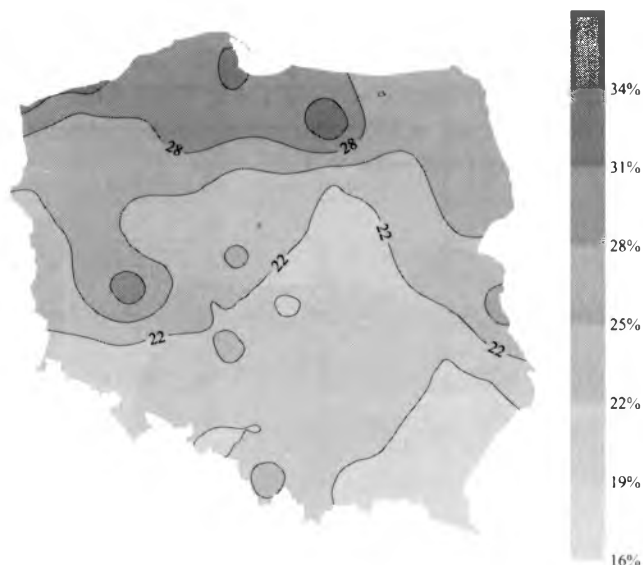
wie dwa razy większa (odpowiednio: 48%, 47% i 47%). W północno-zachodniej części kraju największe roczne liczby dni z burzą wahały się od 26 dni (w Uście, Gdańsku i Szczecinie odpowiednio: w 1963 roku, 1963 roku i w 1964 roku) do 32 dni i ich wartości wzrastały w kierunku południowo-wschodnim, osiągając na Kasprowym Wierchu 54 dni burzowe w 1963 roku.



Ryc. 7. Zakres zmienności rocznej liczby dni z burzą w Polsce w latach 1949–1998

Fig. 7. The range of variability of annual number of days with thunderstorm in Poland in the period 1949–1998

Porównując rozkład przestrzenny największej i najmniejszej liczby dni z burzą, otrzymano zakres zmienności rocznej liczby dni burzowych na określonych stacjach (ryc. 7). Na jego podstawie stwierdzono, że największe zmiany rocznej liczby dni z burzą (od 26 dni do 34 dni) zachodziły na Pojezierzu Mazurskim, Polesiu Lubelskim, w Karpatach oraz w regionach górnego i środkowego biegu Odry. Natomiast mniej niż 22 dni różnicy pomiędzy największą i najmniejszą roczną liczbą dni burzowych notowano przede wszystkim na Nizinie Szczecińskiej, w dorzeczu Warty i w pasie Wyżyn. Wyniki te stały się podstawą do szukania odpowiedzi na pytanie, czy duży zakres zmienności rocznej liczby dni z burzą oznacza jednocześnie jej dużą zmienność wieloletnią. Rezultatem przeprowadzonej analizy jest ryc. 8, przedstawiająca przestrzenny rozkład współczynnika zmienności rocznej liczby dni burzowych. Jak łatwo zauważyć, istnieje dość wyraźna dwudzielność obszaru Polski na regiony leżące na północ od około 52°N, które charakteryzują się wartościami współczynnika powyżej 24%



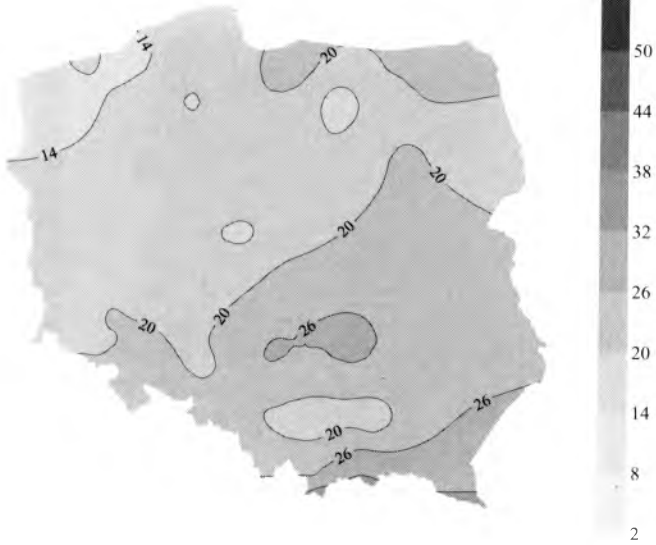
Ryc. 8. Współczynnik zmienności rocznej liczby dni z burzą w Polsce w latach 1949–1998

Fig. 8. The variability index of annual number of days with thunderstorm in Poland in the period 1949–1998

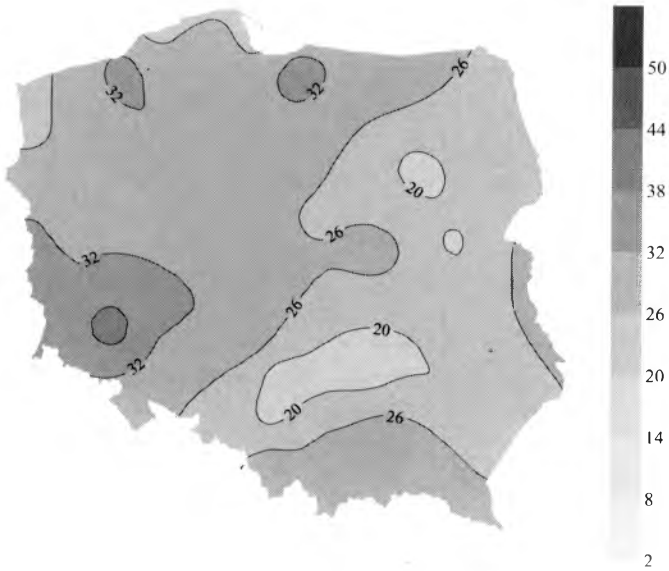
(wyjątek stanowi Nizina Mazowiecka), oraz terenami na południu Polski i na Nizinie Mazowieckiej, gdzie współczynnik zmienności osiąga wartości od 16% do 24%. Oznacza to, że mimo iż na północy kraju średnio notuje się najmniej dni z burzą, to ich zmienność jest największa, a w południowo-wschodniej Polsce, gdzie w ciągu roku dni takich jest najwięcej, ich liczba z roku na rok zmienia się znacznie mniej.

Przedstawione wyżej przestrzenne zróżnicowanie rocznej liczby dni z burzą pozwala na wskazanie regionów w Polsce, w których prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z burzą jest większe (lub mniejsze) niż gdzie indziej. Niemniej jednak w poszczególnych latach rozkład omawianego wskaźnika znacznie się różni od średniego rozkładu z wielolecia. Na ryc. 9 przedstawiono roczną liczbę dni z burzą dla ośmiu wybranych lat, w tym dla roku 1963, w którym średnia liczba dni burzowych w Polsce była największa – 31,3 dnia, oraz dla roku 1976 ze średnią najmniejszą – 17,5 dnia. Zamieszczone przykłady dobrze oddają dużą zmienność liczby dni burzowych w zależności od warunków meteorologicznych, jakie w danym roku występowały. Przykładem mogą być lata 1958 i 1965, w których na Wyżynie Śląskiej i na Wyżynie Krakowsko-Częstochowskiej wartości omawianego wskaźnika zaliczały się do najniższych w kraju i wynosiły od 12 dni do 20 dni, chociaż średnio notuje się tam około 24–26 dni z burzą w roku. Natomiast w 1963 roku tylko na północno-zachodnich terenach Polski liczba dni

1954

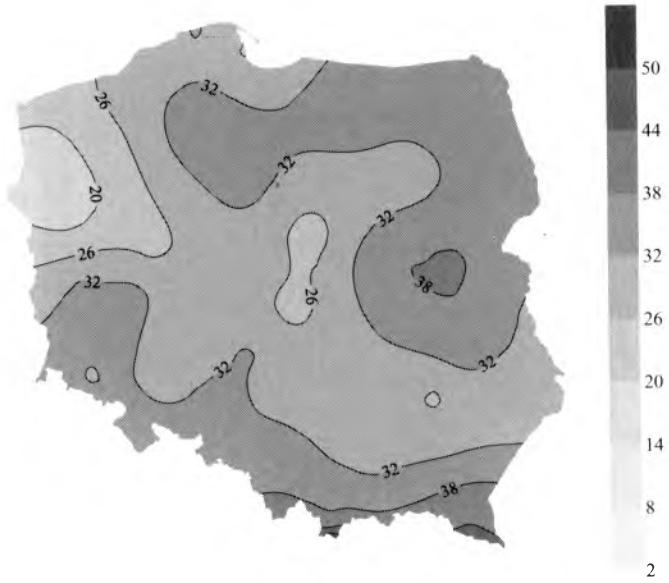


1958

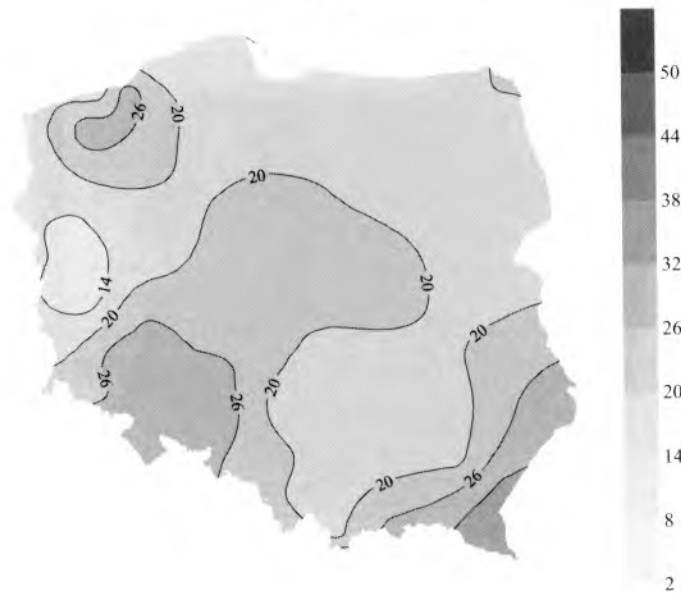


Ryc. 9.
Fig. 9.

1963



1965

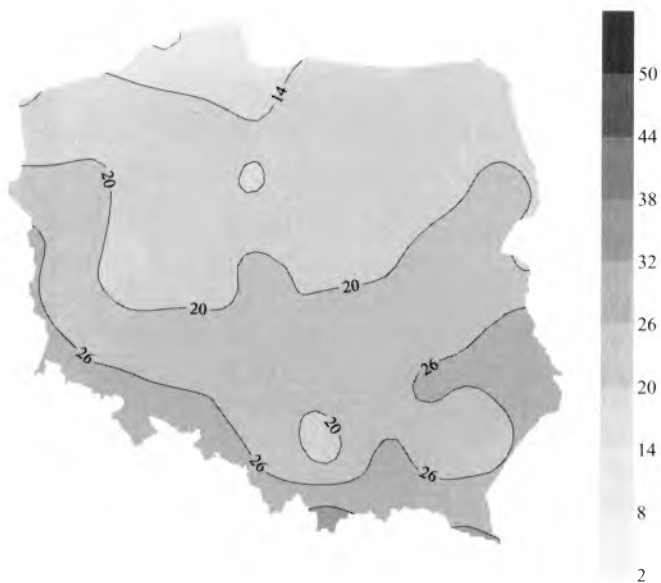


Ryc. 9.
Fig. 9.

1976

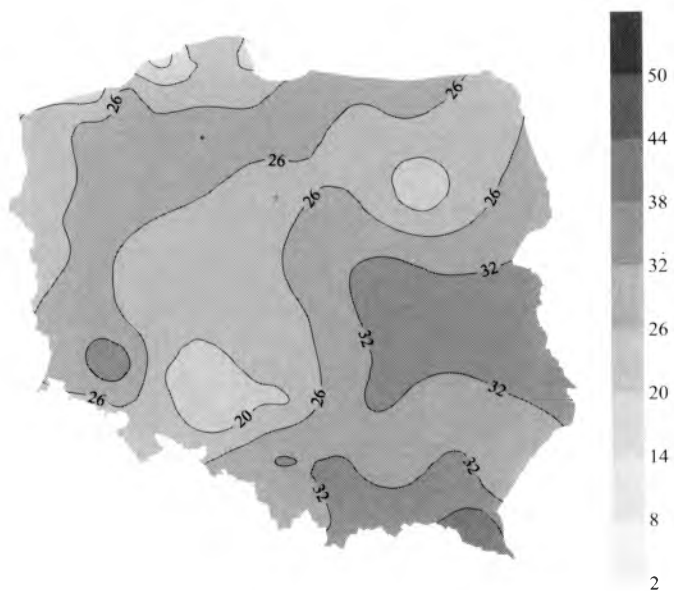


1982

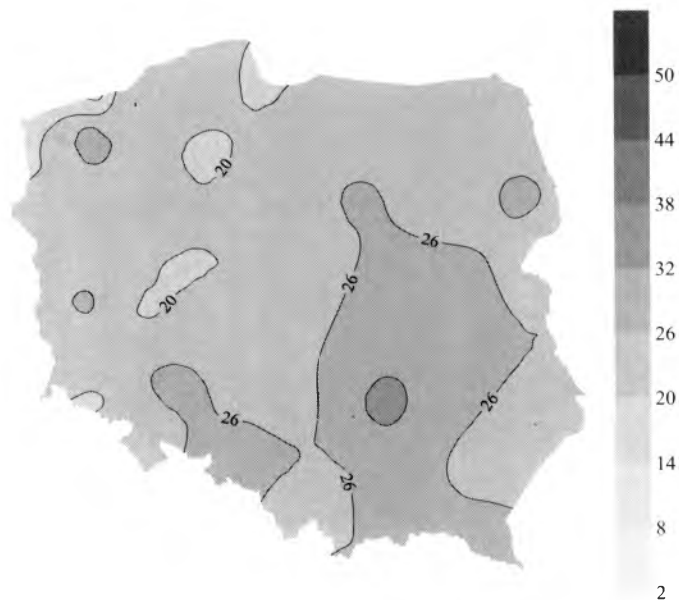


Ryc. 9.
Fig. 9.

1997



1998



Ryc. 9. Liczba dni z burzą w wybranych latach w Polsce

Fig. 9. The number of days with thunderstorm in selected years in Poland

burzowych była niższa niż 20, gdy tymczasem w pozostałej części kraju wartości te oscylowały około 30 dni, a w Karpatach i na Wysoczyźnie Siedleckiej przekraczały 36 dni. O ile w Karpatach nie budzi to większego zdziwienia, o tyle na Wysoczyźnie Siedleckiej na ogół nie notuje się więcej niż 22–26 takich dni. Z kolei 1958 rok stanowi przykład takich warunków pogodowych, które spowodowały wystąpienie większej liczby dni burzowych w zachodnich i północnych regionach kraju, a jak wiadomo wyższe wartości badanego wskaźnika dla wielolecia charakteryzują tereny wschodnie i południowe. Ostatni rok badanego wielolecia – 1998, którego średnia liczba dni z burzą z terenu całej Polski była zbliżona do średniej z wielolecia – 23,9 dnia, jest przykładem lat charakteryzujących się zbliżoną liczbą dni burzowych zanotowanych na wszystkich uwzględnionych w analizie stacjach. Jedynie w pasie rozciągającym się od Bramy Morawskiej, przez Wyżynę Kielecko-Sandomierską, do Kotliny Warszawskiej włącznie zanotowano więcej niż 28 dni burzowych. Przegląd tych kilku przykładów wskazuje na to, że wrażenie wzrostu czy spadku częstości występowania burz w dużym stopniu zależy od położenia stacji w określonym regionie Polski, a także od typu pogody dominującej w danym roku. Ponadto można stwierdzić, że poza wybrzeżem i górami, gdzie wpływ warunków lokalnych jest na tyle silny, iż prawie zawsze możemy się spodziewać odpowiednio małej lub dużej liczby dni z burzą, w pozostałej części kraju roczna liczba dni burzowych zmienia się w dużo większym stopniu.

2.2. Liczba dni z burzą w sezonach i miesiącach

Analiza rozkładu średniej liczby dni z burzą w poszczególnych sezonach i miesiącach potwierdza ogólną regułę mówiącą, że najwięcej burz w Polsce występuje w ciepłej połowie roku, a liczba dni burzowych (w sezonach i miesiącach) wzrasta z północnego zachodu na południowy wschód. Zauważono jednak kilka cech wartych podkreślenia.

W tabelach 3 i 4 przedstawiono średnią liczbę dni burzowych z polskich stacji w badanym pięćdziesięcioleciu w poszczególnych porach roku i w miesiącach. Podział na pory roku przyjęto według standardowego kryterium kalendarzowego, czyli: zima to okres od grudnia do lutego, wiosna to miesiące od marca do maja itd. Wyznaczono też okres półrocza ciepłego od kwietnia do września włącznie, w którym liczba dni burzowych była największa, zaliczając do niego miesiące, w których przekraczała ona 1 dzień z burzą. Średnio w okresie tym notowano 22,6 dnia burzowego, czyli niewiele mniej niż wynosiła średnia z pięćdziesięciolecia, a rozkład przestrzenny liczby dni z burzą prawie pokrywa się ze średnim rozkładem z wielolecia (ryc. 10). Oczywiście najmniej burz w badanym

Tabela 3

**Średnia liczba dni burzowych w porach roku i w sezonie od kwietnia do września
w Polsce w latach 1949–1998**

Table 3

**The average number of days with thunderstorm in seasons and from April to September
in Poland in the period 1949–1998**

Wskaźnik	Pory roku				
	wiosna	lato	jesień	zima	sezon IV–IX
Średnia liczba dni z burzą	5,7	15,5	2,0	0,1	22,6

Tabela 4

Średnia liczba dni z burzą w miesiącach w Polsce w latach 1949–1998

Table 4

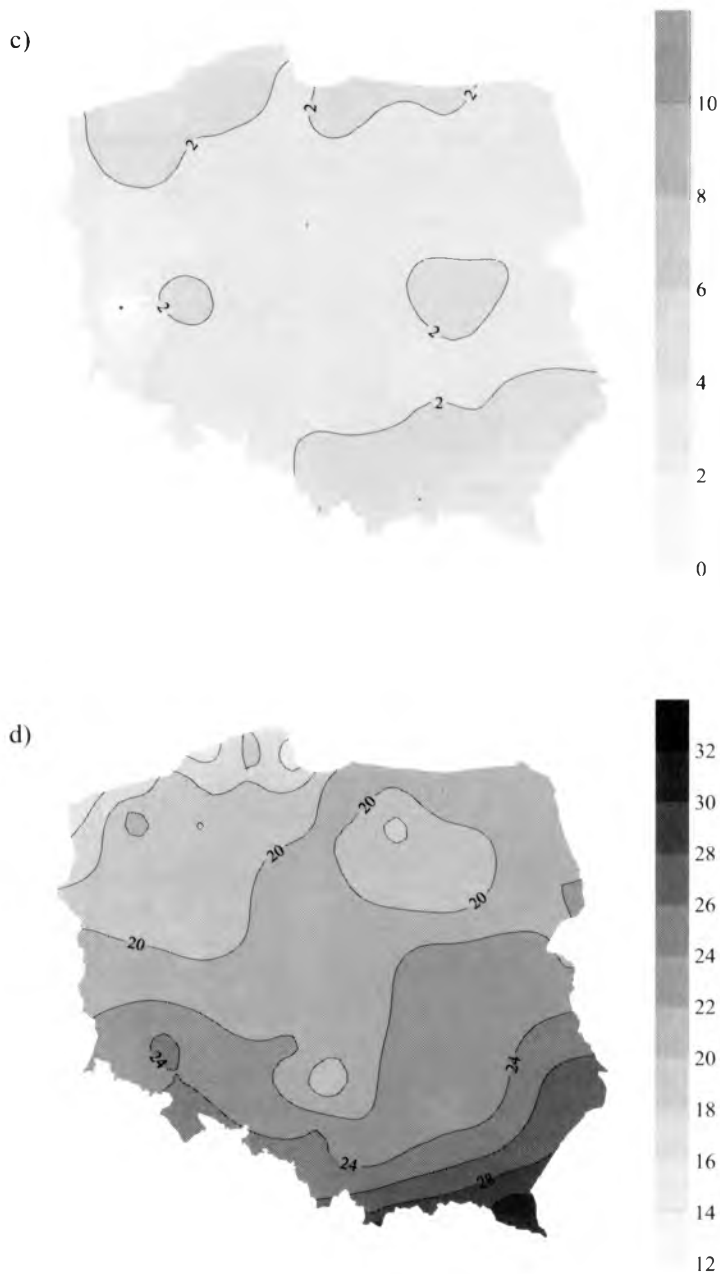
The average number of days with thunderstorm in months in Poland in the period 1949–1998

Wskaźnik	Miesiące											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Średnia liczba dni z burzą	0,1	0,1	0,2	1,2	4,4	5,4	5,6	4,6	1,7	0,3	0,1	0,0
Średnia maksymalna liczba dni z burzą	0,2	0,2	0,6	1,8	6,6	8,2	7,6	6,6	2,5	1,1	0,4	0,1
Średnia minimalna liczba dni z burzą	0,0	0,0	0,0	0,6	2,6	2,8	3,7	2,7	0,9	0,1	0,0	0,0
Różnica pomiędzy maksymalną a minimalną liczbą dni z burzą	0,2	0,2	0,5	1,2	4,0	5,4	4,0	3,9	1,6	1,0	0,4	0,1

wielolecia w Polsce występuje w zimie, w okresie tym średnio notowano zaledwie 0,1 dnia z burzą, a na poszczególnych stacjach sporadycznie wartość ta osiągała 0,2 dnia burzowego. Wiosną liczba analizowanych dni dość szybko wzrasta i w latach 1949–1998 średnia dla Polski wynosiła już 5,7 dnia z burzą. W lecie średnia liczba dni z burzą wzrosła do 15,5 dnia, a jesienią osiągała zaledwie 2 dni, czyli przeszło dwa razy mniej niż wiosną. Analizując rozkład przestrzenny badanego wskaźnika (ryc. 10), należy zwrócić uwagę na kilka jego aspektów. W okresie wiosennym przestrzenne zróżnicowanie liczby dni burzowych jest bardzo małe i chociaż liczba tych dni wzrasta z północy na południe, to różnica pomiędzy regionami północnymi i południowymi nie przekracza 6 dni, a w środkowej Polsce waha się około 2 dni. Latem rozkład liczby dni burzowych jest bardzo zbliżony do rozkładu rocznego (w sezonie tym występuje większość dni z burzą), a liczba analizowanych dni mieści się w zakresie od 9 dni do 23 dni burzowych. Najmniej zróżnicowany jest rozkład jesiennej liczby dni z burzą, w przypadku którego różnica pomiędzy największą a najmniejszą średnią liczbą dni burzowych nie przekroczyła 3 dni. Rozkład ten wyróżnia jednak inne niż w pozostałych przypadkach występowanie wartości najwyższych. Oka-



Ryc. 10.
Fig. 10.



Ryc. 10. Średnia liczba dni z burzą wiosną (a), latem (b), jesienią (c) i w sezonie od IV do IX (d) w Polsce w latach 1949–1998

Fig. 10. The average number of days with thunderstorm in the spring (a), summer (b), autumn (c) and in the season from April to September (d) in Poland in the period 1949–1998

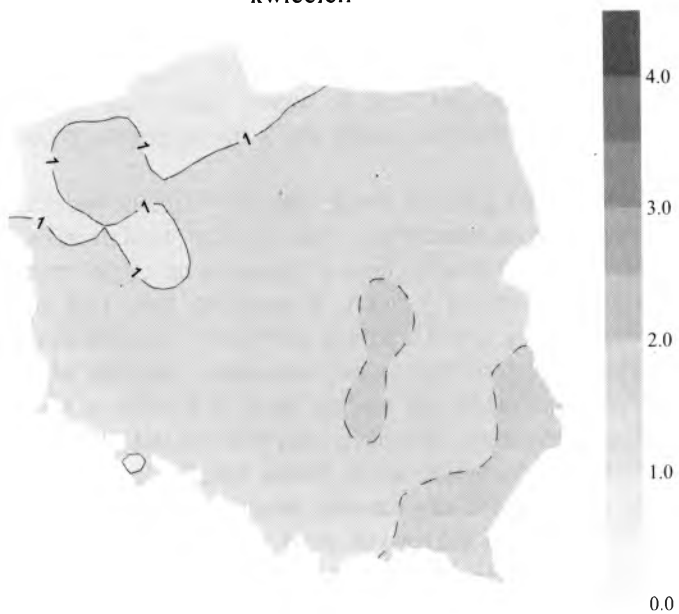
zało się, że najwięcej jesiennych dni burzowych występowało nie tylko w Karpatach (do 2,7 dnia), lecz także na wybrzeżu, gdzie wartości te były wyższe niż w górach, a dla stacji w Łebie średnia z wielolecia osiągnęła nawet 4,0 dnia burzowego. Wart podkreślenia jest fakt, że region nadmorski jest jedynym obszarem w Polsce, w którym jesienną liczbę dni z burzą można porównać z wartościami wiosennymi.

Powyższe stwierdzenia znajdują swoje odbicie w zróżnicowaniu liczby dni burzowych w poszczególnych miesiącach (ryc. 11). Od października do marca burze występowały sporadycznie i dopiero w kwietniu na części stacji średnia liczba dni burzowych przekroczyła 1 dzień. W maju już tylko nad morzem notowano mniej niż 3 dni z burzą, a w Karpatach wartości te przekraczały 6 dni (tab. 4). W czerwcu liczba dni burzowych nadal wzrastała i średnia tego miesiąca wyniosła 5,4 dnia, niewiele mniej niż średnia lipca, w którym w wieloleciu średnio notowano 5,6 dnia burzowego. Jednak w czerwcu różnica pomiędzy najmniejszą a największą średnią liczbą takich dni w Polsce była większa niż w lipcu – odpowiednio 5,4 oraz 4,0 dnia. Należy również zwrócić uwagę na fakt, że przestrzenne zróżnicowanie liczby dni burzowych poza północnymi i południowymi regionami kraju jest w obu miesiącach zbliżone i zakres zmienności nie przekraczał 2 dni. Natomiast na wymienionych wcześniej terenach przestrzenne zmiany liczby dni burzowych były większe w czerwcu i w wąskim pasie wybrzeża wynosiły one 1 dzień, a na południu 2 dni. W sierpniu liczba dni z burzą była nieznacznie wyższa niż w maju, a we wrześniu ponownie spadła do poniżej 3 dni i jej przestrzenne zróżnicowanie prawie zanikło. Chociaż, tak jak w jesieni, najwięcej dni burzowych notowano nad morzem i w górach.

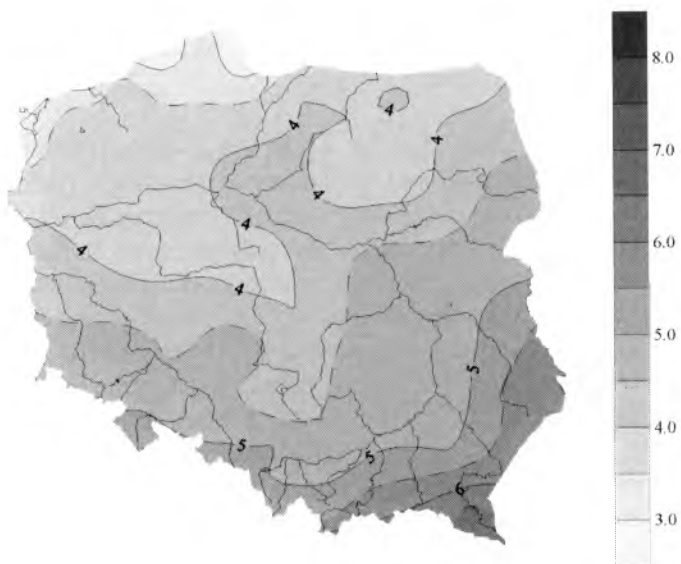
Przedstawiony przestrzenny rozkład liczby dni z burzą porównano z analogicznymi rozkładami opracowanymi na podstawie krótszych (jednak nie mniej niż dziesięcioletnich) ciągów obserwacji (*Atlas klimatyczny Polski*, 1973; *Narodowy atlas Polski*, 1973–1978; *Atlas środowiska geograficznego Polski*, 1994). Na tej podstawie można stwierdzić, że główne charakterystyki rozkładu średniej rocznej liczby dni z burzą pozostają niezmiennie, niezależnie od długości okresu obserwacji. Liczba dni burzowych jest najmniejsza na północy Polski i wzrasta w kierunku południowym, gdzie jej wartości są prawie dwukrotnie większe niż na wybrzeżu. Niemniej jednak analizując liczbę dni z burzą w poszczególnych latach oraz porównując średnie z różnych okresów obserwacyjnych, zauważa się duże różnice pomiędzy liczbą dni z burzą w danym roku a średnią wieloletnią. Oznacza to, że istnieje wyraźny wpływ warunków lokalnych na występowanie burz, chociaż ich liczba jest w większym stopniu zależna od warunków pogodowych występujących w badanym okresie.

Należy podkreślić dwie charakterystyczne cechy rozkładu liczby dni burzowych w ciągu roku. Pierwsza z nich to większa liczba analizowanych dni występujących wiosną niż jesienią, na co w swojej pracy zwrócił także uwagę J. WRÓ-

kwiecień

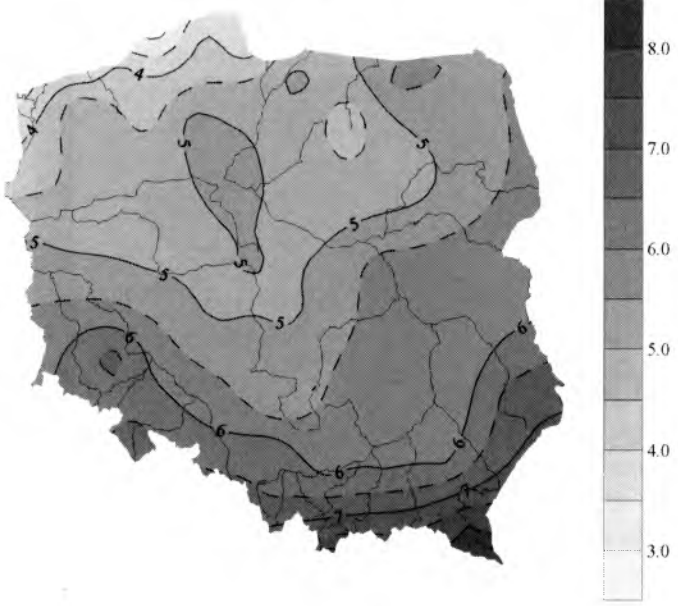


maj

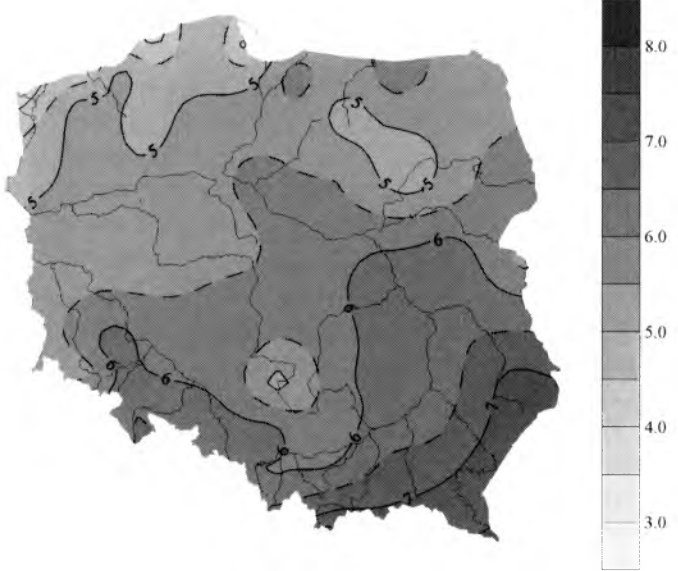


Ryc. 11.
Fig. 11.

czerwiec

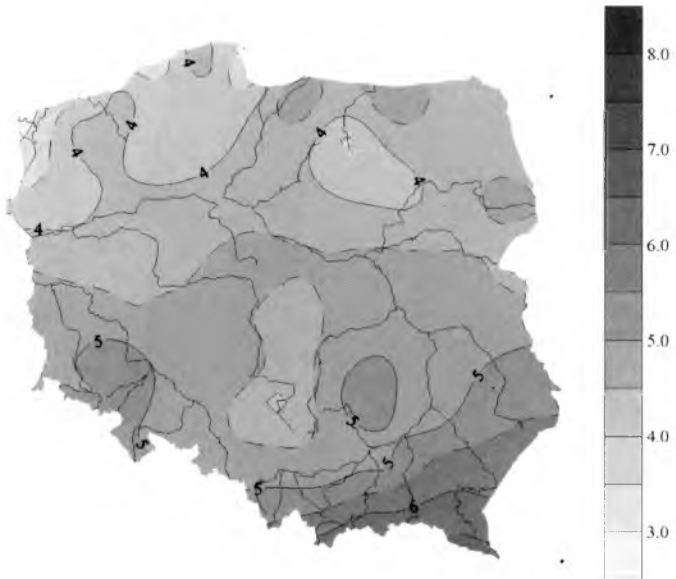


lipiec

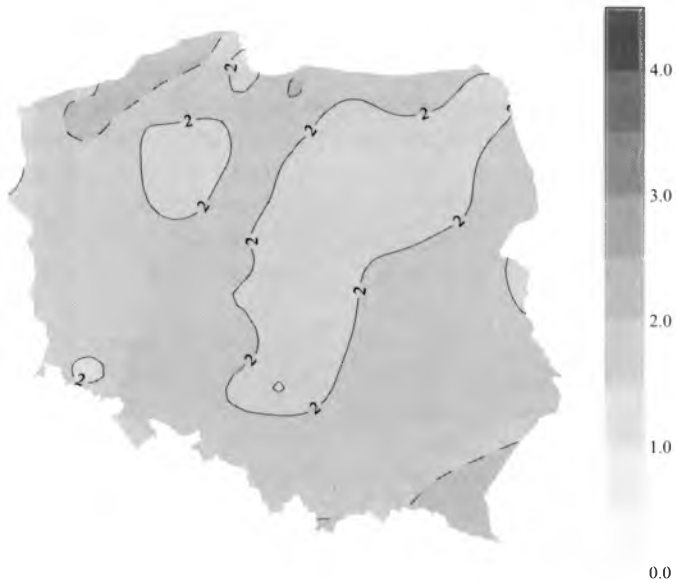


Ryc. 11.
Fig. 11.

sierpień



wrzesień



Ryc. 11. Średnia liczba dni z burzą w wybranych miesiącach w Polsce w latach 1949–1998

Fig. 11. The average number of days with thunderstorm in selected months in Poland in the period 1949–1998

BEL (1985), badając związek warunków meteorologicznych z występowaniem burz.

Drugą cechą to największa na obszarze kraju liczba dni burzowych na wybrzeżu we wrześniu, a nie, jak w pozostałych przypadkach, na południowym wschodzie Polski. Podobną zależność można odnaleźć podczas analizy map występowania burz w Polsce, opracowanych przez Cz. KOŹMIŃSKIEGO dla lat 1951–1980 i zamieszczonych w *Atlasie klimatycznym elementów i zjawisk szkodliwych dla rolnictwa w Polsce* (1990). Warto również wspomnieć, że podwyższone, wiosenne wartości liczby dni z burzą na północy kraju dotyczą nie tylko średnich rocznych wartości badanego wskaźnika, lecz także maksymalnej liczby dni burzowych (*Atlas klimatyczny elementów...*, 1990).

Przedstawiony wyżej przestrzenny rozkład liczby dni z burzą wyraźnie wskazuje na wpływ położenia geograficznego i rzeźby poszczególnych regionów na ilość występujących nad nimi burz. Zależności te widać na podstawie rozkładu rocznej liczby dni burzowych, jak również zmienności liczby tych dni w poszczególnych sezonach i miesiącach. Najbardziej pod tym względem charakterystyczne są północne obszary kraju (wybrzeże Bałtyku i Pojezierza) oraz południowo-wschodnia Polska. Wymienione regiony pokrywają się dokładnie z wyróżnionymi przez W. WARAKOMSKIEGO (1969) i Z. WILCZKA (1991) obszarami zwiększonej częstości pojawiania się chmur *Cumulonimbus* (*Cb*). Dotyczy to zarówno chmur powstających w jednorodnej masie powietrza, jak i związanych z przechodzeniem frontów. O ile w południowej i wschodniej Polsce wartości obu wskaźników są wysokie, o tyle w północnej części kraju duża częstość *Cb* nie oznacza dużej liczby dni z burzą. Niewielka liczba dni burzowych na północy kraju najprawdopodobniej spowodowana jest ochładzającym wpływem morza, dzięki któremu zmniejsza się pionowa chwiejność atmosfery przemieszczającego się nad nim powietrza. Jest ona wystarczająco silna, aby powstały chmury *Cb*, ale na tyle słaba, że niemożliwe staje się wystąpienie burzy. Z kolei w chłodnej porze roku sytuacja jest odwrotna. Cieplesze od strony lądu morze wspomaga występującą na froncie dynamiczną konwekcję powietrza, co zwiększa możliwość pojawienia się burzy. Z tego powodu w miesiącach jesiennych i zimowych właśnie na północy Polski liczba dni z burzą należy do największych w kraju. Występowanie burz na tych terenach dodatkowo jest modyfikowane kontrastową rzeźbą pojezierzy. Różna jest też częstość frontów atmosferycznych przechodzących nad tą częścią Polski, z którymi związana jest większość burz w umiarkowanych szerokościach geograficznych. W odróżnieniu od regionów północno-wschodnich, gdzie notuje się najwięcej dni z frontami w Polsce, na północnym zachodzie ich liczba należy do najmniejszych w kraju (PARCZEWSKI, 1965). Znajduje to potwierdzenie w nieco większej liczbie dni z burzą w północno-wschodniej Polsce i nawet o 8 dni niższej na północnym zachodzie. W regionach południowo-wschodnich obserwowana duża liczba dni z burzą może wynikać z ukształtowania tere-

nu sprzyjającego powstawaniu burz dzięki wymuszeniu, przez bariery orograficzne, prądów wstępujących. Innym powodem może być wzrost w tych regionach stopnia kontynentalizmu i związanego z nim intensywniejszego nagrzewania się powietrza od podłoża, co prowadzi do powstawania burz wewnątrzmasowych (PARCZEWSKI, 1971; WARAKOMSKI, 1969).

3. Charakterystyka wieloletniej zmienności występowania liczby dni z burzą w Polsce

Niewiele jest prac poświęconych zagadnieniu zmienności występowania burz w czasie. Zazwyczaj badany jest rozkład przestrzenny burz lub dni burzowych na określonym terenie i poszukiwane są przyczyny ich zróżnicowania przestrzennego. Niemniej jednak na podstawie istniejących opracowań zmienności burz w okresach wieloletnich można określić zmiany liczby burz w niektórych regionach na świecie. Najbardziej szczegółowe opracowania, oparte na długich seriach czasowych, powstały w Stanach Zjednoczonych. S. A. CHANGNON (1985, 1988a, 1988b) opisał zmiany liczby burz i dni burzowych na terenie Ameryki Północnej. Badając liczbę dni z burzą wykazał, że w Ameryce Północnej w latach 1901–1980 liczba dni burzowych występujących na wszystkich analizowanych stacjach wzrastała średnio do 1945 roku (w roku tym zanotowano ponad 175 dni z burzą), po czym malała aż do 1970 roku, w którym osiągnęła mniej niż 160 dni, aby w następnym dziesięcioleciu ponownie wzrosnąć do około 170 dni rocznie. Porównanie tego zgeneralizowanego przebiegu do zmian liczby dni z burzą w regionach i na poszczególnych stacjach ujawniło znaczne różnice pomiędzy trendami zmian występowania burz w zależności od położenia geograficznego. Na tej podstawie, badając trendy zmienności i zgodność występowania maksimów oraz minimów liczby dni burzowych na poszczególnych stacjach, autor wydzielił regiony o określonym typie zmienności badanego wskaźnika. Okazało się, że północne, środkowe i północno-wschodnie tereny Stanów Zjednoczonych charakteryzują się spadkiem liczby dni burzowych, gdy tymczasem w zachodnich i południowo-wschodnich regionach kraju takich dni notuje się coraz więcej. W innych obszarach świata zauważa się istnienie podobnych regionów. Spadek liczby dni z burzą od lat 30. zanotowano w Australii, w pasie nizin europejskich, na południu Ameryki Południowej i w Japonii. Z kolei wzrost widoczny jest w Europie Północnej i w Basenie Morza Śródziemnego, na południu Afryki i w północno-wschodniej Azji (CHANGNON, 1985).

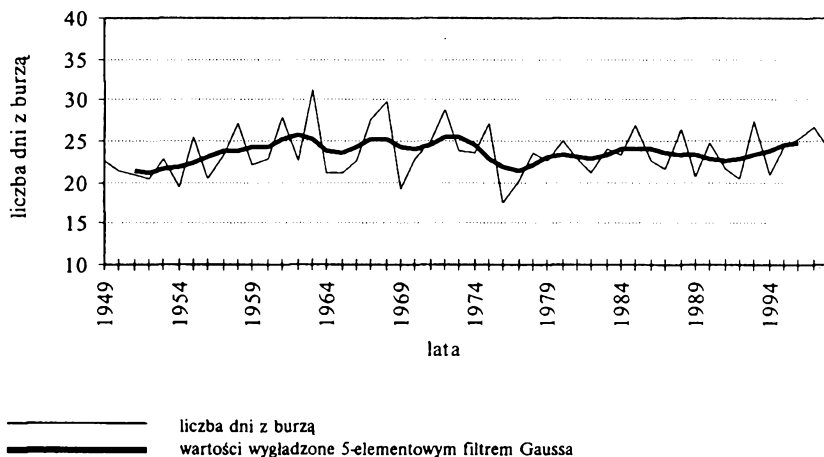
Analizując wyniki opracowań dotyczących występowania burz pochodzących z kilku stacji z Europy Środkowowschodniej również zauważa się duże zróżnicowanie liczby dni z burzą w czasie. W Berlinie w latach 1850–1975 liczba dni burzowych stopniowo wzrastała, z nieznacznymi spadkami w latach 60. i 70. ubiegłego wieku oraz w latach 30. XX wieku (PELZ, 1977). W Czechach R. BRAZDIL (1998) zbadał występowanie burz na siedmiu stacjach w latach 1946–1995. Analizie została poddana częstość występowania burz bliskich oraz wszystkich burz zanotowanych na stacjach. Wynik przeprowadzonej analizy wskazuje na większe zróżnicowanie w wieloletnim przebiegu rocznej liczby burz bliskich niż całkowitej liczby burz. Na większości stacji w obu przypadkach liczba badanych burz wykazuje tendencję malejącą. Jednak na niektórych stacjach (Praga, Brno) zauważa się znaczące różnice pomiędzy przebiegiem liczby burz bliskich wykazujących trend malejący i całkowitej liczby burz charakteryzującej się niewielkim wzrostem wartości w badanym okresie. Zauważa się również, w zależności od położenia stacji, różnice w występowaniu okresów zwiększonej lub zmniejszonej aktywności burzowej. W Europie Wschodniej wieloletnią zmienność dni burzowych badała V. A. KAMYSHANOVA (1974) i A. M. NOSOVA (1989), które przeprowadziły analizę występowania dni burzowych w latach 1891–1980 na czterech stacjach: Leningrad, Moskwa, Kijów i Tbilisi. Wynik tych prac wskazuje na zupełnie odmienny typ zmienności liczby dni burzowych w zależności od położenia stacji. W Leningradzie, w porównaniu z pozostałymi stacjami, zmiany rocznej liczby dni burzowych były najmniejsze, a jej wartości wzrastały od początku badanego okresu do lat 70. W Moskwie wzrost liczby dni burzowych również był dobrze widoczny, z tym że do lat czterdziestych liczba dni z burzą nie ulegała większym zmianom. W czwartej dekadzie XX wieku zanotowano gwałtowny spadek liczby burz, po czym wzrosła ona do wartości znacznie przekraczającej roczne liczby dni z burzą z początkowego okresu. Z kolei w Kijowie do lat 20. zmiany liczby dni z burzą były niewielkie, potem nastąpił wyraźny wzrost, który trwał do końca lat 40., i ponowny spadek liczby dni z burzą do 1980 roku. Przebieg liczby dni z burzą w Tbilisi reprezentuje zaś całkowicie odmienny charakter, jednak stacja ta ma zupełnie inny typ klimatu. W całym wieloleciu wyróżniały się na niej trzy okresy większej częstości dni burzowych, przy czym największe wartości występowały na początku badanego wielolecia. Każdy następny okres był krótszy, a liczba dni burzowych była mniejsza. W Polsce wieloletni przebieg burz został zbadany na podstawie trzech serii obserwacji meteorologicznych. Najdłuższą opracowaną serią jest seria krakowska z lat 1896–1995 (BIELEC, 1996), natomiast serie poznańska i warszawska obejmują okres trzydziestoletni – odpowiednio lata 1961–1990 i 1951–1980 (KOLEN-DOWICZ, 1999; WESOŁOWSKA, 1997). Analiza zmienności dni z burzą w stu latach w Krakowie nie wykazała istnienia wyraźnego trendu zmian występowania dni burzowych. Można jednak wyznaczyć okresy częstszego występowania burz, które przypadały na drugą dekadę oraz przełom trzeciej i czwartej dekady XX wie-

ku, a także na lata 60. i 70. Wszystkie trzy wymienione serie pokazują spadek liczby dni z burzą od lat 60., chociaż w ostatniej dekadzie na niektórych stacjach ponownie zauważa się wzrost liczby pojawiających się burz.

Ten krótki przegląd zmian występowania burz w niektórych regionach wykazał dużą różnorodność przebiegu tych zmian. Na przykładzie stacji czeskich można zauważyć, że określenie zmian zależy także od wskaźnika, który został przyjęty do analizy. Z tego powodu zdecydowano się na prześledzenie wieloletniej zmienności liczby dni burzowych w Polsce i zbadanie, czy istnieje jakiś określony typ tej zmienności w całym kraju lub w poszczególnych regionach. Zostanie porównana również zmienność liczby dni burzowych w Polsce do przedstawionej wcześniej zmienności burz w Europie i w wybranych regionach świata.

3.1. Wieloletni przebieg liczby dni z burzą w Polsce

Wieloletnią zmienność średniej rocznej liczby dni burzowych w Polsce w badanym okresie przedstawia ryc. 12. Jak można zauważyć, przebieg średniej rocznej liczby dni z burzą był raczej wyrównany i poza niewielkim wzrostem od końca lat 50. do połowy lat 70. nie zauważa się okresów o wyraźnie zwiększonej liczbie dni burzowych. Świadczy o tym także współczynnik zmienności wy-



Ryc. 12. Średnia roczna liczba dni z burzą w Polsce w latach 1949–1998

Fig. 12. The average number of days with thunderstorm in Poland in the period 1949–1998

noszący 12,4%. W Polsce najczęściej występowało 22,6 dnia z burzą, przy średniej z wielolecia 23,6 dnia, a najwięcej rocznych wartości należało do przedziału od 21 dni do 24 dni burzowych (tab. 5). Wartości takie charakteryzowały 25 lat, co stanowi 50% wszystkich przypadków. Z kolei najrzadziej (z prawdopodobieństwem <10%) można się spodziewać lat, w których średnia roczna liczba dni z burzą będzie mniejsza od 20 dni lub większa niż 28 dni. Tylko dwa razy średnia roczna liczba dni z burzą przekroczyła 29 dni i było to w 1968 roku – 29,8 dnia i w 1963 roku – 31,3 dnia. Najniższa średnia przypadała na 1976 rok i wynosiła 17,5 dnia z burzą.

Tabela 5
Częstość występowania średniej rocznej liczby dni z burzą w Polsce w latach 1949–1998

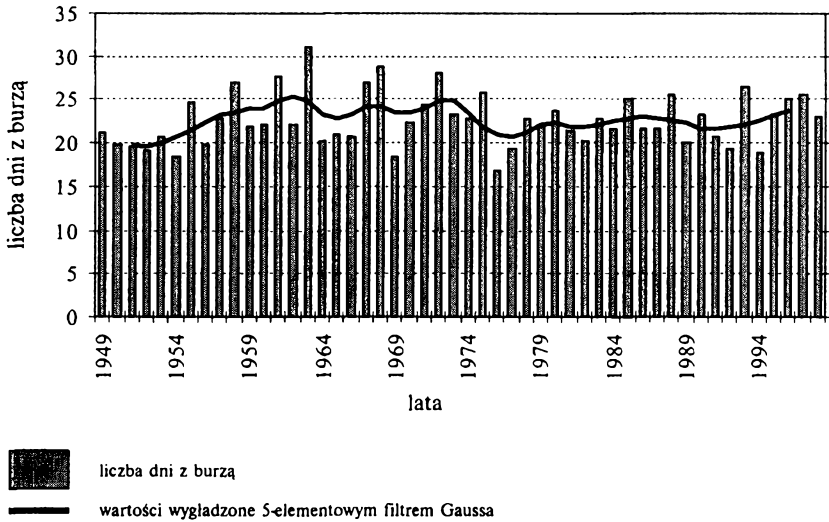
Table 5
The frequency of occurrence average annual number of days with thunderstorm in Poland in the period 1949–1998

Liczba dni z burzą	Liczba lat	Częstość [%]
17–20	10	20
21–24	25	50
25–28	13	26
29–30	2	4
Suma	50	100

Analizując zmiany wartości opisywanego wskaźnika w wieloleciu, trudno wyróżnić okresy o wyraźnie większej liczbie dni z burzą. Dopiero dokładniejsza analiza (którą potwierdza przebieg odchyleń skumulowanych) pozwala na wskazanie trzech okresów, w których liczba badanych dni w jakiś sposób różniła się od średniej z wielolecia (23,6 dnia). Od początku badanego okresu do 1957 roku średnie roczne wartości liczby dni z burzą były niższe od średniej o około 2–3 dni. Następnie do 1975 roku zwykle notowano więcej dni burzowych niż średnio w badanych pięćdziesięciu latach (średnio o około 3,5 dnia), a w ostatnich dwudziestu latach wartości analizowanego wskaźnika zwykle były nieznacznie niższe od średniej i różniły się o około 1–2 dni. Niemniej jednak przedstawione zróżnicowanie nie jest na tyle wyraźne, by stanowiło podstawę do wydzielenia okresów o wyraźnie odmiennej liczbie dni burzowych. Zmiana liczby tych dni w ciągu wielolecia jest tak niewielka, iż należy uznać, że nie istnieje tendencja do wzrostu czy spadku liczby dni z burzą i w długich okresach wartości badanego wskaźnika oscylują wokół średniej wartości typowej dla danego regionu klimatyczno-geograficznego.

Kolejnym krokiem było sprawdzenie zmienności liczby dni z burzą w poszczególnych sezonach i miesiącach. Jako pierwszą zbadano zmienność liczby

dni burzowych w okresie największej aktywności burzowej, czyli od kwietnia do września włącznie, w którym występuje ponad 95% wszystkich dni burzowych. Właśnie z tego względu owa zmienność jest prawie identyczna z opisaną wcześniej zmiennością średnich wartości rocznych (ryc. 13). Następnie analizie poddano liczbę dni burzowych w poszczególnych porach roku, przyjmując pory



Ryc. 13. Średnia liczba dni z burzą w Polsce w okresie od kwietnia do września w latach 1949–1998

Fig. 13. The average number of days with thunderstorm from April to September in Poland in the period 1949–1998

roku według powszechnie stosowanego kryterium kalendarzowego (a więc np.: zima 1949 roku oznacza grudzień 1949 roku oraz styczeń i luty roku następnego). Jak można zauważyć na podstawie ryc. 14, najwięcej dni z burzą występuje oczywiście latem (średnio 15,5 dnia w roku), a najmniej w zimie (średnio 0,1 dnia). Wyraźnie też widoczna jest, opisana w rozdziale poprzednim, przewaga liczby dni burzowych występujących wiosną (średnio 5,7 dnia) w porównaniu z liczbą dni jesiennych (średnio 2 dni). Poza zimą zmienność liczby dni z burzą w poszczególnych porach roku nie jest zbyt duża i nie wykazuje żadnej określonej tendencji w badanym okresie. Najmniejsze zmiany wykazują liczby dni burzowych występujących latem (współczynnik zmienności 15%), kiedy to najczęściej notowano 12,5 dnia z burzą (tab. 6). Większą zmiennością cechuje się wiosna i jesień (odpowiednio 33% i 41%), a największą – okres zimowy (111%), który jako jedyny wykazuje wyraźny wzrost liczby dni burzowych od początku analizowanego wielolecia (przy czym ostatni wynik należy traktować z dużą ostrożnością, gdyż liczba zdarzeń wystąpienia burzy zimowej jest bardzo mała). Pomimo

Tabela 6

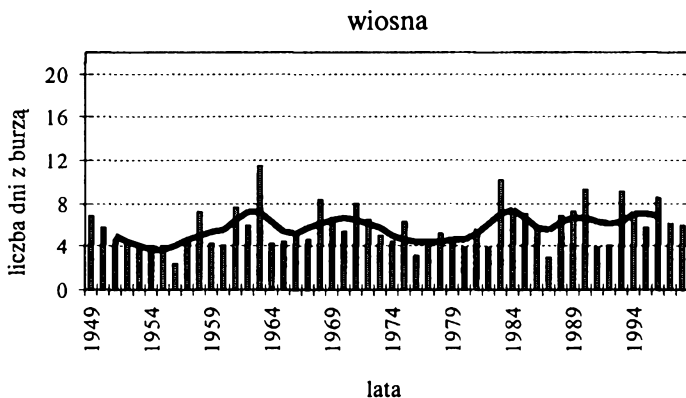
Wybrane charakterystyki liczby dni z burzą w porach roku i w sezonie od kwietnia do września w Polsce w latach 1949–1998

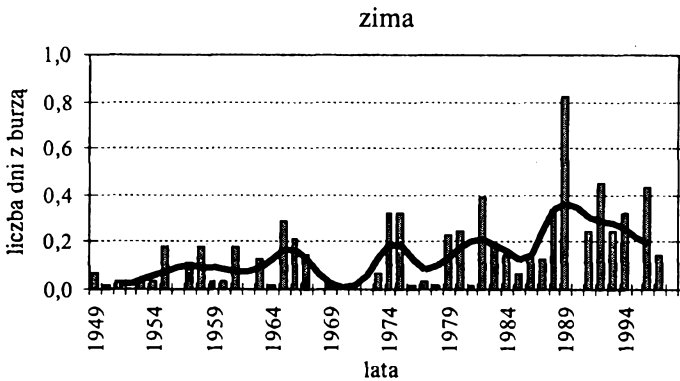
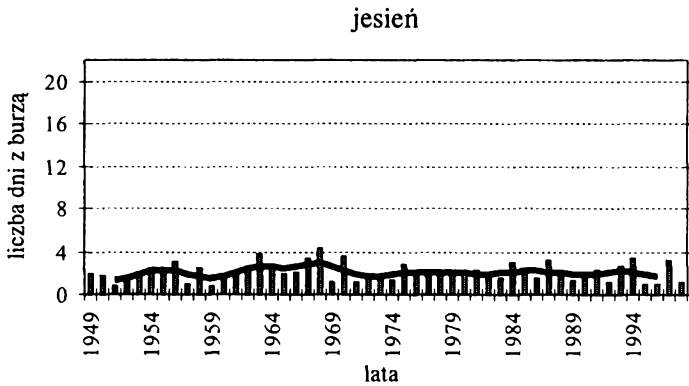
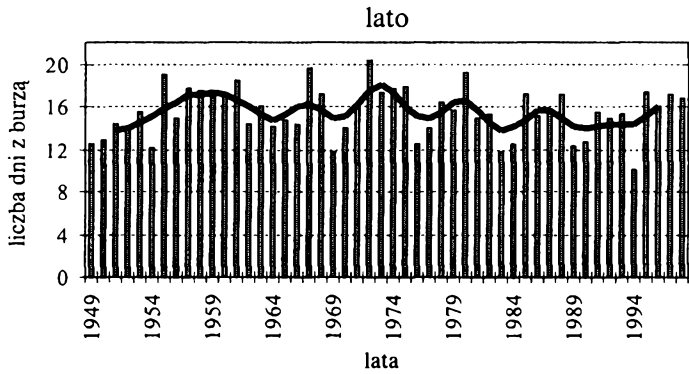
Table 6

Chosen characteristics of number of days with thunderstorm in seasons and from April to September in Poland in the period 1949–1998

Wskaźnik	Pory roku				
	wiosna	lato	jesień	zima	sezon IV–IX
Średnia liczba dni z burzą	5,7	15,5	2,0	0,1	22,6
Maksymalna liczba dni z burzą	11,4	20,4	4,4	0,8	31,0
Minimalna liczba dni z burzą	2,4	10,1	0,8	0,0	16,9
Moda	4,6	12,5	1,9	0,0	20,4
Wskaźnik zmienności [%]	33	15	41	111	13

iż zmiany liczby analizowanych dni w poszczególnych porach roku nie są zbyt duże, to zdarzały się lata o wyjątkowej liczbie dni burzowych. Przykładem może być rok 1972, w którym latem średnio w Polsce odnotowano 20,4 dnia z burzą (prawie tyle samo co średnio w całym sezonie największej aktywności burzowej). Oznacza to, że co piąty dzień lata tamtego roku był dniem burzowym. Z kolei rok 1963 był rokiem, w którym wiosną wystąpiło w Polsce średnio 11,4 dnia z burzą, czyli niewiele mniej niż liczba dni burzowych najczęściej notowana latem i niewiele mniej niż w lecie tego właśnie roku, kiedy wystąpiło 16,1 badanych dni. Wyjątkowa pod względem liczby dni z burzą była zima 1989/1990 roku, kiedy to średnia liczba dni burzowych w Polsce wyniosła 0,8 dnia (przy średniej wieloletniej 0,1 dnia) i była równa najmniejszej liczbie dni z burzą zanotowanych w okresie jesiennym. Wynik ten, w głównej mierze, był rezultatem wyjątkowo dużej liczby dni burzowych, jakie miały miejsce w lutym 1990 roku.

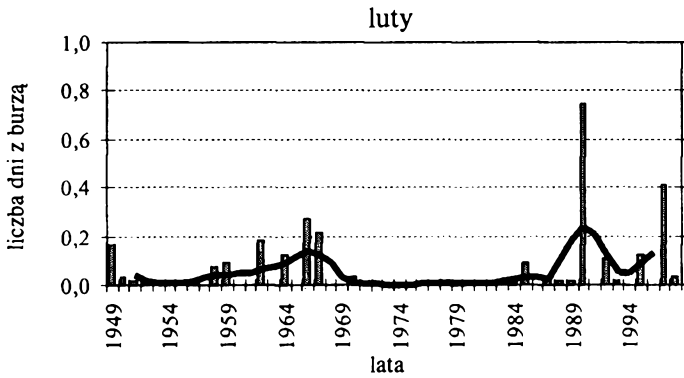
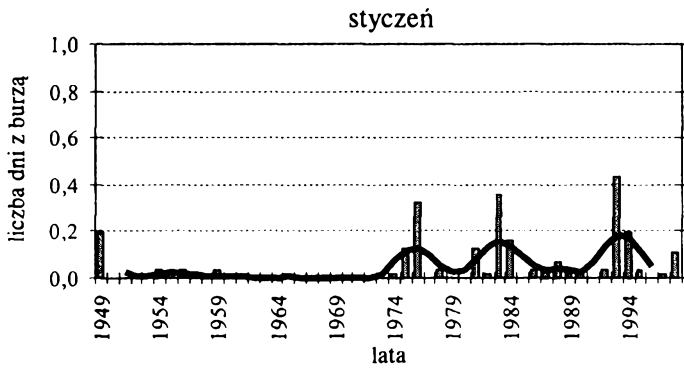
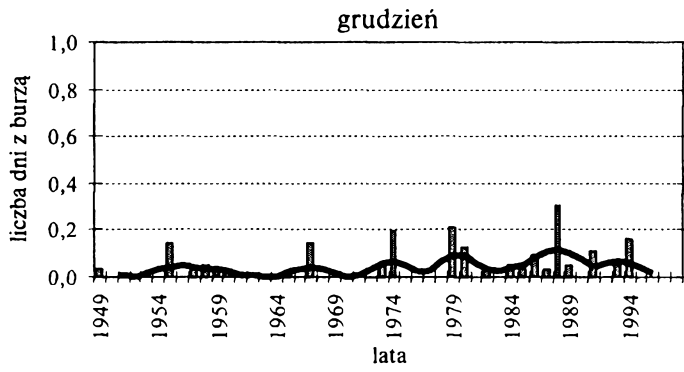




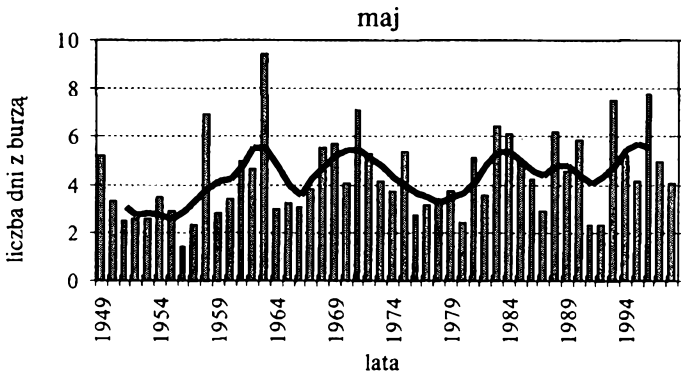
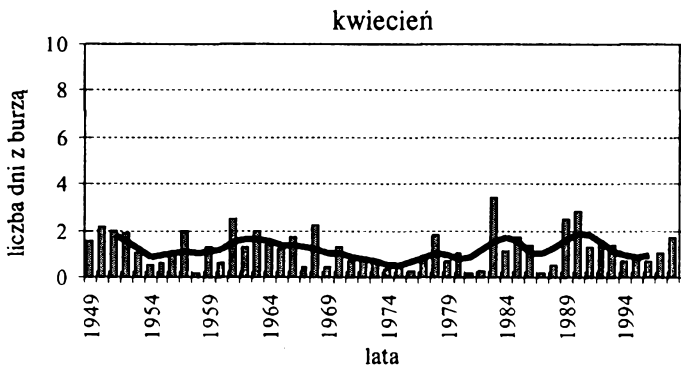
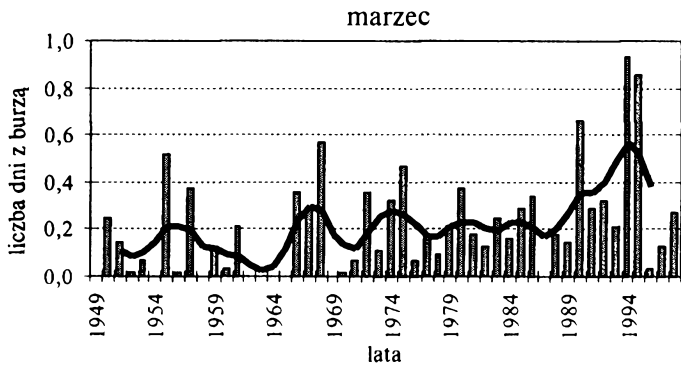
liczba dni z burzą
 wartości wygładzone 5-elementowym filtrem Gaussa

Ryc. 14. Średnia liczba dni z burzą w Polsce w porach roku w latach 1949–1998

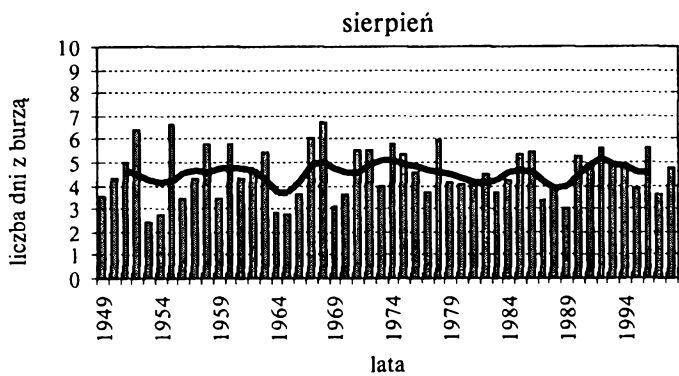
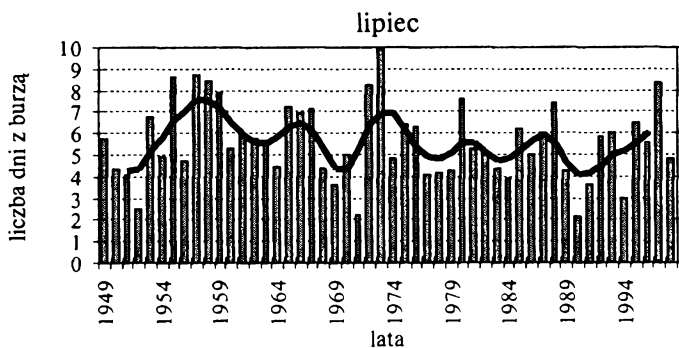
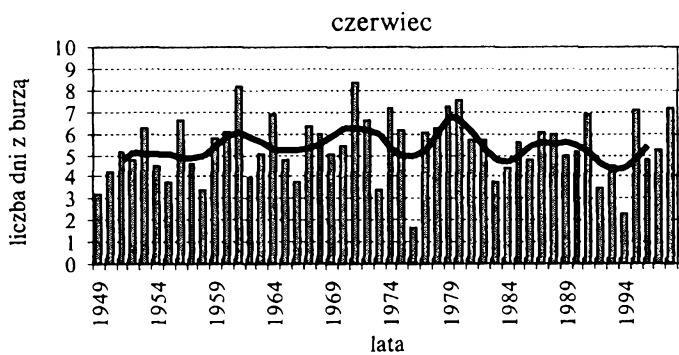
Fig. 14. The average number of days with thunderstorm in particular seasons in Poland in the period 1949–1998



Ryc. 15.
Fig. 15.

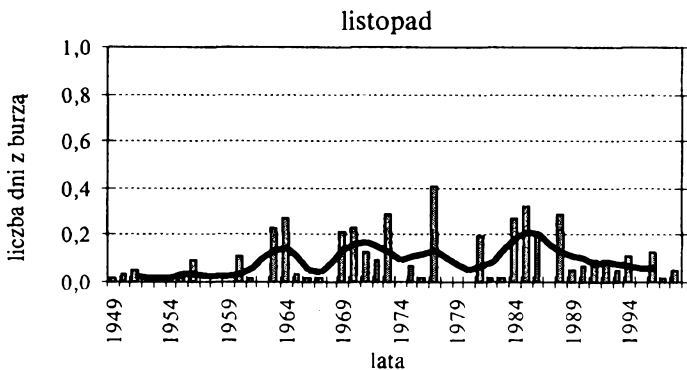
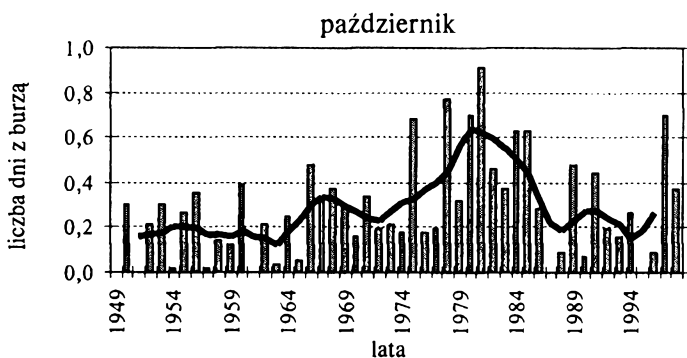
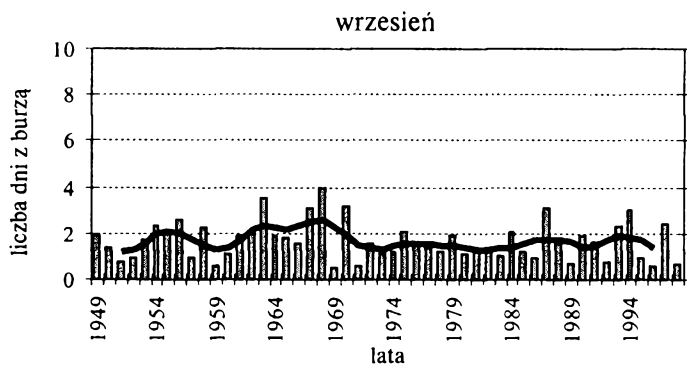


Ryc. 15.
Fig. 15.



Ryc. 15.

Fig. 15.



liczba dni z burzą



wartości wygładzone 5-elementowym filtrem Gaussa

Ryc. 15. Średnia liczba dni z burzą w Polsce w poszczególnych miesiącach w latach 1949–1998

Fig. 15. The average number of days with thunderstorm in particular months in Poland in the period 1949–1998

Porównując wieloletni przebieg liczby dni burzowych w poszczególnych porach roku, nie stwierdzono żadnych podobieństw. Kilkuletnie okresy zwiększonej liczby badanych dni w jednym sezonie nie były równoznaczne ze wzrostem liczby dni burzowych w pozostałych. Istotną korelację wykazał jedynie związek wiosny i lata z okresem największej aktywności burzowej, dla których współczynnik korelacji wyniósł odpowiednio 0,60 i 0,69. Wynik ten był jednak do przewidzenia, ponieważ liczba dni burzowych w tych porach roku stanowi największy procent ogólnej liczby badanych dni.

W toku dalszych badań sprawdzono, jak zmieniała się liczba dni burzowych w poszczególnych miesiącach. Wykazano kilka dodatkowych cech wiążących roczny rozkład dni z burzą z przebiegiem wieloletnim (ryc. 15).

Wyraźniejszy okazał się podział roku na dwie części: od kwietnia do września (właściwy okres aktywności burzowej) i od października do marca, w którym średnia miesięczna liczba dni burzowych nie przekracza jednego dnia. Dobrze widoczny jest także gwałtowny wzrost liczby dni burzowych pomiędzy kwietniem i majem (średnia miesięczna 1,2 i 4,3 dnia z burzą) oraz nagły spadek pomiędzy sierpniem i wrześniem (średnia odpowiednio 4,5 i 1,7 dnia burzowego). Dni z burzą najrzadziej występowały w grudniu, w którym takie dni notowano tylko w 22 latach, natomiast najczęściej dni burzowe obserwuje się w lipcu – średnio 5,6 dnia w miesiącu (tab. 7). Zaznacza się też większe zróżnicowanie przebiegu wieloletniego. Największą zmiennością charakteryzują się miesiące chłodnej pory roku, a w szczególności grudzień, styczeń i luty, w których wskaźnik zmienności osiągał odpowiednio 163%, 190% i 220%, przy czym tak wysokie wartości wskaźnika są wynikiem wpływu wysokiej liczby dni burzowych z lat, w których zanotowano ich najwięcej. Najbardziej wyrównanym przebiegiem odznaczała się liczba dni z burzą w sierpniu. W miesiącu tym występowało w Polsce średnio

Tabela 7

Wybrane charakterystyki liczby dni z burzą w miesiącach w Polsce w latach 1949–1998

Table 7

Chosen characteristics of number of days with thunderstorm in particular months in Poland in the period 1949–1998

Wskaźnik	Miesiące											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Średnia liczba dni z burzą	0,1	0,1	0,2	1,2	4,3	5,3	5,6	4,5	1,7	0,3	0,1	0,0
Maksymalna liczba dni z burzą	0,4	0,8	0,9	3,4	9,4	8,3	9,9	6,8	4,0	0,9	0,4	0,3
Minimalna liczba dni z burzą	0,0	0,0	0,0	0,2	1,4	1,6	2,2	2,4	0,5	0,0	0,0	0,0
Moda	0,0	0,0	0,0	0,2	4,0	4,8	4,3	4,3	1,1	0,0	0,0	0,0
Wskaźnik zmienności [%]	190	220	101	62	39	27	31	24	49	78	120	163

4,5 dnia burzowego, wskaźnik zmienności zaś wyniósł 24%. Podobnie jak w przypadku liczby dni z burzą w porach roku, tak i w miesiącach nie stwierdzono istotnych statystycznie trendów zmienności badanego wskaźnika. Niemniej jednak możliwe jest wydzielenie pewnych krótkich okresów, w których liczba dni z burzą była większa niż miesięczna średnia analizowanego pięćdziesięciolecia. W miesiącach zimowych widoczny był wzrost liczby dni burzowych w drugiej połowie badanego okresu, chociaż w przypadku lutego większą częstość występowania burz stwierdzono również w latach 60. W marcu, w porównaniu z poprzednimi miesiącami, dni burzowe zdarzały się średnio dwa razy częściej. Jednak wyraźnie zaznaczająca się większa liczba dni z burzą w ostatnich 10 latach badanego wielolecia sugeruje, że miesiąc ten pod względem wieloletniej zmienności liczby dni burzowych należałoby zaliczać do jednej grupy z miesiącami zimowymi. Od kwietnia przebieg wartości badanego wskaźnika jest już bardziej wyrównany i w tym miesiącu warto tylko odnotować nieco mniejszą liczbę dni z burzą w latach siedemdziesiątych. W maju przeciwnie. Przełom lat 60. i 70. charakteryzował się wysokimi liczbami dni burzowych, natomiast najmniej takich dni notowano na początku wielolecia. W czerwcu, w porównaniu z innymi miesiącami, wahania liczby dni burzowych były niewielkie (wskaźnik zmienności 27%) i poza nieznacznym spadkiem liczby dni z burzą od lat osiemdziesiątych trudno stwierdzić bardziej charakterystyczne zmiany. W lipcu natomiast wyróżniają się jedynie lata 50., w których występowało najwięcej opisywanych dni. Sierpień, jak już wcześniej wspomniano, wyróżniał się najbardziej wyrównaną liczbą dni z burzą w badanym okresie. We wrześniu więcej analizowanych dni występowało w pierwszej połowie wielolecia, natomiast w październiku – w drugiej. Ostatni z analizowanych miesięcy – listopad charakteryzował się zmniejszoną, w porównaniu ze średnią, liczbą dni z burzą na początku i na końcu analizowanego okresu.

Badając wieloletnią zmienność liczby dni z burzą, można również analizować roczną liczbę dni, podczas których chociaż na jednej stacji w kraju wystąpiła burza. Wnioski z tak przeprowadzonej analizy nie różnią się zbyt od poprzednich, warto jednak przedstawić tu dwa spostrzeżenia. Pierwsze – to jeszcze mniejsza zmienność liczby dni burzowych liczonych drugim sposobem (tab. 8 i 9). Drugie – to nie zawsze synchroniczne występowanie okresów zwiększonej liczby dni z burzą obliczanych według obu kryteriów. Dobrym przykładem tego rodzaju różnic jest porównanie wyników analiz dla rocznej liczby dni burzowych, szczególnie dotyczących połowy lat 50. i 90. W pierwszym przypadku, gdy liczba dni z burzą była obliczana jako średnia z danych ze wszystkich stacji, na początku analizowanego wielolecia wartości wskaźnika były znacznie niższe od średniej wieloletniej, czego nie zauważa się, badając roczną liczbę dni burzowych liczonych według drugiego kryterium, a wręcz przeciwnie, roczna liczba badanych dni w drugim przypadku należy do jednych z najwyższych w wieloleciu. Podobną różnicę, chociaż nie tak już wyraźną, zauważa się pod koniec badanego

Tabela 8

Wybrane charakterystyki rocznej i sezonowej liczby dni, w których przynajmniej na jednej stacji w Polsce w latach 1949–1998 wystąpiła burza

Table 8

Chosen characteristics of yearly and seasonal number of days in which at least at one station in Poland the thunderstorm occurred in the period 1949–1998

Wskaźnik	Pory roku				
	wiosna	lato	jesień	zima	rok
Średnia liczba dni z burzą	35,7	68,5	20,9	3,3	128,4
Maksymalna liczba dni z burzą	49	83	37	11	152
Minimalna liczba dni z burzą	23	54	11	0	106
Moda	42	68	19	1	115
Wskaźnik zmienności [%]	18	10	28	82	9

Tabela 9

Wybrane charakterystyki miesięcznej liczby dni, w których przynajmniej na jednej stacji w Polsce w latach 1949–1998 wystąpiła burza

Table 9

Chosen characteristics of monthly number of days in which at least at one station in Poland the thunderstorm occurred in the period 1949–1998

Wskaźnik	Miesiące											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Średnia liczba dni z burzą	1,2	1,1	3,5	11,1	21,1	22,7	23,9	21,9	13,9	5,0	2,0	1,1
Maksymalna liczba dni z burzą	8	6	11	20	28	29	31	29	25	17	0	0
Minimalna liczba dni z burzą	0	0	0	4	10	12	16	14	5	0	0	0
Moda	8	0	0	9	23	25	24	23	12	5	1	0
Wskaźnik zmienności [%]	152	130	80	39	17	16	16	15	29	67	106	138

okresu. Zaprezentowane różnice mogą świadczyć o występowaniu niezbyt wielu dni burzowych na poszczególnych stacjach, ale w różnych dniach roku. W sytuacji przeciwnej do przedstawionej wcześniej można podejrzewać, że burze w całym kraju (lub jakimś regionie) najczęściej pojawiały się w tych samych dniach roku. W przypadku analizowanego wskaźnika, mimo że wyniki badań biorących pod uwagę drugi sposób liczenia liczby dni burzowych zasadniczo nie różniły się od wcześniejszych, mogą podkreślać niektóre cechy występowania dni

z burzą. Taki sposób analizy również może się okazać pomocny w określaniu typów sytuacji pogodowych, które sprzyjają występowaniu burz.

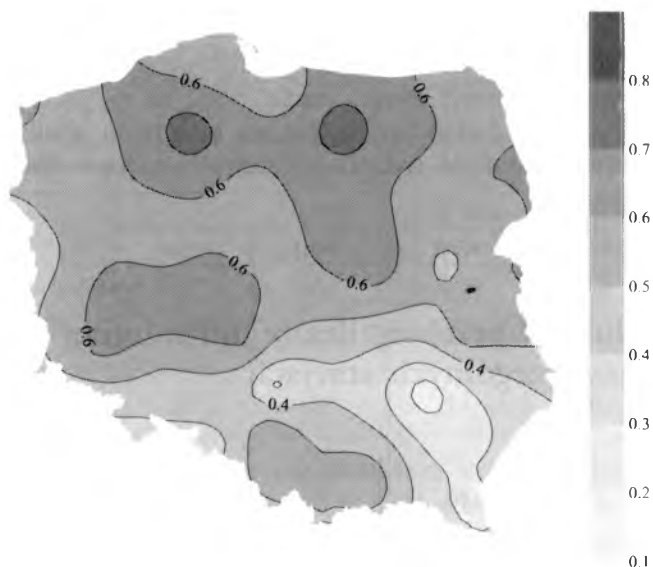
Przedstawione porównanie zwraca naszą uwagę na to, jak ważny jest dobór wskaźnika przyjętego do badań i jak należy być ostrożnym, analizując opracowania poświęcone temu samemu tematowi, a przeprowadzone nawet niewiele różniącymi się metodami.

3.2. Wieloletni przebieg liczby dni z burzą na poszczególnych stacjach

W poprzednim rozdziale przedstawiono przebieg średniej liczby dni burzowych w Polsce w latach 1949–1998, z uwzględnieniem wartości rocznych, sezonowych i miesięcznych. Ogólny wynik tej analizy wskazuje na niewielką zmienność rocznej liczby dni z burzą w wieloleciu i dopiero badania zmiany liczby tych dni w sezonach i miesiącach pozwoliły na wykazanie istnienia kilku cech charakteryzujących omawiany przebieg wieloletni. Najważniejszą z nich jest wzrost liczby dni burzowych notowanych w miesiącach zimowych oraz najmniejsze wahania liczby tych dni w sierpniu. Dalsza analiza została poświęcona sprawdzeniu, czy opisany wcześniej, uśredniony obraz zmian liczby dni burzowych w Polsce w badanym okresie znajduje potwierdzenie w zmienności liczby dni burzowych na poszczególnych stacjach.

W tym celu, jako pierwszy, zbadano związek pomiędzy przebiegiem średniej rocznej liczby dni opisywanych w Polsce a roczną liczbą dni burzowych na kolejnych stacjach. Obliczone w ten sposób współczynniki korelacji przedstawia tab. 10, a rozkład przestrzenny tego współczynnika został ukazany na ryc. 16. Wyniki te stały się podstawą do stwierdzenia, że największą zgodność z uśrednionym dla kraju przebiegiem mają stacje położone w północnej części Polski i na Nizinie Wielkopolskiej. Najbardziej podobne do średniego przebiegu były zmiany rocznej liczby dni burzowych w Chojnicach i w Olsztynie (współczynnik korelacji wynosił odpowiednio 0,78 i 0,77), a największe różnice wykazywał przebieg analizowanych dni w Sandomierzu i w Lesku (współczynnik był równy odpowiednio 0,14 i 0,21).

Następnym krokiem było zbadanie, czy istniały podobieństwa zmian rocznej liczby dni burzowych pomiędzy stacjami. Jak wykazano w rozdziale 2.1, możliwe jest wskazanie regionów w Polsce, w których statystyczne charakterystyki zmienności liczby dni z burzą są podobne. Dotyczy to przede wszystkim średniej, zakresu i współczynnika zmienności. Trudniejsze natomiast staje się wskazanie regionów, w których zachodziły podobne zmiany liczby dni burzowych w wieloleciu. Analizując liczbę dni z burzą w badanym okresie na wszystkich stacjach



Ryc. 16. Współczynnik korelacji pomiędzy średnią roczną liczbą dni z burzą w Polsce a rocznymi liczbami dni z burzą na poszczególnych stacjach w latach 1949–1998

Fig. 16. The correlation's coefficient between the average number of days with thunderstorm in Poland and the average number of days with thunderstorm at particular stations in the period 1949–1998

stwierdzono, że w niektórych latach różnice pomiędzy nawet najbliższymi położonymi stacjami były znaczne (ryc. 17). Potwierdzają to współczynniki korelacji obliczone dla kolejnych stacji. Największe podobieństwa wieloletniej zmienności badanego zjawiska można zauważyć w północnych regionach Polski. Najbardziej do siebie zbliżona okazała się zmienność rocznej liczby dni z burzą w Szczecinku i Chojnicach, dla których współczynnik korelacji wyniósł 0,78. Niewiele mniejsze podobieństwo przebiegu analizowanych dni występowało również na stacjach w Resku i Szczecinie (0,70), Ustce i Łęborku (0,72), a także pomiędzy:

- Kołobrzegiem a Ustką, Łęborkiem, Szczecinem, Reskiem, Szczecinkiem i Chojnicami,
- Koszalinem a Szczecinkiem, Reskiem i Chojnicami,
- Łęborkiem a Helem i Gdańskiem,
- Toruniem a Łodzią,
- Szczecinem a Szczecinkiem i Słubicami,
- Olsztynem a Kętrzynem i Białymstokiem,
- Leszmem i Wieluniem,
- Płockiem i Kołem

Tabela 10

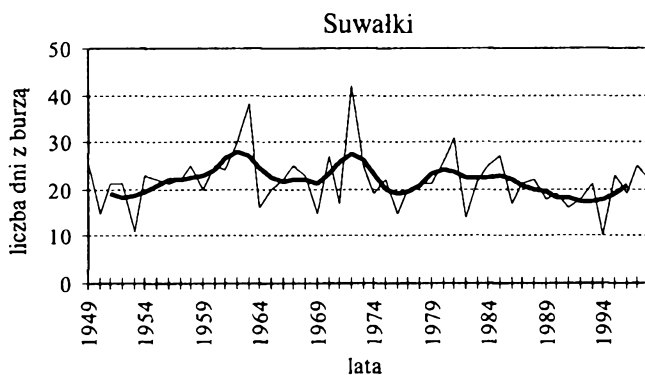
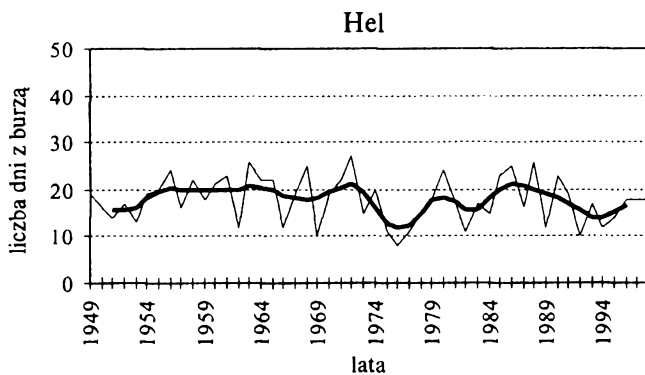
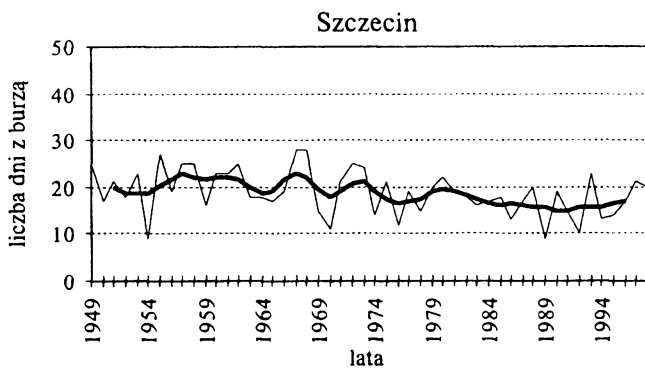
**Współczynnik korelacji rocznej liczby dni z burzą na wybranych stacjach
ze średnią roczną liczbą dni z burzą w Polsce w latach 1949–1998**

Table 10

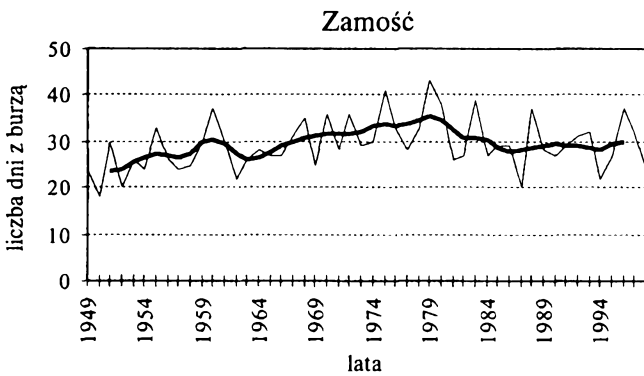
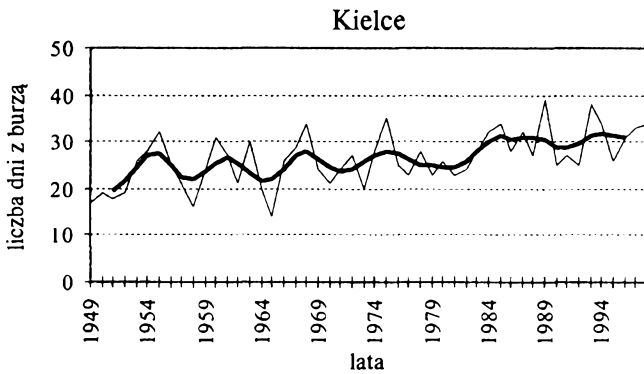
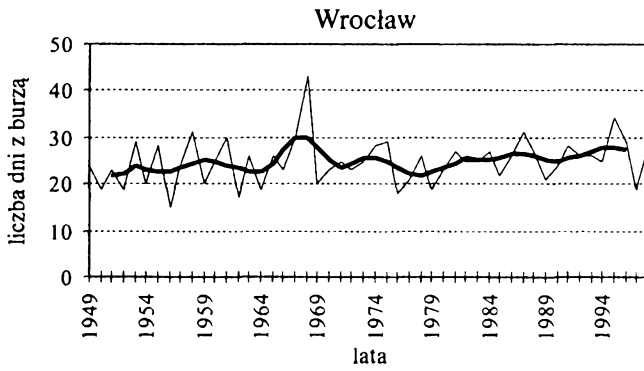
**Correlation coefficient between annual course of number of days
with thunderstorm at selected stations and average annual course
of number of days with thunderstorm in Poland in the period 1949–1998**

Stacja	Współczynnik korelacji*	Stacja	Współczynnik korelacji
Kołobrzeg	0,55	Zielona Góra	0,58
Koszalin	0,70	Legnica	0,63
Ustka	0,55	Leszno	0,68
Łeba	0,58	Wrocław	0,54
Lębork	0,55	Kalisz	0,67
Hel	0,58	Wieluń	0,60
Gdańsk	0,54	Łódź	0,57
Elbląg	0,57	Lublin	0,52
Kętrzyn	0,60	Włodawa	0,57
Suwałki	0,58	Jelenia Góra	0,57
Świnoujście	0,64	Śnieżka	0,44
Szczecin	0,57	Kłodzko	0,41
Resko	0,52	Opole	0,45
Szczecinek	0,67	Racibórz	0,35
Chojnice	0,78	Częstochowa	0,27
Toruń	0,56	Katowice	0,61
Mława	0,63	Kraków	0,49
Olsztyn	0,77	Kielce	0,36
Ostrołęka	0,59	Tarnów	0,46
Białystok	0,58	Rzeszów	0,25
Gorzów Wielkopolski	0,57	Sandomierz	0,14
Ślubice	0,42	Zamość	0,36
Poznań	0,52	Aleksandrowice	0,56
Koło	0,59	Zakopane	0,47
Płock	0,60	Kasprowy Wierch	0,36
Warszawa	0,67	Nowy Sącz	0,61
Siedlce	0,47	Lesko	0,21
Terespol	0,59	Przemyśl	0,29

* Współczynniki korelacji $\geq 0,28$ są istotne statystycznie na poziomie istotności 0,05.



Ryc. 17.
Fig. 17.



liczba dni z burzą
 wartości wygładzone 5-elementowym filtrem Gaussa

Ryc. 17. Liczba dni z burzą na wybranych stacjach w latach 1949–1998

Fig. 17. Number of days with thunderstorm at selected stations in Poland in the period 1949–1998

oraz pomiędzy stacjami położonymi na południu kraju:

- Jelenią Górą a Śnieżką i Kłodzkiem,
- Kłodzkiem a Śnieżką i Opolem,
- Lublinem i Włodawą,
- Włodawą i Terespołem,
- Aleksandrowicami a Raciborzem, Krakowem i Zakopanem,
- Zakopanem a Kasprowym Wierchem,

dla których współczynnik korelacji przekraczał 0,60.

Badając przebieg liczby dni z burzą na poszczególnych stacjach, dostrzec również można, iż trudno jest wydzielić okresy, w których na poszczególnych stacjach lub w regionach liczba dni burzowych zdecydowanie różniła się od średniej z pięćdziesięciolecia. Jedynie w przypadku kilku stacji można spróbować wskazać lata ze zdecydowanie większą lub mniejszą liczbą dni burzowych. Dotyczy to zwłaszcza stacji leżących na północy Polski, które charakteryzowały się większą zmiennością i większym zakresem zmian rocznej liczby dni burzowych (tab. 2, ryc. 7 i 8). Przykładem jest stacja Elbląg, gdzie w latach 50. występowało więcej dni burzowych niż w okresie późniejszym, a także stacje Lębork, Kołobrzeg, Koszalin i Hel, na których w pierwszej połowie lat 70. zanotowano znacznie mniej dni z burzą niż średnio w wieloleciu. Ostatni przykład dobrze wskazuje również na pojawianie się pewnych charakterystycznych zmian w przebiegu wieloletnim, które czasem występowały na kilku blisko leżących stacjach. Dotyczą one okresów charakteryzujących się szczególnie niską lub wyjątkowo wysoką liczbą dni burzowych. Dobrą ilustracją takich sytuacji, poza opisaną wcześniej, jest wysoka liczba dni z burzą w 1968 roku w Gorzowie Wielkopolskim, Zielonej Górze, Lesznie, Legnicy i we Wrocławiu, czy też w 1972 roku w Kętrzynie, Suwałkach, Ostrołęce i w Białymstoku. Prawdopodobnie oznacza to, że w wymienionych latach w danym regionie dominującą rolę w występowaniu burz odegrała cyrkulacja atmosfery i lokalne różnice klimatyczne nie zdołały zatrzeć jej wpływu.

Ponadto warto zwrócić uwagę na brak wyraźnych trendów określających zmiany liczby dni z burzą w wieloleciu (współczynniki kierunkowe regresji dla poszczególnych stacji bliskie zera i rzadko przekraczające $\pm 0,1$). Na większości stacji, szczególnie tych leżących na południu lub w centrum Polski, liczba dni burzowych jest tak wyrównana, że trudno nawet znaleźć krótkie okresy ich wzrostu czy też spadku. I chociaż na kilku stacjach można dostrzec bardziej wyraźne zmiany (np. wzrost liczby dni burzowych w Kielcach, Lublinie i w Białymstoku, czy spadek liczby dni z burzą w Toruniu, w Łodzi i na Kasprowym Wierchu), to są one nieznaczne i jedynie w przypadkach Kielc i Włodawy wzrost liczby dni burzowych od początku badanego okresu, obliczony na podstawie równania regresji prostoliniowej, wyniósł około 11 dni. Na pozostałych stacjach obliczone równania regresji są co prawda istotne statystycznie na poziomie ufności 90% i więcej, jednak niskie współczynniki korelacji, a także determinacji stanowią podstawę pominięcia ich w dalszej analizie.

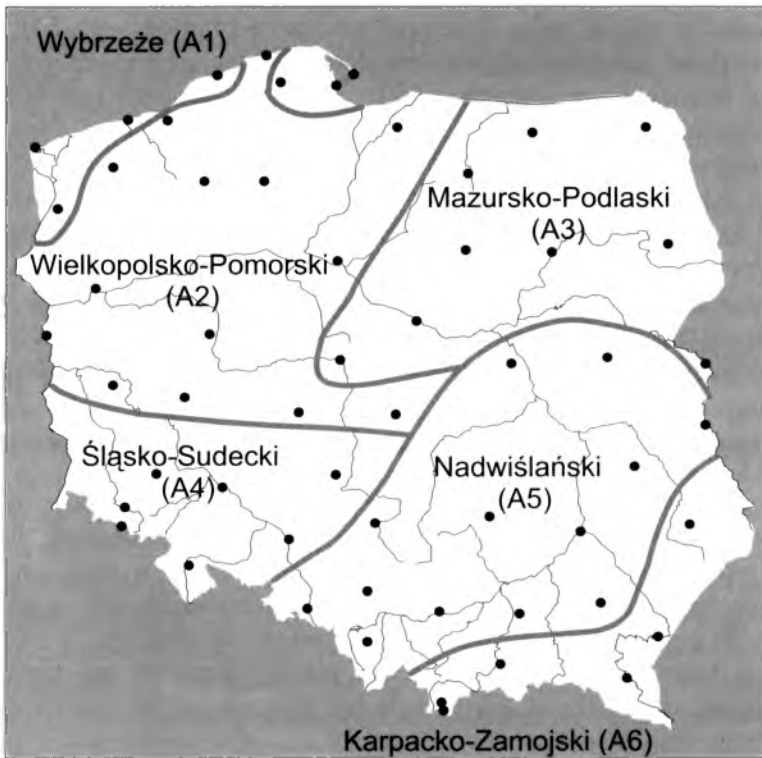
Dotychczas przedstawione wyniki badań z jednej strony wskazują na ogólnie niewielką zmienność wieloletnią liczby dni burzowych i na niezbyt silne korelacje tej zmienności pomiędzy stacjami. Z drugiej strony można zauważyć wspólne cechy liczby dni burzowych łączące stacje w grupy regionalne. Ponadto rozpatrując podobieństwa zmienności liczby dni z burzą na poszczególnych stacjach i porównując je między sobą, dostrzega się pewną prawidłowość. Dotyczy ona bardziej wartości uśrednionych, ale dość dobrze oddaje ogólne tendencje zmian. Chodzi tu mianowicie o występowanie na sąsiednich stacjach podobnych okresów wzrostu lub spadku liczby dni z burzą. Jednak podobieństwa te nie odnoszą się do całego wielolecia, a tylko do kilkunastu lub kilkudziesięciu lat. I w ten sposób na jednej stacji liczba badanych dni w krótszych okresach wykazuje podobieństwo do liczby dni burzowych z różnych stacji. Dlatego w niektórych regionach zauważa się silniej zaznaczające się zmiany opisywanego wskaźnika i jego stopniowe wygasanie wraz ze wzrostem odległości od takiego obszaru, ale tylko w pewnym okresie. W latach następnych stacje, na których wcześniejszy „sygnał” był najmocniejszy, mogą się znaleźć na „peryferiach” innego, podobnego obszaru.

Regiony burzowe w świetle wieloletniej zmienności liczby dni z burzą

Wszystkie wcześniejsze uwagi stały się podstawą do poszukiwania innych sposobów wydzielenia regionów, w których wieloletnia zmienność liczby dni z burzą jest podobna. W rezultacie zdecydowano się na wykorzystanie jednej z coraz częściej stosowanych w klimatologii obiektywnych metod grupowania obiektów. W niniejszej pracy posłużono się analizą skupień opartą na metodzie K-średnich, która badany obiekt zalicza do jednej z grup, tak aby suma kwadratów odległości od środka skupienia była jak najmniejsza. W wyniku tej analizy otrzymujemy skupienia obiektów najbardziej do siebie podobnych i najbardziej odróżniające się od pozostałych.

W toku przeprowadzonej analizy wykonano kilka prób pogrupowania wszystkich stacji ze względu na podobieństwo zmian liczby dni z burzą w badanym okresie, przyjmując liczbę skupień od 3 do 10. Podejmując decyzję o wyborze jednego z wyników regionalizacji, kierowano się liczebnością skupień (liczba stacji powinna być zbliżona i wynosić 3 lub więcej stacji), a także istnieniem istotnych różnic w zmienności liczby dni burzowych w otrzymanych regionach. W rezultacie przyjęto podział na 6 regionów, którego podstawą był podział na sześć skupień i porównanie go z podziałem wszystkich stacji na 5 i 7 grup. Porównanie to spowodowało włączenie Zakopanego i Kasprowego Wierchu do Regionu zwanego Karpacko-Zamojskim, a także podział dużego regionu pojezierzy na dwa mniejsze. Wydzielonym w ten sposób regionom przypisano odpowiednią numerację (A1, A2 itp., gdzie A oznacza podział regionalny ze względu na przebieg wieloletni, cyfry arabskie zaś są numerem regionu). Dodatkowo, ponieważ podział ten uznano za najważniejszy w niniejszym opracowaniu, regionom tym

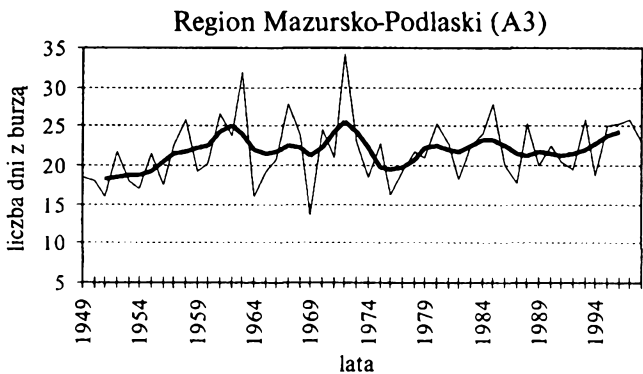
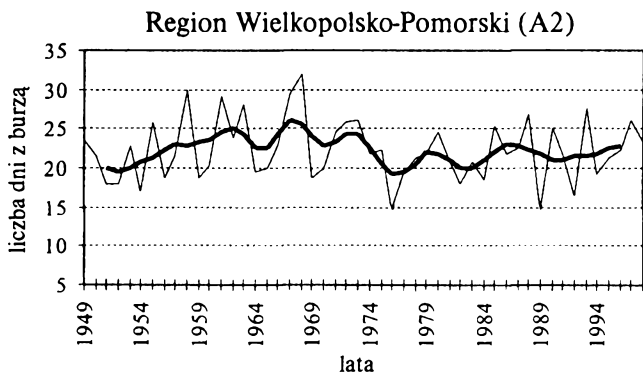
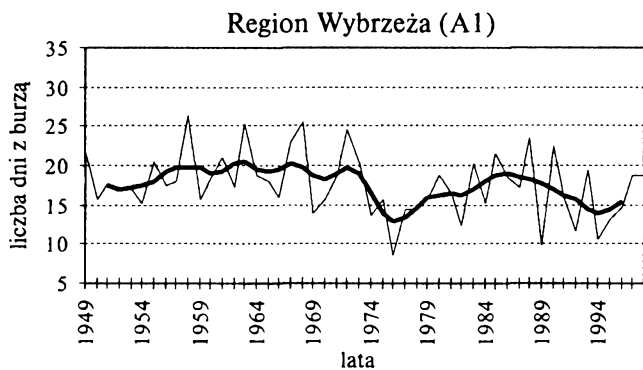
postanowiono nadać nazwy najważniejszych krain geograficznych wchodzących w ich skład. Otrzymany podział przedstawia ryc. 18, a uśredniona zmienność liczby dni burzowych i wybrane charakterystyki statystyczne są zamieszczone w tab. 11 i na ryc. 19.



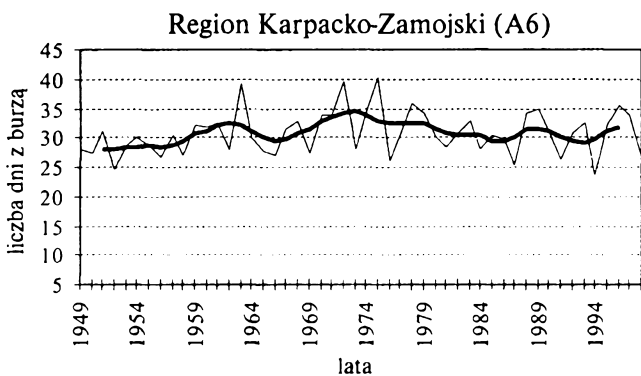
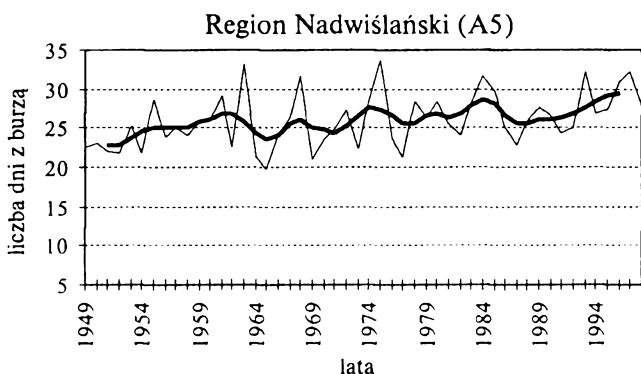
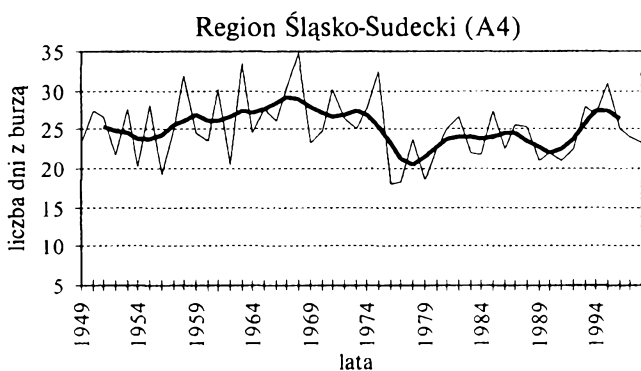
Ryc. 18. Podział Polski na regiony burzowe ze względu na podobieństwa wieloletniej zmienności liczby dni z burzą w latach 1949–1998

Fig. 18. Thunderstorm's regions in Poland distinguished on the ground of long-term variability of the number of days with thunderstorm in the period 1949–1998

Do pierwszego z wydzielonych regionów – Wybrzeża (A1) zalicza się osiem stacji. Pięć z nich (Świnoujście, Kołobrzeg, Ustka, Gdańsk i Hel) to stacje leżące nad samym morzem, natomiast pozostałe (Szczecin, Łębork i Szczecinek) są położone już w pewnej odległości od wybrzeża. Jak można zauważyć, Szczecinek, mimo że geograficznie znajduje się już w innym regionie, jest zaliczany do pierwszej grupy stacji, gdyż zaobserwowane zmiany liczby dni burzowych najbardziej są podobne do zmienności występującej właśnie w regionie pierwszym. Ponadto, dopiero 8 wariant podziału na poszczególne skupienia umieścił tę stację w innym regionie. Drugi – Region Wielkopolsko-Pomorski (A2) skupia trzyna-



Ryc. 19.
Fig. 19.



liczba dni z burzą
 wartości wygładzone 5-elementowym filtrem Gaussa

Ryc. 19. Średnia liczba dni z burzą w poszczególnych regionach w Polsce w latach 1949–1998

Fig. 19. The average number of days with thunderstorm in particular thunderstorm's regions in Poland in the period 1949–1998

Tabela 11

Wybrane charakterystyki statystyczne rocznej liczby dni z burzą w poszczególnych regionach burzowych w Polsce w latach 1949–1998

Table 11

Chosen statistic characteristics annual number of days with thunderstorm in particular thunderstorm's regions in Poland in the period 1949–1998

Wskaźnik	Regiony					
	Wybrzeże	Wielkopolsko-Pomorski	Mazurski	Śląsko-Sudecki	Nadwiślański	Karpacko-Zamojski
Średnia liczba dni z burzą	17,8	22,3	21,9	26,1	25,2	30,8
Moda	16	22	23	24	25	31
Maksymalna liczba dni z burzą	26	32	34	34	35	40
Minimalna liczba dni z burzą	9	15	14	20	18	16
Zakres zmienności	17	17	20	14	17	28
Wskaźnik zmienności [%]	22,7	17,7	18,7	13,3	15,7	12,1
Współczynnik korelacji ze średnią liczbą dni z burzą w Polsce	0,75	0,88	0,85	0,69	0,72	0,58

Współczynniki korelacji $\geq 0,28$ są istotne statystycznie na poziomie istotności 0,05.

ście stacji, z których w stosunku do czterech (Reska, Koszalina, Łeby i Elbląga), ze względu na odległość od wybrzeża, można się było spodziewać zaliczenia ich do regionu pierwszego. W Regionie Mazurskim (A3) znalazło się dziewięć stacji z Pojezierza Mazurskiego, Podlasia i Polesia. Południowa część Polski została podzielona na trzy regiony. Do Regionu Śląsko-Sudeckiego (A4) zaliczono siedem stacji znajdujących się na Nizinie Śląskiej i w Sudetach. Region Nadwiślański (A5), najbardziej zróżnicowany fizjograficznie, skupia dwanaście stacji położonych na wyżynach oraz w Kotlinie Sandomierskiej i na Nizinie Mazowieckiej. Wyróżniającym się regionem jest Region Karpacko-Zamojski (A6) (zaznaczający się we wszystkich wariantach grupowania), do którego należy pięć stacji z Karpat oraz Zamość. Trzeba również dodać, że w trakcie przeprowadzania regionalizacji postanowiono nie włączać do niej wyników z Częstochowy. Decyzję tę podjęto, ponieważ ta właśnie stacja niezależnie od liczby skupień przyjętych do analizy zawsze okazywała się stacją nie odpowiadającą żadnemu z otaczających regionów. Na podstawie wyników i wcześniejszych analiz zachodzi podejrzenie o niewłaściwe przeprowadzanie obserwacji na tej stacji.

Porównując wydzielone regiony pomiędzy sobą stwierdzono, że w regionach zachodnich zauważa się niewielką tendencję do spadku rocznej liczby dni burzowych (najbardziej widoczną na Wybrzeżu) oraz mniejszą zmienność wartości badanego wskaźnika po 1976 roku (ryc. 19). Regiony wschodnie cechuje wzrost liczby dni burzowych, najbardziej wyraźny w Regionie Nadwiślańskim (A5). Oczywiście średnia liczba dni z burzą w regionach odzwierciedla ogólny wzrost liczby tych dni z północnego zachodu na południowy wschód – najmniejsza

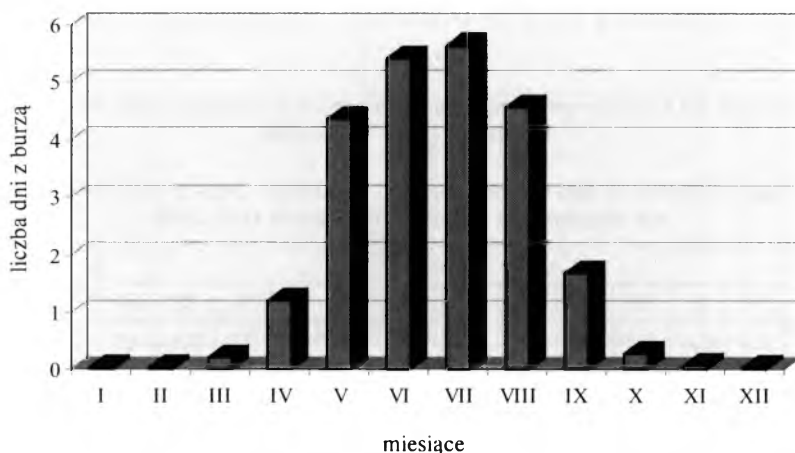
(17,8 dnia w roku) jest na Wybrzeżu (A1), a największa w Regionie Karpacko-Zamojskim (A6) (30,8 dnia). Analiza zmienności liczby dni z burzą wykazała, że roczna liczba dni burzowych najbardziej zmienia się w Regionie Wybrzeża (A1) (współczynnik zmienności 22,7%), a najmniej w regionach górskich, odpowiednio: 13,3% w Regionie Śląsko-Sudeckim (A4) i 12,1% w Regionie Karpacko-Zamojskim (A6). Niemniej jednak badając występowanie okresów odznaczających się większą lub mniejszą liczbą dni z burzą, można dostrzec znaczne różnice regionalne. Najbardziej do siebie zbliżone zmiany analizowanych dni mają regiony: Wybrzeże (A1), Wielkopolsko-Pomorski (A2) i Mazursko-Podlaski (A3). Zaznaczają się tam wysokie wartości liczby dni burzowych od końca lat 50. do przełomu lat 60. i 70. W połowie lat 70. w regionach tych nastąpił spadek liczby dni burzowych (najbardziej widoczny na Wybrzeżu) i dopiero od połowy lat 80. ponownie notowano wyższe wartości badanego wskaźnika. Opisany spadek liczby dni z burzą w latach 70. zaznaczył się również w Regionie Śląsko-Sudeckim (A4), jednak na obszarze tym podobny spadek zaobserwowano także pod koniec lat 90. W odróżnieniu od poprzednich regionów na stacjach badanego obszaru wyraźny jest również wzrost liczby dni z burzą w ostatnich latach analizowanego okresu. Dwa pozostałe regiony: Nadwiślański (A5) i Karpacko-Zamojski (A6) charakteryzują się brakiem okresów wyraźnych zmian liczby dni burzowych i w obu przypadkach dostrzega się wzrost liczby opisywanych dni od początku badanego wielolecia, przy czym w Regionie Nadwiślańskim (A5) jest on bardziej widoczny. Porównując przedstawioną zmienność liczby dni z burzą w regionach z wieloletnimi zmianami liczby tych dni w Polsce stwierdzono, że najbardziej zbliżone zmiany występują w regionach północnej Polski, gdzie współczynnik korelacji wynosi powyżej 0,70, a największe różnice zauważalne są w przypadku Regionu Karpacko-Zamojskiego (A6), dla którego współczynnik korelacji wynosi 0,58 (tab. 11).

Przyjęty podział Polski na regiony burzowe, wydzielone na podstawie wieloletnich ciągów liczby dni z burzą, porównano z przedstawionym w rozdziale 1.2 podziałem M. STOPY (1965). Podział zaproponowany przez M. Stopę opierał się na wielu cechach rozkładu przestrzennego zjawisk burzowych, natomiast nie uwzględniał zmienności wieloletniej liczby burz czy dni z burzą. Z tego względu regiony wydzielone w niniejszej pracy różnią się od regionów burzowych wymienionej autorki. Przede wszystkim jest ich dużo mniej i obejmują bardziej zróżnicowany obszar. Niemniej jednak dostrzega się pewne podobieństwa w obu podziałach. Podobne są zwłaszcza regiony nadmorskie i karpackie. Stanowi to niewątpliwie odbicie dużego wpływu warunków fizyczno-geograficznych na liczbę dni burzowych i reżim ich występowania. Ponadto, zasięg Regionu Śląsko-Sudeckiego (A4) (w obu klasyfikacjach zwanego tak samo) jest podobny, a Region Nadwiślański (A5) można potraktować jako sumę mniejszych regionów wyznaczonych przez M. Stopę, należących do jednej strefy burzowej. W przypadku regionów Wielkopolsko-Pomorskiego (A2) i Mazursko-Podlaskiego (A3) analizowa-

ne podobieństwa są już znacznie mniejsze, a w granicach tych regionów mieści się kilka regionów wyróżnionych w pracy M. Stopy, które należą do różnych stref burzowych.

3.3. Przebieg liczby dni z burzą w ciągu roku w Polsce

Badając zmienność liczby dni z burzą, nie można pominąć rocznego rozkładu wartości tego wskaźnika. W rozdziale 2.1, opisując przestrzenną zmienność liczby dni burzowych w roku, sezonach i miesiącach, podano już podstawowe cechy takiego uśrednionego rozkładu dla Polski. Przypomnijmy tylko, że okres najczęstszego występowania burz zaczyna się w kwietniu i trwa do końca września. W miesiącach tych wystąpiło 96,6% wszystkich badanych dni z burzą, a średnia miesięczna liczba tych dni wahała się od 1,2 dnia w kwietniu do 5,6 dnia w lipcu (ryc. 20). Okres ten (średnia liczba dni burzowych w miesiącu większa od 1) przyjęto nazywać okresem aktywności burzowej. Podobny termin „aktywność burzowa” wprowadził wcześniej L. KOLENDOWICZ (1996), który jednak pod tym pojęciem rozumiał występowanie dni burzowych na poszczególnych stacjach. Za początek/koniec aktywności burzowej autor uznał średnią datę wystąpienia pierwszego/ostatniego dnia z burzą w roku średnim. Natomiast okres pomiędzy średnimi datami wystąpienia pierwszego i ostatniego dnia burzowego nazwał potencjalnym okresem występowania dni z burzą. Przyjęcie innego



Ryc. 20. Średnia liczba dni z burzą w miesiącach w Polsce w latach 1949–1998

Fig. 20. The average number of days with thunderstorm in months in Poland in the period 1949–1998

kryterium wydzielenia sezonu, w którym burze pojawiają się najczęściej, podyktowane było stosunkowo dużym procentem badanych dni (ponad 12% wszystkich przypadków), jakie występowały już w kwietniu i jeszcze we wrześniu. Nie byłyby one brane pod uwagę, gdyby uwzględniano średnie daty pierwszych i ostatnich dni z burzą.

Przedstawiony wcześniej uśredniony rozkład liczby dni z burzą jest obrazem bardzo zgeneralizowanym. Obliczony został na podstawie obserwacji z obszaru całej Polski z okresu 50 lat. Jednak biorąc nawet pod uwagę wszystkie uwzględnione w analizie stacje, w ciągu jednego roku rozkład taki może się bardzo różnić od rozkładu średniego. Z tego powodu z zastosowaniem metody analizy skupień podjęto próbę określenia kilku typów przebiegu liczby dni burzowych w ciągu roku. Rezultatem takich prób było wydzielenie 6 typów rocznego rozkładu liczby dni z burzą (ryc. 21).

Osiem lat z pięćdziesięciu analizowanych (typ 1) odznaczało się zdecydowanie największą liczbą dni z burzą w lipcu (średnio 7,7 dnia) oraz stopniowym wzrostem liczby tych dni od początku roku do lipca i dość szybkim spadkiem w następnych miesiącach (tab. 12). Najbardziej zbliżony do poprzedniego jest typ 3 analizowanego rozkładu. Jest on zarazem najbardziej zbliżony do średniego rozkładu z wielolecia, chociaż liczba dni burzowych w 11 latach zaliczanych do tego typu była większa (25,8 dnia) niż średnio w wieloleciu. Drugi i piąty typ rozkładu cechowała największa średnia liczba dni z burzą w roku (odpowiednio 26,5 dnia i 27,8 dnia). W typie 2 w trzech miesiącach z czterech, w których burze notuje się najczęściej, średnia liczba dni burzowych była prawie identyczna (maj, czerwiec i sierpień – około 6 dni), natomiast w lipcu miał miejsce wyraźny spadek liczby tych dni do wartości niewiele większych niż w kwietniu i we wrześniu. Cechą odróżniającą typ 5 od pozostałych jest maksimum liczby dni burzo-

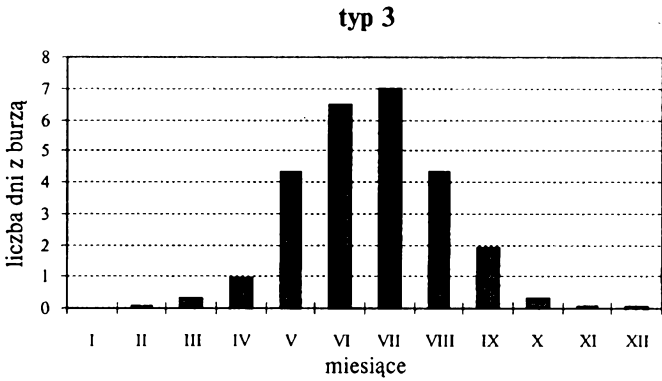
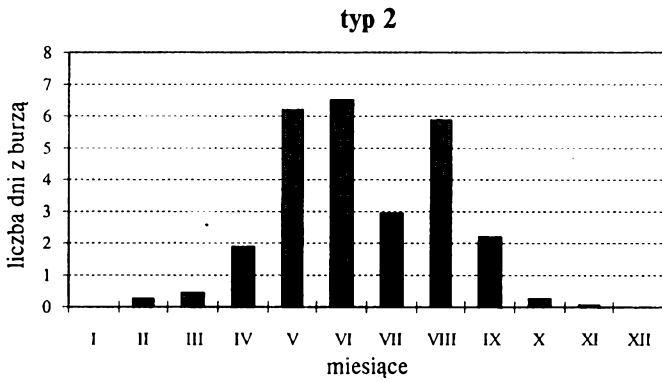
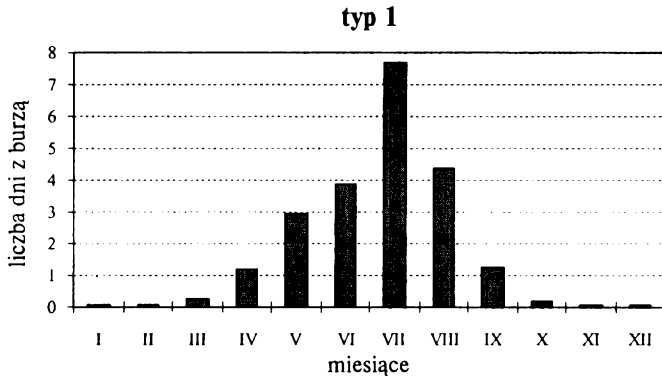
Tabela 12

Średnia liczba dni z burzą w poszczególnych typach rocznego rozkładu liczby dni burzowych w Polsce w latach 1949–1998

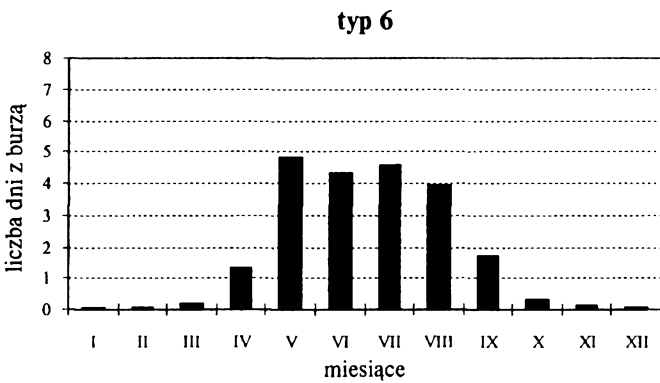
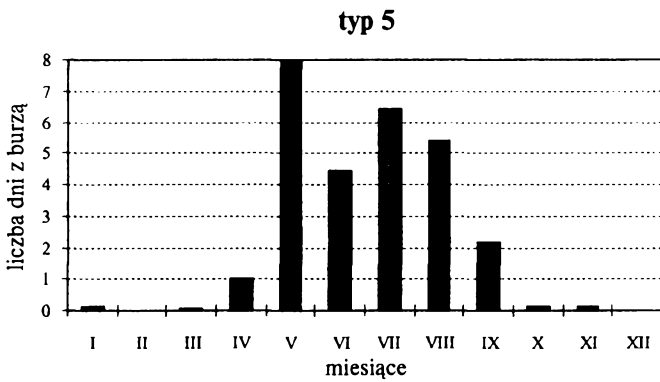
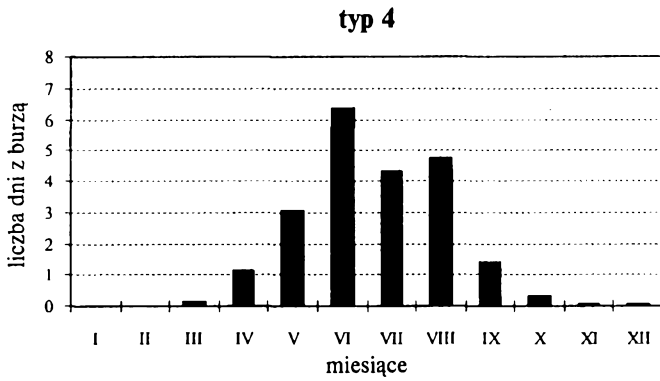
Table 12

The average of number of days with thunderstorm in particular types of yearly course of days with thunderstorm in Poland in the period 1949–1998

Typy	Miesiące												Suma	Liczba lat
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
Typ 1	0,1	0,1	0,2	1,2	2,9	3,9	7,7	4,4	1,3	0,2	0,1	0,0	21,9	8
Typ 2	0,0	0,3	0,4	1,9	6,2	6,5	2,9	5,9	2,2	0,3	0,1	0,0	26,5	3
Typ 3	0,0	0,1	0,3	1,0	4,3	6,4	7,0	4,3	1,9	0,3	0,1	0,1	25,8	11
Typ 4	0,0	0,0	0,1	1,1	3,1	6,3	4,3	4,8	1,4	0,3	0,1	0,1	21,7	12
Typ 5	0,1	0,0	0,1	1,0	7,9	4,4	6,4	5,4	2,2	0,1	0,1	0,0	27,8	4
Typ 6	0,1	0,0	0,2	1,4	4,8	4,3	4,6	3,9	1,7	0,3	0,1	0,0	21,5	12



Ryc. 21.
Fig. 21.



Ryc. 21. Typy rocznego przebiegu liczby dni z burzą w Polsce w latach 1949–1998

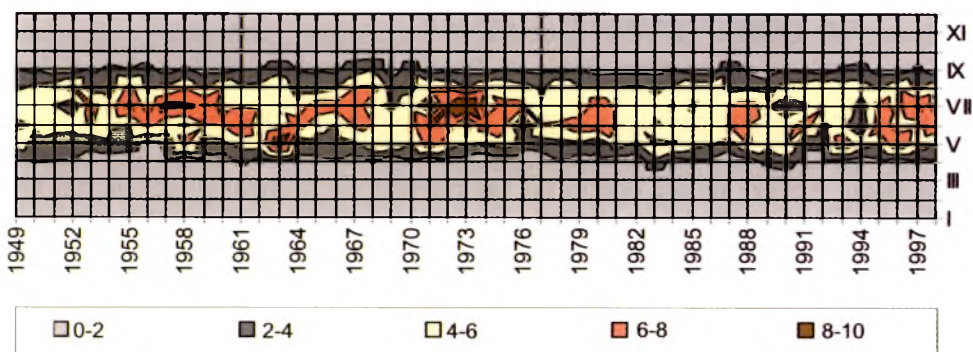
Fig. 21. Types of yearly course of days with thunderstorm in Poland in the period 1949–1998

wych przypadające na maj, w którym notowano ich niemal 8. Liczba lat reprezentująca oba opisane typy jest niewielka, ale ze względu na bardzo charakterystyczny rozkład roczny zdecydowano się na ich wydzielenie. Dwa ostatnie typy (4 i 6) reprezentowane są przez 12 lat każdy i cechują się niską średnią liczbą dni burzowych w roku (21,7 dnia i 21,5 dnia), przy czym typ 4 wyróżnia się największą liczbą badanych dni występujących w czerwcu, a typ 6 najbardziej wyrównaną liczbą dni z burzą notowaną od maja do sierpnia (od 3,9 dnia w sierpniu do 4,8 dnia w maju).

Na podstawie tego krótkiego przeglądu przedstawionych typów rocznego rozkładu liczby dni z burzą i ich zmienności w wieloleciu łatwiej zauważyć różnice w występowaniu burz, których zwykle sobie nie uświadamiamy. Zazwyczaj nie zwracamy większej uwagi na to, w którym miesiącu wystąpiło najwięcej burz, a ich występowanie wiążemy jedynie z miesiącami najcieplejszymi jako jednym sezonem.

Przedstawione różnice rocznego rozkładu liczby analizowanych dni, prezentowane przez poszczególne typy rozkładu, wynikają zapewne z odmiennych warunków pogodowych, jakie panowały w kolejnych latach. Być może mogłyby być one wykorzystane jako jeden z elementów charakteryzujących warunki pogodowe czy klimatyczne panujące w danym okresie w poszczególnych regionach. W związku z tym postanowiono zbadać występowanie przedstawionych typów rocznego rozkładu liczby dni z burzą w wieloleciu. I chociaż stwierdzono, że typ 1 występował głównie w pierwszej połowie badanego okresu (w drugiej połowie wystąpił tylko w 1992 roku), a typ 6 najczęściej występował w latach 80., to w przypadku występowania pozostałych typów nie można dostrzec żadnych prawidłowości.

Jeszcze wyraźniej zmienność tę reprezentuje ryc. 22, która przedstawia zmiany średniej liczby dni z burzą w wieloleciu i jednocześnie zmienność jej rozkładu



Ryc. 22. Izoplety średniej miesięcznej liczby dni z burzą w Polsce w latach 1949–1998

Fig. 22. Isoleths of mean monthly number of days with thunderstorm in Poland in the period 1949–1998

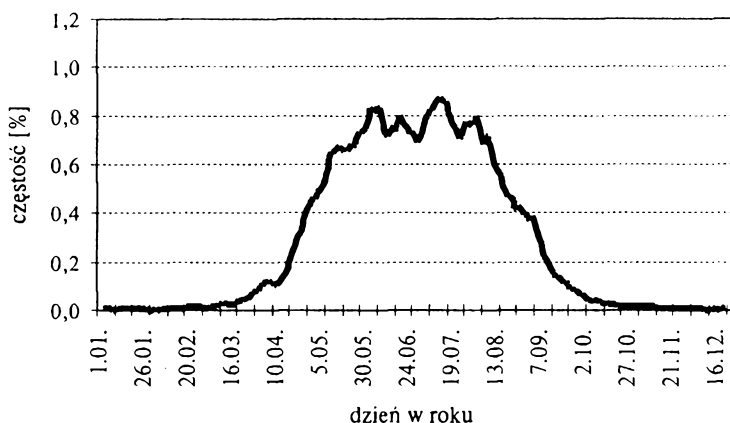
rocznego. Opierając się na tym wykresie łatwo można ocenić, w jakich miesiącach występowało najwięcej dni z burzą oraz lata cechujące się bardziej równomiernym przebiegiem dni burzowych. W analizowanym przypadku stwierdzono, że w Polsce okres największej liczby dni burzowych może być bardzo krótki (trwający 1 lub 2 miesiące), jak np. w 1977 roku czy w początkach lat 50. Może również trwać cztery miesiące, w których liczba dni z burzą osiąga zbliżone wartości. Łatwo też wydzielić lata, w których miesięczne maksimum liczby dni burzowych jest wyraźnie widoczne (np. lata 1963, 1973, 1997) i przypada w różnych miesiącach. Przykładem jest bardzo szybki wzrost liczby dni burzowych w 1963 roku czy w 1993 roku, w których największa liczba dni z burzą była notowana już w maju, albo 1955 rok z maksimum w lipcu. Zdarzyć się mogą także lata, takie jak 1958 rok, w których zaznacza się wyraźnie wysoka liczba dni z burzą przedzielona okresowym spadkiem jej wartości.

Interesujące wydawało się porównanie ukazanej wcześniej wieloletniej zmienności liczby dni burzowych w Polsce z przedstawionymi na wstępie zmianami liczby dni z burzą w innych regionach na świecie. Okazało się, że różnice w sposobie opracowania badanego zjawiska oraz różnice długości okresów, z których pochodzą dane, utrudniają przeprowadzenie takiej analizy. Niemniej jednak stwierdzono, że w porównaniu z obszarami, w których klimat odznacza się wyraźnymi cechami oceanicznymi lub kontynentalnymi, liczba burz występujących w Europie Środkowej charakteryzuje się niezbyt dużymi zmianami wieloletnimi. Na stacjach tego regionu nie zauważa się również istotnych tendencji zmian badanego wskaźnika ani występowania okresów odznaczających się zdecydowanie większą liczbą dni burzowych.

3.4. Przebieg liczby dni z burzą w ciągu roku na poszczególnych stacjach

Omówiony w poprzednim rozdziale średni roczny rozkład liczby dni z burzą w Polsce porównano z analogicznymi rozkładami obliczonymi dla poszczególnych stacji. Analizy tej nie oparto tak jak poprzednio na średniej liczbie dni burzowych w miesiącu, ale na częstości występowania dni burzowych w określonym dniu kalendarzowym w stosunku do wszystkich przypadków dni z burzą, które wystąpiły w wieloleciu. Dało to możliwość pełniejszego ukazania zróżnicowania występowania dni burzowych w ciągu roku.

Na ryc. 23 pokazano – opracowany według podanej metody – przebieg częstości liczby dni z burzą w Polsce. Jak można zauważyć, po okresie zimowym, w którym burze pojawiają się niezwykle rzadko, od początku kwietnia liczba dni z burzą wzrasta systematycznie i od połowy maja do połowy sierpnia utrzy-



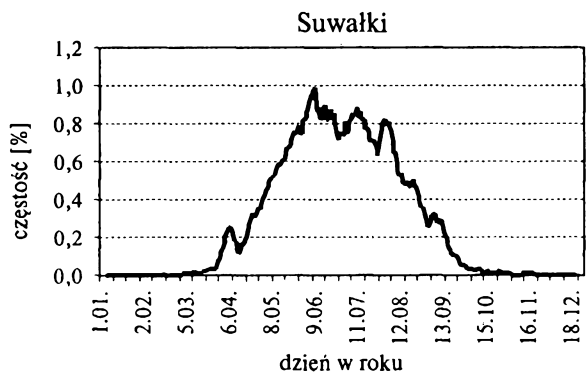
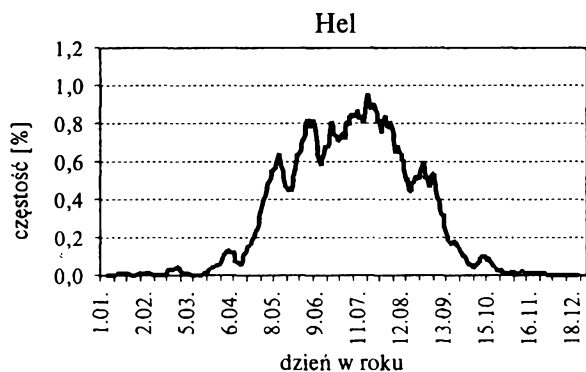
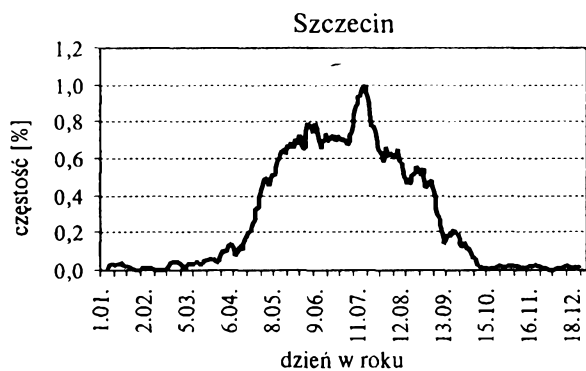
Ryc. 23. 10-dniowe średnie ruchome częstotliwości [%] liczby dni z burzą w kolejnych dniach roku (w stosunku do wszystkich przypadków dni z burzą) w Polsce w latach 1949–1998

Fig. 23. 10-day moving average of frequency [%] of number of days with thunderstorm for individual day of year in Poland in the period 1949–1998

muje się na podobnym poziomie (częstość około 0,8%). Następne tygodnie roku to nieco wolniejszy niż wiosenny wzrost, spadek liczby dni burzowych i sporadyczne ich występowanie od początku października.

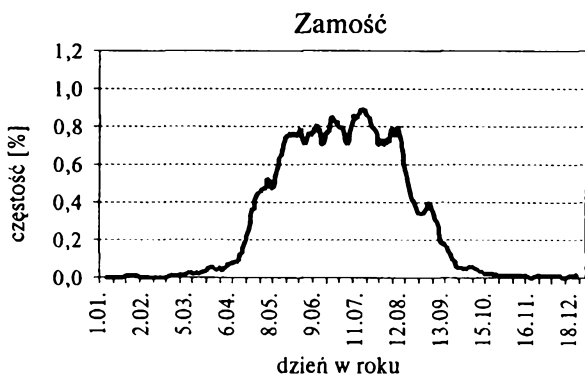
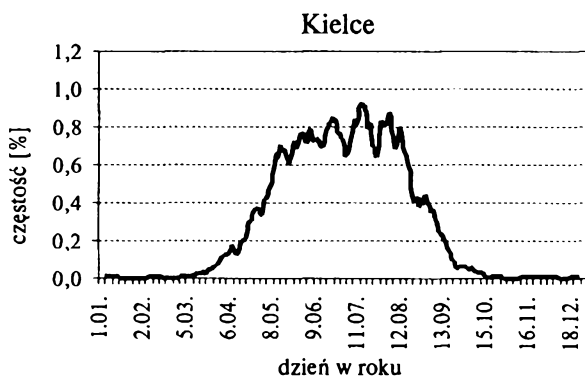
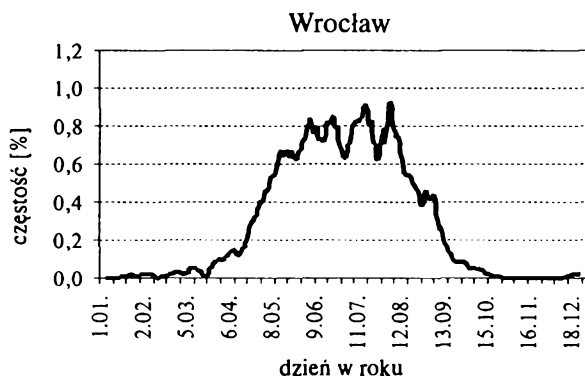
Porównując z przedstawionym rozkładem częstości dni burzowych w Polsce, a także pomiędzy sobą podobne rozkłady dni z burzą dla poszczególnych stacji, dostrzeżono kilka interesujących zależności (ryc. 24). Pierwsza cecha, którą można zauważyć, to zbliżony na wszystkich stacjach przebieg częstości dni z burzą (współczynnik korelacji 0,70) oraz bardzo duże podobieństwo rozkładu badanego wskaźnika (współczynnik korelacji 0,90 i więcej) na stacjach położonych najbliżej siebie lub leżących w określonych regionach kraju.

Badając zmianę częstości dni z burzą w ciągu roku, zauważono także, że jest ona mniej zróżnicowana w Polsce południowej i wschodniej, natomiast większe zmiany widoczne są w regionach północno-zachodnich. Właśnie na stacjach leżących na Pomorzu w okresie największej aktywności burzowej najwyraźniej zaznaczają się niższe wartości częstości dni z burzą (nawet 0,4% w Ustce). Można również dostrzec, że na stacjach tych okres największej częstości dni z burzą jest o około 15 dni do 30 dni dłuższy niż na stacjach w południowo-wschodniej części kraju. Prawie na wszystkich stacjach spadek liczby dni burzowych jest wolniejszy niż ich wiosenny wzrost. Jednak im bardziej północne i zachodnie położenie stacji, tym spadek ten jest wolniejszy i zauważa się, opisywaną we wcześniejszych rozdziałach, większą częstość występowania jesiennych i zimowych dni z burzą. Przedstawione zróżnicowanie dobrze ilustruje prze-



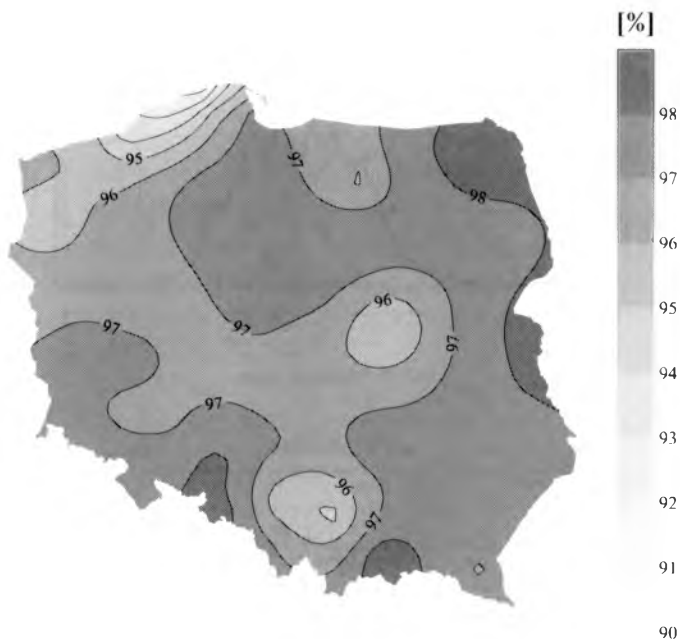
Ryc. 24.

Fig. 24.



Ryc. 24. 10-dniowe średnie ruchome częstości [%] liczby dni z burzą w kolejnych dniach roku (w stosunku do wszystkich przypadków dni z burzą) na wybranych stacjach w latach 1949–1998

Fig. 24. 10-day moving average of frequency [%] of number of days with thunderstorm for individual day of year at selected stations in Poland in the period 1949–1998



Ryc. 25. Wskaźnik rocznej aktywności burzowej w Polsce w latach 1949–1998

Fig. 25. Index of annual thunderstorm's activity in Poland in the period 1949–1998

strzenny rozkład wskaźnika, nazwanego wskaźnikiem rocznej aktywności burzowej (ryc. 25). Został on obliczony jako stosunek liczby dni z burzą występujących od kwietnia do września do wszystkich zanotowanych dni burzowych.

$$\text{wskaźnik rocznej aktywności burzowej} = \frac{\text{liczba dni z burzą (IV–IX)}}{\text{liczba wszystkich dni burzowych}} \cdot 100[\%].$$

Rozkład tego wskaźnika wyraźnie wskazuje regiony, w których okres największej częstości dni z burzą jest dłuższy niż gdzie indziej. Średnio dla Polski wskaźnik ten był równy 97%, natomiast na obszarze całego kraju zmieniał się od 91% na północy (w Łebie) do 99% na południu i na wschodzie (w Suwałkach, Terepolu i Nowym Sączu). Niższymi wartościami wskaźnika odznaczały się również Kraków, Katowice, Warszawa (95%) i Olsztyn (96%). Jak widać, również w tym przypadku wyraźna jest zmiana występowania dni z burzą z północnego zachodu na południowy wschód. Silnie zaznacza się także oddziaływanie Bałtyku, które wpływa na czas pojawiania się i liczbę dni burzowych. Można się ponadto zastanawiać, czy niskie wartości wskaźnika rocznej aktywności burzowej w Krakowie,

Katowicach i Warszawie nie są wynikiem oddziaływania dużych powierzchni miejskich na klimat lokalny. Jednak hipoteza ta może być jedynie sygnałem do dalszych badań i wymaga jeszcze sprawdzenia.

Inną cechą rocznego przebiegu dni burzowych, zaznaczającą się prawie na każdej stacji, jest wyraźny, okołodwutygodniowy okres podwyższonej częstości występowania dni z burzą, pojawiający się zwykle na przełomie marca i kwietnia lub w pierwszej połowie kwietnia. Po nim następuje ponowny spadek liczby dni z burzą i dopiero w późniejszym okresie zaczyna się właściwy wzrost aktywności burzowej. Podobna sytuacja podwyższonej częstości analizowanego wskaźnika ma miejsce także pod koniec okresu największego występowania burz. Przypada na przełom sierpnia i września, kiedy „wygasanie” aktywności burzowej jest przerwane kilkunastodniowym wzrostem częstości występowania dni z burzą, po którym, w drugiej połowie września, liczba dni z burzą ponownie zaczyna maleć. Występowanie opisanego okresu można dostrzec w większości stacji, jednak najlepiej jest on widoczny na stacjach we wschodniej i południowej Polsce.

Regiony burzowe w świetle rocznego przebiegu dni z burzą

Przedstawione wcześniej zróżnicowanie stało się podstawą do poszukiwania kolejnego podziału Polski ze względu na roczny przebieg dni z burzą i porównanie go z otrzymanym poprzednio podziałem opartym na wieloletniej zmienności tego wskaźnika. Tak jak w poprzednim przypadku, tak i tym razem wykorzystano analizę skupień opartą na metodzie K-średnich. Po przeprowadzeniu kilku prób podziału na 3–10 skupień zdecydowano się wybrać podział na 6 regionów, które najlepiej wydobywają różnice pomiędzy grupami stacji, a jednocześnie stanowią uogólnienie prezentowanego przez te stacje typu rocznego przebiegu dni z burzą (ryc. 26). Przyjmując tę regionalizację, powstałym regionom przypisano symbole B1, B2 itp. oraz nadano nazwy charakteryzujące ich położenie na terenie kraju.

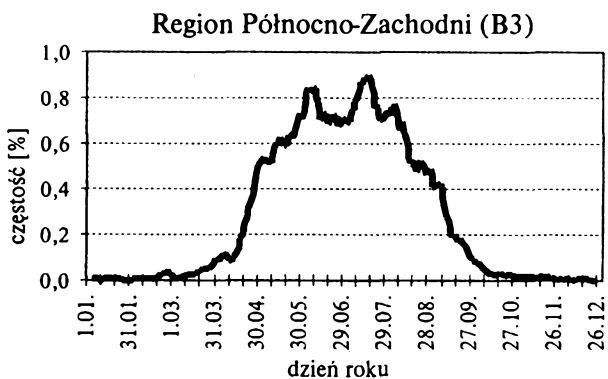
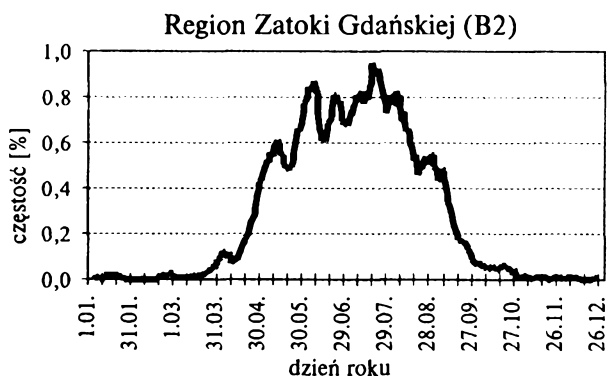
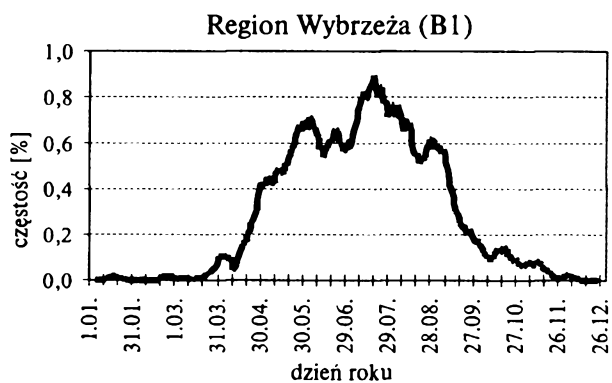
Z sześciu wydzielonych regionów cztery są regionami skupiającymi od 10 do 15 stacji i dzielącymi Polskę na obszary o podobnej wielkości. Są to regiony: Północno-Zachodni (B3) (10 stacji) – obejmujący głównie Pojezierze Pomorskie i znaczną część Wielkopolski, Północno-Wschodni (B4) (12 stacji) – w którego skład wchodzi Pojezierze Mazurskie i Nizina Mazowiecka, Południowo-Zachodni (B5) (12 stacji) – obejmujący Nizinę Śląską, Wyżynę Śląską i Sudety oraz Południowo-Wschodni (B6) (15 stacji) – który obejmuje pozostałe wyżyny, Kotlinę Sandomierską i Karpaty. Dwa pozostałe regiony są znacznie mniejsze, lecz wyróżniają się najbardziej charakterystycznym typem rozkładu dni z burzą. Pierwszy z nich to Region Wybrzeże (B1), w którym znalazło się 5 stacji, drugi to Region Zatoki Gdańskiej (B2), wydzielony na podstawie analizowanego rozkładu pochodzącego z 3 stacji.



Ryc. 26. Regiony burzowe w Polsce wyznaczone na podstawie rocznego rozkładu liczby dni z burzą w latach 1949–1998

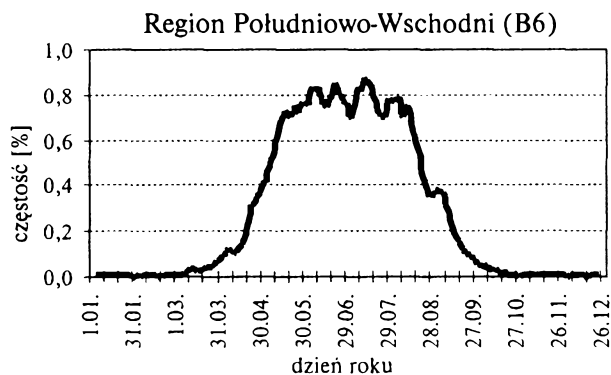
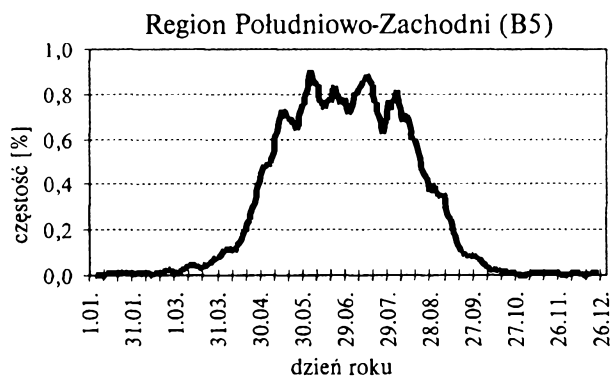
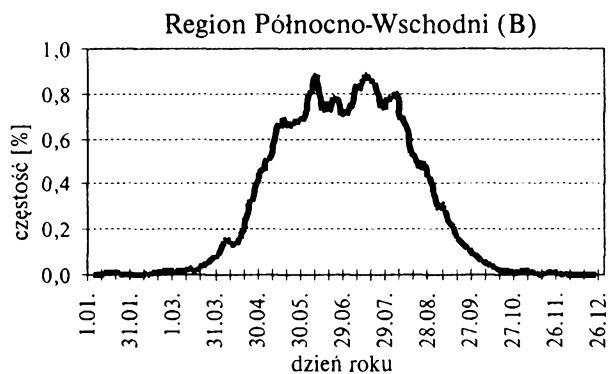
Fig. 26. Thunderstorm's regions in Poland distinguished on the ground of yearly course of days with thunderstorm in the period 1949–1998

Przebieg częstości występowania dni burzowych (ich liczby) w poszczególnych dniach roku w wyróżnionych regionach przedstawia ryc. 27. Jak łatwo na tej podstawie zauważyć, pierwszy, najbardziej północny, region – Wybrzeże (B1) charakteryzuje się przede wszystkim najdłuższym trwającym okresem największej częstości dni burzowych, chociaż częstość ta jest wyraźnie niższa niż w pozostałych regionach. Ponadto w tym właśnie regionie najlepiej zaznaczają się opisane wcześniej wiosenny i jesienny okres zwiększonej liczby dni z burzą, przy czym liczba dni z burzą w okresie jesiennego wzrostu liczby dni burzowych jest tak duża, że nie różni się zbytnio od wartości, jakie osiągała w przeważającej części okresu aktywności burzowej. Kolejną cechą tego typu przebiegu jest występowanie wyraźnego spadku liczby dni z burzą w drugiej połowie czerwca, który poprzedza maksimum występowania burz przypadające w pierwszej połowie lipca (m.in. Koszalin, Łeba). Należy jeszcze zwrócić uwagę na dużo wolniejsze niż w innych regionach tempo spadku liczby dni z burzą i dość znaczącą liczbę jesiennych dni burzowych.



Ryc. 27.

Fig. 27.



Ryc. 27. 10-dniowe średnie ruchome częstości [%] liczby dni z burzą w dniach kalendarzowych (w stosunku do wszystkich przypadków dni z burzą) w regionach burzowych w Polsce w latach 1949–1998

Fig. 27. 10-day moving average of frequency [%] of number of days with thunderstorm for individual day of year in thunderstorm's regions in Poland in the period 1949–1998

Analizując roczny rozkład dni z burzą w regionie Zatoki Gdańskiej (B2), zauważa się dość regularnie występujące w okresie aktywności burzowej okresy mniejszej liczby dni z burzą, widoczne na wszystkich 3 stacjach. Na tle tych zmian, poza okresem największej częstości dni burzowych, wybija się niewiele od niej mniejsza liczba dni z burzą występująca na początku czerwca. Wspomniane maksimum częstości dni z burzą przypada w tym regionie, podobnie jak na Wybrzeżu, na połowę lipca. Następnie liczba dni z burzą stopniowo maleje i od końca września dni burzowe pojawiają się sporadycznie.

Cechą charakterystyczną rocznego przebiegu badanego wskaźnika w Regionie Północno-Zachodnim (B3) jest występowanie dwóch okresów wyraźnie zwiększonej liczby dni z burzą (na początku czerwca i w pierwszej połowie lipca) przedzielonych trwającym około dwa tygodnie spadkiem liczby dni burzowych. Dobrze widoczne jest to na przykładzie Gorzowa Wielkopolskiego czy Reska. Dwa wspomniane okresy odznaczają się zbliżoną liczbą dni burzowych, chociaż największa częstość tych dni przypada w lipcu.

Region Północno-Wschodni (B4) różni się od poprzedniego krócej trwającym okresem, w którym odnotowuje się najwięcej dni z burzą, ale za to wyższymi wartościami częstości występowania tych dni. Natomiast tym, co łączy go z Regionem Północno-Zachodnim (B3), jest występowanie dwóch okresów największej liczby dni z burzą przedzielonych wyraźnym zmniejszeniem się liczby tych dni. W tym przypadku jednak maksimum największej częstości występowania dni z burzą przypada na czerwiec (m.in. w Suwałkach i w Białymstoku), a nie jak w regionie poprzednim – w lipcu. Należałoby również zwrócić uwagę na fakt, że w regionie tym nie wyróżnia się jesienny wzrost częstości liczby dni z burzą, chociaż analogiczny wzrost wiosenny ciągle jest widoczny.

Pozostałe dwa regiony charakteryzują się mniejszymi zmianami częstości liczby dni z burzą w kolejnych dniach roku. Najmniejsze zróżnicowanie jest widoczne w Regionie Południowo-Wschodnim (B6), gdzie największa częstość liczby dni burzowych, występująca na przełomie czerwca i lipca, niewiele się różni od wartości w całym okresie największej aktywności burzowej. Najlepszym przykładem takiego przebiegu jest występowanie dni z burzą w Przemyślu. W Regionie Południowo-Zachodnim (B5) różnice są nieco większe, a maksimum częstości analizowanych dni przypada na początek czerwca, po czym następuje niewielki spadek i ponowny wzrost częstości na przełomie czerwca i lipca.

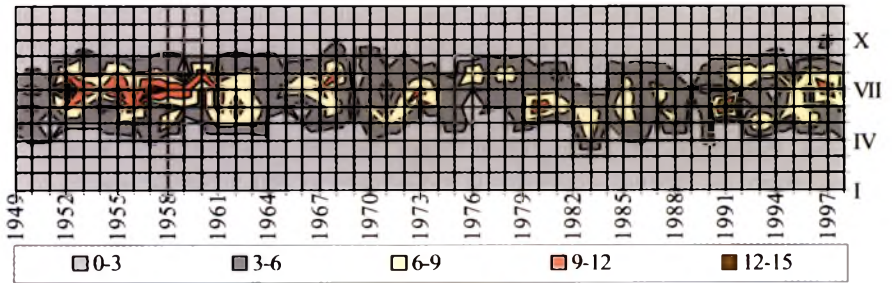
Porównując izoplety liczby dni z burzą dla wybranych z każdego regionu stacji stwierdzono, że opisane wcześniej uśrednione dla regionu i jednocześnie wieloletnia typy rocznego rozkładu dni z burzą wykazują bardzo duże zróżnicowanie w poszczególnych latach (ryc. 28). Nie tylko trudno rozpoznać czasem typ przebiegu rocznego charakterystyczny dla danego regionu, ale kłopoty sprawia też odnalezienie wspólnych cech pomiędzy regionami, reprezentowanymi przez te stacje.

Podsumowując, analiza rocznego rozkładu występowania dni z burzą wykazała, że istnieje pewna płynność zmian tego rozkładu związana ze zmianą współ-

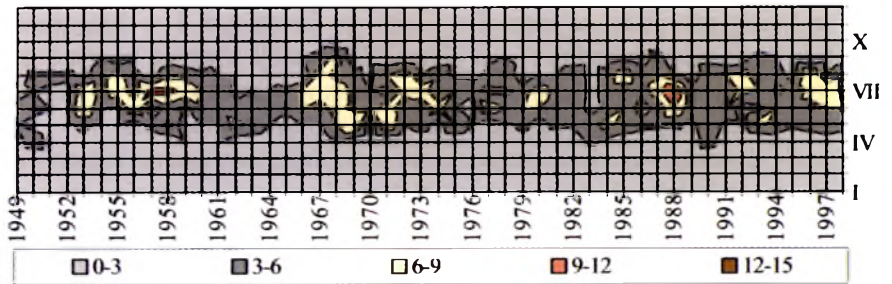
Kołobrzeg



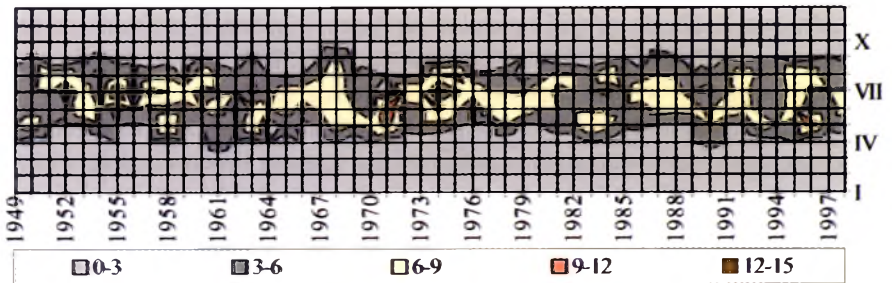
Elbląg



Gorzów Wielkopolski



Wrocław



Ryc. 28. Izoplety liczby dni z burzą na wybranych stacjach w Polsce w latach 1949–1998
Fig. 28. Isopleths of number of days with thunderstorm at chosen stations in Poland in the period 1949–1998

rzędnych położenia stacji wzdłuż linii północny zachód–południowy wschód. Im bardziej na północy jest położona stacja, tym dłużej trwa okres największej częstości liczby dni burzowych i tym większe jest jej zróżnicowanie. Na stacjach położonych w południowo-wschodnich terenach kraju wspomniany okres trwa krócej, ale tempo wiosennego wzrostu i jesienno spadku opisywanej częstości jest znacznie większe niż na północy. W regionach wschodnich i południowych słabiej zaznacza się także, wspominany wcześniej, krótkotrwały wzrost częstości dni z burzą wiosną i jesienią, który jest wyraźnie widoczny w pozostałych regionach. Na podkreślenie zasługuje również fakt zmniejszenia się częstości występowania dni z burzą od połowy czerwca do pierwszych dni lipca. Spadek ten najbardziej jest widoczny na Wybrzeżu (B1), w Regionie Północno-Zachodnim (B3) i w Regionie Północno-Wschodnim (B4), ale zaznacza się także w rejonie Zatoki Gdańskiej (B2) i w Regionie Południowo-Zachodnim (B5). Natomiast w Regionie Południowo-Wschodnim (B6) jest najmniej widoczny i nie różni się od innych okresów obniżonej częstości dni burzowych. To charakterystyczne zmniejszenie się liczby dni z burzą w środku sezonu największej aktywności burzowej zostało opisane przez L. KOLENDOWICZA (1999a). Okazało się, że w analizowanym okresie dobowe wartości temperatury oraz prężności pary wodnej są niższe niż najniższe wartości tych elementów w pozostałych dniach z burzą. Interesujące jest wtedy pytanie, czy podobnie można wytłumaczyć pozostałe zmiany liczby dni burzowych w okresie ich największej częstości, a w szczególności, czym należy tłumaczyć okresy kilkudniowego wzrostu częstości dni z burzą występujące na początku kwietnia i w pierwszej połowie września. Być może odpowiedzi należy szukać nie tylko w zmianach wartości poszczególnych elementów meteorologicznych, lecz także w zmianach sytuacji synoptycznych dominujących w określonych sezonach i związanych z nimi zmianach kierunków adwekcji mas powietrza.

Ponadto warto zwrócić uwagę na mniejsze zróżnicowanie pomiędzy poszczególnymi regionami pod względem rozkładu liczby dni z burzą w ciągu roku niż miało to miejsce w przypadku, gdy pod uwagę brano zmienność wieloletnią. Oznacza to, że czasowa zmienność liczby dni burzowych stanowi ważniejsze kryterium wydzielenia regionów burzowych niż roczny przebieg liczby dni z burzą. Niemniej jednak niezależnie od przyjętego kryterium występuje dość duża zgodność pomiędzy dwiema zaprezentowanymi regionalizacjami. Podstawowymi różnicami obu podziałów jest wydzielenie Regionu Karpacko-Zamojskiego (A6) podczas analizy zmienności liczby dni burzowych w wieloleciu oraz podział wyznaczonego w tej regionalizacji obszaru Wybrzeża (A1) na dwa mniejsze: pierwszy – również zwany Wybrzeżem (B1) i drugi – nazwany Regionem Zatoki Gdańskiej (B2).

Daty występowania dni burzowych

Badając występowanie dni burzowych w ciągu roku nie sposób pominąć konkretnych dat dni, w których po raz pierwszy i ostatni notowano dzień z burzą na

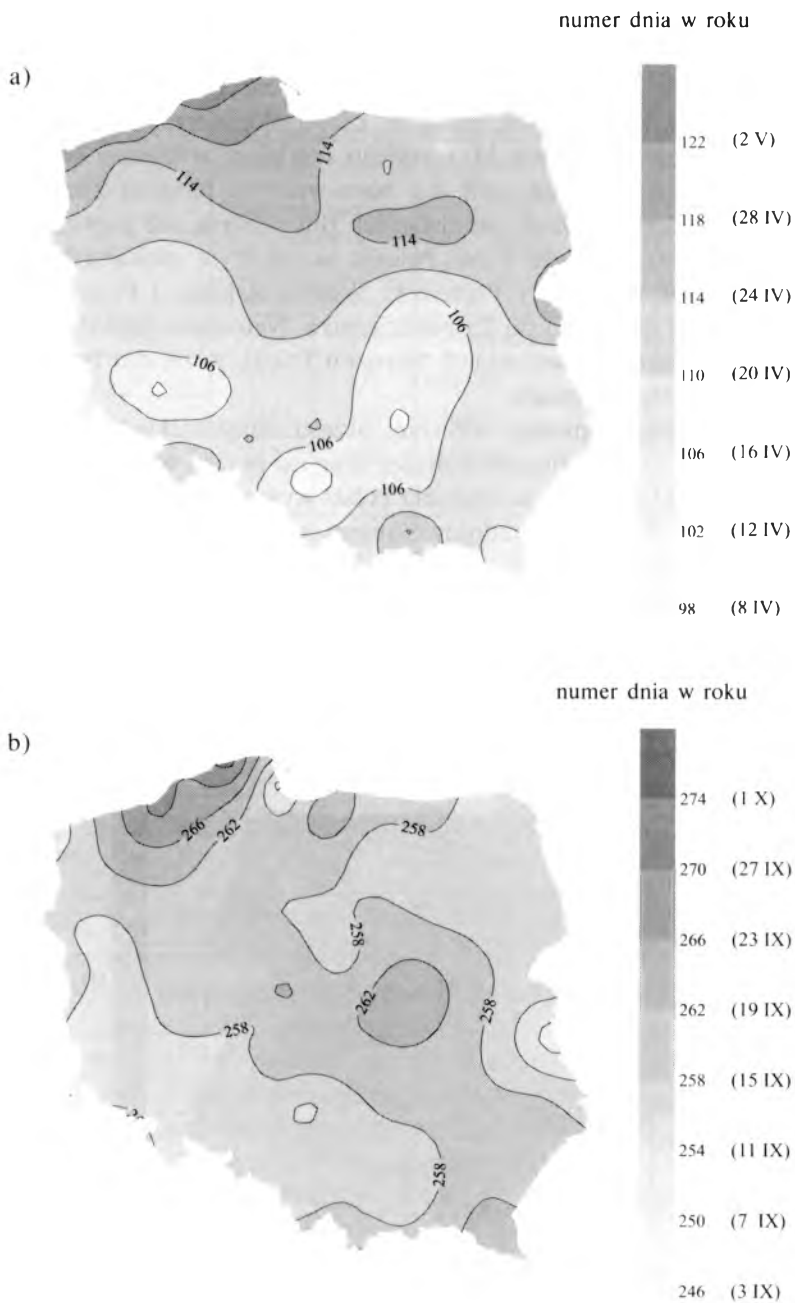
poszczególnych stacjach. Zagadnienie to było już przedmiotem analizy w pracach M. STOPY (1962) i L. KOLENDOWICZA (1996, 1997a), a w niniejszym opracowaniu stanowi przede wszystkim dopełnienie przedstawianej charakterystyki dni burzowych. Wspomniane prace opierały się albo na krótkim ciągu obserwacji (M. Stopa badała dziesięciolecie występowania burz), albo dotyczyły tylko części obszaru Polski (L. KOLENDOWICZ opisywał burze w północno-zachodniej Polsce), dlatego mniejsza analiza będzie całościowym obrazem tego typu charakterystyki na podstawie długiego okresu obserwacji dla obszaru Polski.

W celu przeprowadzenia analizy przestrzennego rozkładu pierwszych i ostatnich dat występowania dni z burzą przyjęto pewne założenia. Okres, na którego podstawie obliczono wymienione wcześniej daty, obejmował miesiące od marca do października włącznie. Nieuwzględnienie okresu od listopada do lutego było podyktowane sporadycznym pojawianiem się burz w tym sezonie roku, a włączenie tych miesięcy do analizy spowodowałoby przesunięcie się wyliczonych dat o kilka do kilkunastu dni od rzeczywistego terminu najczęstszego początku/końca pojawiania się burz. Dodatkowo obliczono długość okresu największej częstości występowania dni z burzą oraz podano daty pierwszych i ostatnich dni burzowych uwzględniające cały rok kalendarzowy.

Terminy występowania dni z burzą na poszczególnych stacjach pokazano na ryc. 29. Na tej podstawie stwierdzono, że zwykle najwcześniej burze zaczynają być notowane na Nizinie Śląskiej, na Wyżynie Małopolskiej i w południowej części Niziny Mazowieckiej, gdzie pierwsze dni burzowe mogą wystąpić już od 8 kwietnia do 12 kwietnia. Poza Kotliną Kłodzką i okolicami Nowego Sącza w całej południowej Polsce do 20 kwietnia powinien się już pojawić pierwszy dzień z burzą. W pozostałej części kraju pierwsze burze występują pod koniec kwietnia, a na Wybrzeżu nawet po 2 maja.

Obszary występowania ostatnich dni z burzą układają się inaczej. Średnie daty ostatnich dni burzowych wskazują, że np. na Polesiu Lubelskim po 3 września prawdopodobieństwo wystąpienia burzy jest bardzo małe. W nieco dłuższym okresie pojawiają się burze w pozostałych wschodnich terenach Polski, w części Pojezierza Mazurskiego oraz w pasie rozciągającym się od Gorzowa Wielkopolskiego poprzez Nizinę Śląską, Wyżynę Krakowsko-Częstochowską aż do Tarnowa, gdzie ostatnie dni z burzą średnio notuje się jeszcze 15 września. W regionach leżących wzdłuż linii łączącej południowo-wschodnie i północno-zachodnie krańce Polski, a także na terenach północnych analizowane dni burzowe trwają do końca drugiej dekady września. Najdłużej można się spodziewać wystąpienia dnia z burzą nad Bałtykiem. W regionie tym dni burzowe notuje się jeszcze do 1 października.

Porównano też najwcześniejsze i najpóźniejsze daty wystąpienia dni z burzą, jakie miały miejsce w analizowanym wieloleciu w okresie od marca do października. W badanym okresie najwcześniejsze dni burzowe (w pierwszych dniach marca) były notowane na południowym zachodzie, na Wyżynie Krakowsko-

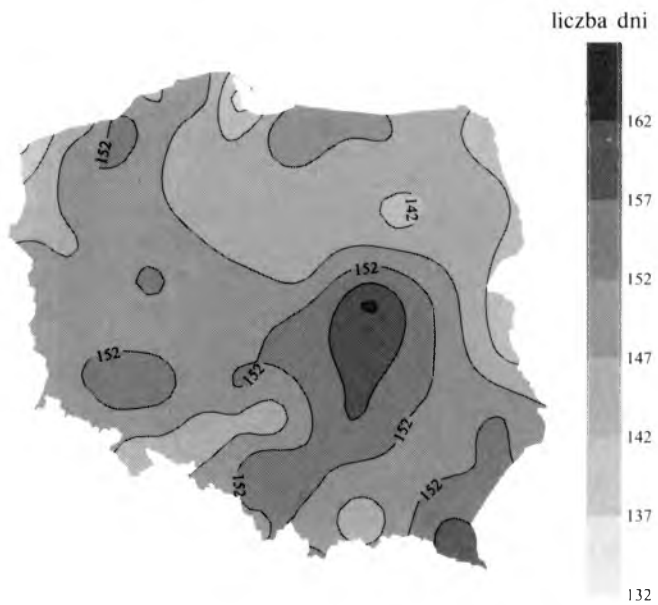


Ryc. 29. Średnie daty pierwszych (a) i ostatnich (b) dni z burzą w Polsce w latach 1949–1998 (w analizie uwzględniono miesiące od III do X)

Fig. 29. The average date of the first (a) and the last (b) days with thunderstorm in Poland in the period 1949–1998 (from March to October)

-Częstochowskiej i w zachodniej części polskich Karpat oraz w północnej części Pojezierza Mazurskiego i na Nizinie Szczecińskiej. W pozostałych regionach najwcześniejsze burze występowały do połowy marca. Najpóźniej pierwsze dni z burzą pojawiały się na wybrzeżu i w części Pojezierza Pomorskiego oraz w południowej części Pojezierza Mazurskiego – dopiero w trzeciej dekadzie marca. Daty najpóźniej występujących dni burzowych są bardziej zgodne z przestrzennym rozkładem średnich dat ostatnich dni z burzą niż najwcześniejszych dni burzowych. Na Podlasiu i na Polesiu, a także w niektórych regionach południowych oraz na granicy Pojezierza Wielkopolskiego i Pojezierza Mazurskiego dni z burzą notowano do 23 października. Natomiast najpóźniej dni takie pojawiały się w północno-zachodnich terenach Polski, gdzie dni burzowe występowały do końca tego miesiąca.

Biorąc pod uwagę opisany wcześniej przestrzenny rozkład dat pierwszych i ostatnich dni z burzą, obliczono również długość okresu występowania dni burzowych w całym kraju, który średnio dla Polski wynosi 148 dni (tab. 13, ryc. 30). Okazało się, że najkrótszym średnim okresem występowania dni z burzą (obliczonym na podstawie średnich dat pierwszych i ostatnich dni burzowych) cechują się przede wszystkim tereny położone na północy i północnym wschodzie Polski. Długość analizowanego okresu w tych regionach wynosi od 132 dni do 147 dni. Z kolei najdłużej okres ten trwa na Nizinie Mazowieckiej, na Wyży-



Ryc. 30. Średni okres występowania dni z burzą na poszczególnych stacjach w Polsce w latach 1949–1998

Fig. 30. The average period of days with thunderstorm occurrence at particular stations in Poland for the years 1949–1998

Tabela 13

Średni i najdłuższy możliwy okres występowania dni z burzą na poszczególnych stacjach w Polsce w latach 1949–1998

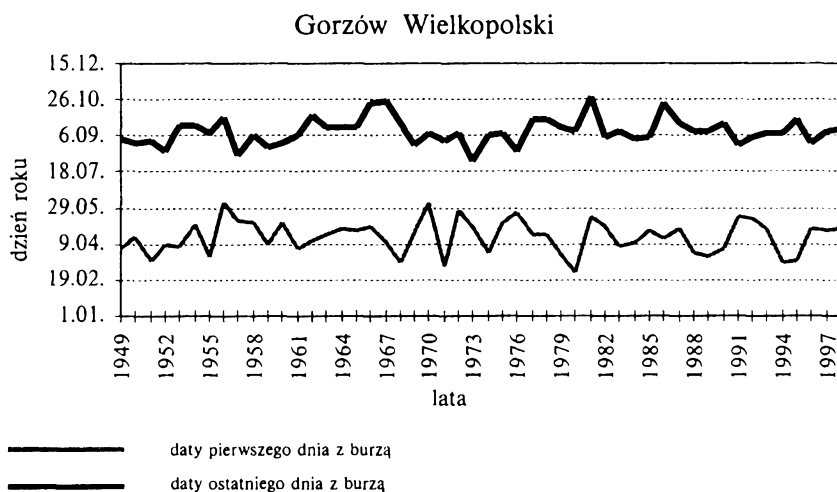
Table 13

The average and the longest period of days with thunderstorm occurrence at particular stations in Poland for the years 1949–1998

Stacja	Okres występowania dni z burzą [dni]		Stacja	Okres występowania dni z burzą [dni]	
	średni	najdłuższy		średni	najdłuższy
Kołobrzeg	145	233	Zielona Góra	148	241
Koszalin	155	219	Legnica	156	233
Ustka	145	236	Leszno	149	221
Łeba	153	220	Wrocław	154	235
Lębork	149	235	Kalisz	148	230
Hel	137	235	Wieluń	153	226
Gdańsk	132	238	Łódź	153	233
Elbląg	152	239	Lublin	149	219
Kętrzyn	148	235	Włodawa	142	223
Suwałki	142	230	Jelenia Góra	150	230
Świnoujście	135	233	Śnieżka	152	238
Szczecin	145	236	Kłodzko	145	234
Resko	152	242	Opole	144	216
Szczecinek	150	227	Racibórz	150	236
Chojnice	142	224	Częstochowa	142	234
Toruń	144	220	Katowice	159	243
Mława	144	218	Kraków	158	232
Olsztyn	145	235	Kielce	153	232
Ostrołęka	140	210	Tarnów	149	229
Białystok	144	227	Rzeszów	152	228
Gorzów Wielkopolski	146	242	Sandomierz	150	236
Ślubice	152	242	Zamość	153	238
Poznań	153	237	Aleksandrowice	152	238
Koło	151	238	Zakopane	152	230
Płock	144	220	Kasprowy Wierch	153	223
Warszawa	164	243	Nowy Sącz	143	229
Siedlce	151	232	Lesko	162	240
Terespol	141	217	Przemyśl	153	224

nie Małopolskiej i na południowo-wschodnich krańcach kraju – do 157 dni, a w Warszawie do 164 dni w roku. Najdłuższy możliwy okres występowania dni burzowych, uwzględniający daty najwcześniejszych i najpóźniejszych dni z burzą, obliczony dla Polski, był o prawie 100 dni dłuższy od okresu średniego i wynosił 245 dni. Jednak na poszczególnych stacjach wahał się od 210 dni w Ostrołęce do 243 dni w Warszawie i w Katowicach. Dokładniejsza analiza przestrzennego rozkładu długości tego okresu wykazała, że najdłużej w roku możemy się spodziewać pojawiania się burz w regionach północnych i zachodnich oraz na niektórych stacjach południowej Polski i w Kotlinie Mazowieckiej (nawet ponad 240 dni). Najkrócej natomiast dni burzowe występują w górnym odcinku Odry, we wschodniej części Niziny Wielkopolskiej, a przede wszystkim w południowej części Pojezierza Mazurskiego i na Polesiu Lubelskim, gdzie okres ten trwa od 210 dni do 225 dni.

Otrzymane wyniki nie różnią się znacząco od wyników M. STOPY i L. KOLENDOWICZA. Głównych przyczyn zaistniałych rozbieżności należy upatrywać w większej liczbie obserwacji poddanych analizie i przyjęciu do obliczeń nie całego roku kalendarzowego, a jedynie 8 miesięcy. Mimo to zbieżność wyników świadczy o małej zmienności dat pojawiania się pierwszych i ostatnich burz, co oznacza, że z dużym prawdopodobieństwem możemy określać wystąpienie dnia z burzą, nawet opierając się na niezbyt długim ciągu obserwacji. Dodatkowym potwierdzeniem tej tezy jest ryc. 31 przedstawiająca przykładową zmienność średnich dat pierwszych i ostatnich dni burzowych na wybranej stacji. Okazuje



Ryc. 31. Daty pierwszego i ostatniego dnia z burzą na przykładowo wybranej stacji w Polsce w latach 1949–1998

Fig. 31. Date of the first and the last days with thunderstorm at the selected stations in Poland in the period 1949–1998

Tabela 14

Daty pierwszych i ostatnich dni z burzą na poszczególnych stacjach
w Polsce w latach 1949–1998

Table 14

Date of the first and the last days with thunderstorm at particular stations
in Poland in the period 1949–1998

Stacja	Daty dni z burzą		Stacja	Daty dni z burzą	
	pierwszy	ostatni		pierwszy	ostatni
Kołobrzeg	19 I	31 XII	Zielona Góra	4 I	17 XII
Koszalin	1 I	31 XII	Legnica	16 I	18 XI
Ustka	2 I	26 XII	Leszno	5 I	30 XII
Łeba	18 I	31 XII	Wrocław	28 I	30 XII
Lębork	21 I	31 XII	Kalisz	14 I	30 XII
Hel	18 I	27 XI	Wieluń	15 I	24 XII
Gdańsk	18 I	29 XII	Łódź	4 I	4 XII
Elbląg	4 I	29 XII	Lublin	11 I	30 XII
Kętrzyn	25 I	29 XI	Włodawa	4 I	11 XII
Suwałki	9 III	20 XI	Jelenia Góra	1 I	9 XII
Świnoujście	22 I	31 XII	Śnieżka	5 I	30 XII
Szczecin	7 I	31 XII	Kłodzko	3 I	10 XII
Resko	1 I	31 XII	Opole	21 I	24 XII
Szczecinek	1 I	31 XII	Racibórz	22 I	29 XI
Chojnice	25 II	9 XII	Częstochowa	18 I	11 XI
Toruń	14 I	17 XII	Katowice	1 I	29 XII
Mława	25 III	8 XII	Kraków	1 I	29 XII
Olsztyn	4 I	14 XII	Kielce	4 I	24 XII
Ostrołęka	20 II	9 XI	Tarnów	1 I	24 XII
Białystok	4 I	11 XII	Rzeszów	8 I	24 XII
Gorzów Wielkopolski	4 I	24 XI	Sandomierz	12 II	24 XII
Stubice	23 I	24 XII	Zamość	25 I	30 XII
Poznań	8 I	4 XII	Aleksandrowice	3 I	29 XII
Koło	13 II	30 XII	Zakopane	3 I	30 XII
Płock	5 I	19 XII	Kasprowy Wierch	3 I	30 XII
Warszawa	2 I	24 XII	Nowy Sącz	17 I	30 XII
Siedlce	26 II	24 XII	Lesko	14 I	24 XII
Terespol	10 III	29 XI	Przemysł	13 I	14 XII

się, że bardzo trudno wydzielić lata, w których okres występowania dni z burzą zaczynał się (kończył) wyraźnie później czy dużo wcześniej. Jedynym spostrzeżeniem, które warto odnotować, jest stopniowa zmiana dat (na późniejsze) ostatnich dni z burzą trwająca od początku badanego wielolecia. Tendencja ta jest bardzo słaba, a w przypadku dat pierwszych dni burzowych niezauważalna, dlatego na tej podstawie nie należy wyciągać daleko idących wniosków.

W tabeli 14 podano daty pierwszych i ostatnich dni, w których wystąpiły burze, uwzględniając w tym wypadku pełny rok kalendarzowy. Zamieszczone w niej wyniki potwierdzają nasze codzienne doświadczenie, które podpowiada nam, że burza może wystąpić w każdym dniu roku. Tylko na 7 stacjach w badanym wieloleciu żadna burza nie wystąpiła w styczniu i również na 7 stacjach burzę odnotowano pierwszego dnia roku. Na większości stacji ostatnią burzę w roku chociaż raz zanotowano w grudniu, a 8 razy miało to miejsce 31 dnia tego miesiąca. Z tego powodu należy zwrócić uwagę na używanie terminu „potencjalny okres występowania burz”, gdyż prawdopodobieństwo wystąpienia burzy w każdym dniu roku powoduje, że do tego okresu należałoby zaliczyć wszystkie 365 dni. Trzeba również pamiętać, że w ostatnich latach notuje się coraz więcej zimowych dni z burzą. Zauważa się także zwiększającą się aktywność burzową na początku sezonu wiosennego.

4. Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na zmiany występowania liczby dni z burzą

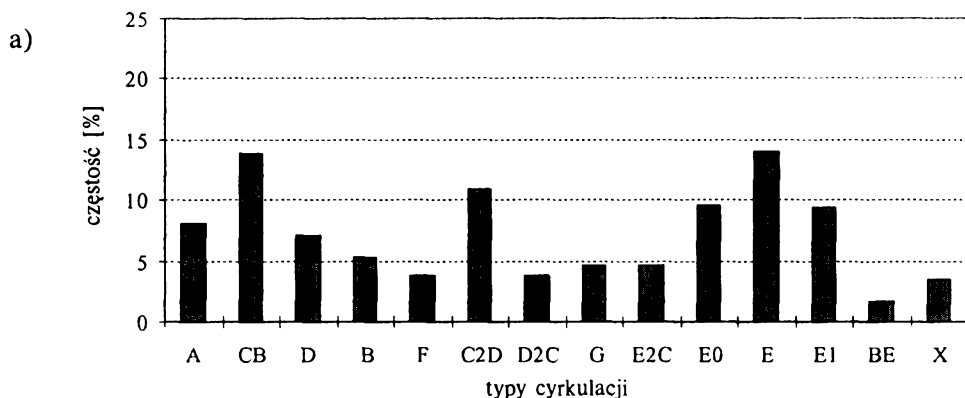
Wcześniejszą część pracy poświęcono przedstawieniu przestrzennego zróżnicowania występowania dni z burzą oraz ich zmienności w wieloleciu i w przebiegu rocznym. Opracowane charakterystyki występowania dni burzowych na poszczególnych stacjach stały się podstawą wydzielenia regionów, w których zmienność badanego wskaźnika była podobna. Następnym krokiem jest poszukiwanie przyczyny wykazanej zmienności. Oczywiście można badać związki wskaźników występowania burz z poszczególnymi elementami meteorologicznymi, jednak w tym opracowaniu postanowiono poddać analizie czynnik, który w dużym stopniu jest odpowiedzialny za zmiany większości elementów klimatu – sytuacje synoptyczne. Z tego powodu niniejszy rozdział będzie stanowił próbę określenia stopnia wpływu cyrkulacji atmosferycznej na wykazane zmiany występowania dni burzowych w aspekcie przestrzennym i czasowym.

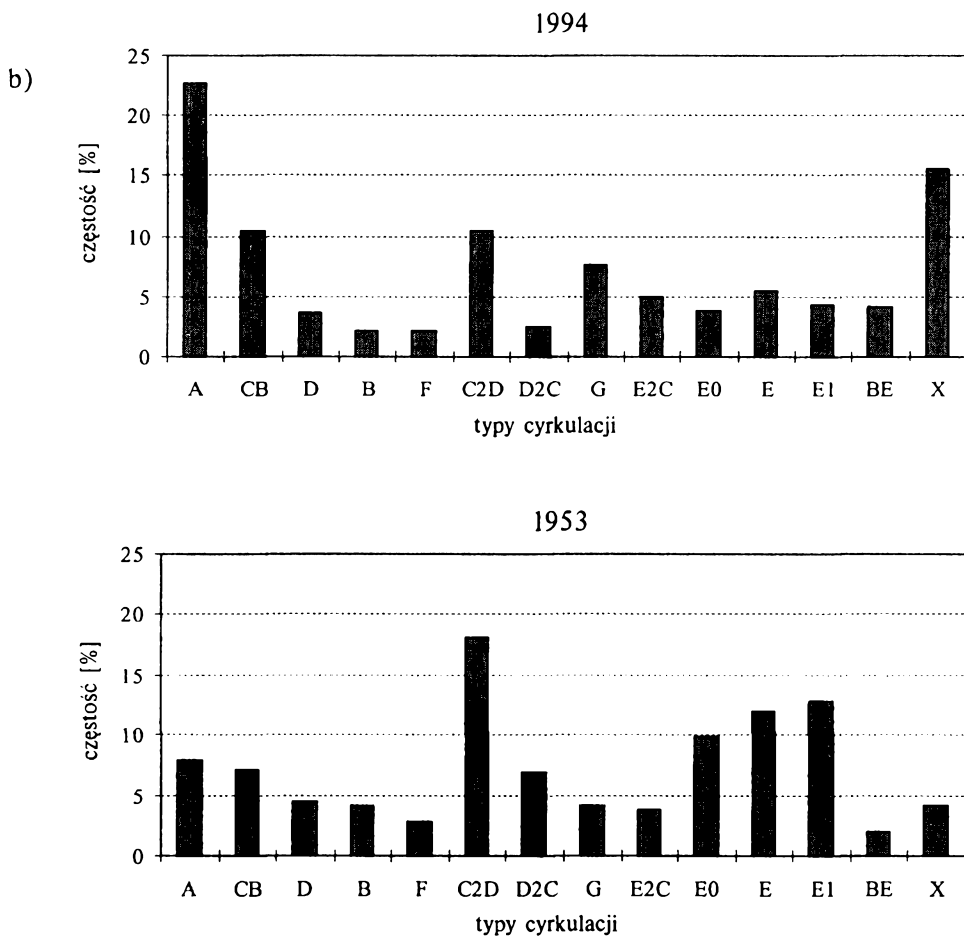
Podobne badania podejmowali L. KOLENDOWICZ (1996, 1998), M. MICHAŁOWSKI (1962), M. STOPA (1964) oraz J. WRÓBEL (1985). Jednak poza L. KOLENDOWICZEM autorzy ci skupili się głównie na przedstawieniu warunków meteorologicznych sprzyjających powstawaniu burz, ze szczególnym uwzględnieniem mas powietrza, frontów atmosferycznych, temperatury i wilgotności. Wyniki tych prac zostały opisane w rozdziale 1.2. Nieliczne próby oceny wpływu sytuacji synoptycznych na występowanie dni burzowych były wykonane w pracach L. KOLENDOWICZA, które dotyczyły przede wszystkim 40-letnich obserwacji burz w północno-zachodniej Polsce. Temat ten podjęła w swojej pracy także K. WESOŁOWSKA (1997), opisując 40-letnią serię burz w Warszawie oraz autorka (BIELEC, 1996, 1998), która badała stuletnią serię występowania burz w Krakowie, a także wieloletnie serie burz na kilku wybranych stacjach. Jednak do tej pory brak jest opracowań poświęconych nie tylko statystycznemu ujęciu związków pomiędzy burzami a sytuacjami synoptycznymi, lecz także dynamice zmian częstości występowania typów sytuacji

i jej wpływowi na pojawianie się burz. I dlatego w niniejszej pracy na ten właśnie aspekt związków pomiędzy sytuacjami synoptycznymi a burzami zwrócono szczególną uwagę, przy czym w analizie przyjęto, że sytuacje synoptyczne będą określane przez typy cyrkulacji według B. OSUCHOWSKIEJ-KLEIN (1978, 1991, 1998), a wskaźniki cyrkulacji zostaną określone na podstawie sytuacji synoptycznych T. NIEDŹWIEDZIA (1999). Wykorzystano również wskaźniki cyrkulacji Z. USTRUŁA (1999) oraz wskaźnik oscylacji północnoatlantyckiej – NAO (1998).

4.1. Występowanie burz przy określonych typach cyrkulacji atmosfery

Pierwszym krokiem zmierzającym do określenia zależności między zmianami typów cyrkulacji atmosfery a liczbą dni z burzą stała się ogólna analiza częstości występowania dni burzowych towarzyszących poszczególnym typom cyrkulacji. W tym celu obliczono częstość występowania w Polsce w latach 1949–1998 określonych typów cyrkulacji od kwietnia do września, czyli w okresie największej aktywności burzowej (ryc. 32a). Przyjęcie tak wydzielonego sześciomiesięcznego okresu w ciągu roku było podyktowane długością okresu największej częstości dni z burzą. Jak już wielokrotnie wspomniano, w Polsce prawie wszystkie dni burzowe (średnio 97%) występują właśnie w tak określonym półroczu i tylko nieliczne przypadki burz odnotowuje się w pozostałej części roku. Na tej podstawie stwierdzono, że w okresie największej aktywności burzowej dominowały typy cyrkulacji związane z napływem powietrza z kierunków od zachodniego poprzez północny do wschodniego. Polska najczęściej znajdowała się pod wpływem antycyklonalnej cyrkulacji północno-wschodniej (E w 17,9% wszystkich przypadków), a także północno-zachodniej cyrkulacji cyklonalnej (CB – 14,6%), zachodniej



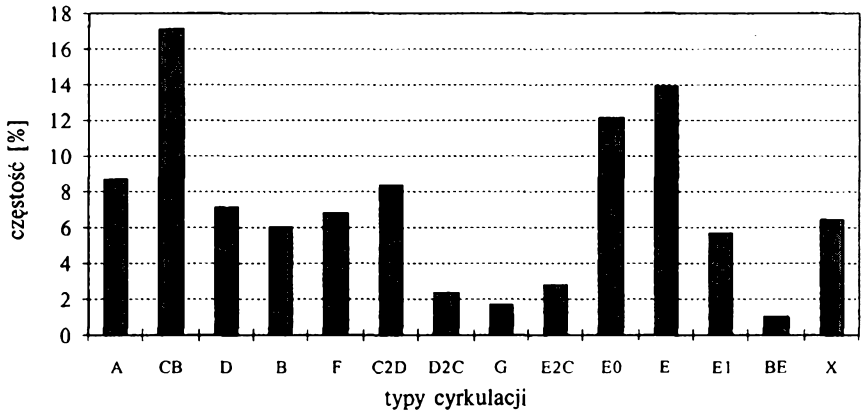


Ryc. 32. Częstość [%] występowania typów cyrkulacji atmosfery od IV do IX wg B. OSUCHOWSKIEJ-KLEIN w Polsce – w badanym wieloleciu (1949–1998) (a) i w wybranych latach (b)

Fig. 32. The frequency [%] of occurrence of types of atmospheric circulation (by B. OSUCHOWSKA-KLEIN) from April to September in Poland – in the analysed period (1949–1998) (a) and in selected years (b)

cyrkulacji antycyklonalnej (C_2D – 12,3%) oraz północno-wschodniej i wschodniej cyrkulacji antycyklonalnej (E_0 – 12,2%). W badanym okresie najrzadziej występowała cyrkulacja południowa pośrednia pomiędzy cyklonalną i antycyklonalną (BE – 1,2%), adwekcja powietrza z południa i południowego wschodu w układach antycyklonalnych (D_2C – 2,9%) oraz centrum wyżu (G – 3,6%). W poszczególnych latach rozkład częstości pojawiania się analizowanych typów cyrkulacji mógł być jednak zupełnie inny, czego przykładem są dwa wybrane lata: 1953 i 1994 (ryc. 32b).

Jednocześnie średnio w Polsce dni burzowe najczęściej występowały przy północno-zachodniej cyrkulacji cyklonalnej (CB – 17,1%) oraz cyrkulacji antycyklonalnej z adwekcją z północnego wschodu (E – 13,9%) i północno-wschodniej, i także wschodniej cyrkulacji antycyklonalnej (E₀ – 12,1%) (ryc. 33). Z kolei najmniej dni z burzą notowano podczas cyrkulacji południowej, pośredniej pomiędzy cyrkulacją cyklonalną i antycyklonalną (BE – 1,0%), oraz centralnej cyr-



Ryc. 33. Częstość [%] występowania dni z burzą podczas poszczególnych typów cyrkulacji atmosfery w Polsce w latach 1949–1998 (IV–IX)

Fig. 33. The frequency [%] of occurrence of days with thunderstorm during particular types of atmospheric circulation in Poland in the period 1949–1998 (from April to September)

kulacji antycyklonalnej (G – 1,7%) i podczas adwekcji powietrza z południa i południowego wschodu w układach antycyklonalnych (D₂C – 2,3%). Uwzględniając tylko podział na typy cyrkulacji cyklonalnej i antycyklonalnej (nie biorąc pod uwagę typu X i BE), częściej dni z burzą występowały podczas sytuacji z cyrkulacją cyklonalną – 62,5%, a w sytuacjach z cyrkulacją antycyklonalną odnotowano tylko 37,5% takich dni.

Porównanie przedstawionych rozkładów wskazuje na duże podobieństwo pomiędzy nimi. Oznacza to słabszy niż można było przypuszczać wpływ określonych typów cyrkulacji na pojawianie się burz. Potwierdzeniem tego wniosku jest prawdopodobieństwo warunkowe wystąpienia burz w określonym typie cyrkulacji atmosfery, przedstawione w tab. 15.

Na podstawie tak przeprowadzonej analizy stwierdzono, że w żadnym wypadku prawdopodobieństwo to nie przekracza 25% i poza sytuacjami nieoznaczonymi jego wartość jest niższa niż 20%. Spośród wszystkich wyróżnionych typów cyrkulacji burz najczęściej można się spodziewać w dniach, w których cyrkulacja atmosfery cechuje się napływem powietrza z sektora południowego, związa-

Tabela 15

Prawdopodobieństwo warunkowe [%] wystąpienia dnia z burzą w określonym typie cyrkulacji atmosfery w Polsce w latach 1949–1998 (IV–IX)

Table 15

Conditional probability [%] of occurrence of days with thunderstorm during particular types of atmospheric circulation in Poland in the period 1949–1998 (from April to September)

Wskaźnik	Typ cyrkulacji														Bez względu na typ cyrkulacji (IV–IX)
	A	CB	D	B	F	C ₂ D	D ₂ C	G	E ₂ C	E ₀	E	E ₁	BE	X	
Prawdopodobieństwo warunkowe [%]	15,7	15,0	17,7	18,0	19,5	8,7	9,9	6,0	7,3	12,9	10,2	11,9	10,9	21,5	12,8

nego z układem cyklonalnym. Największe prawdopodobieństwo wystąpienia dnia burzowego występuje podczas południowo-wschodniej adwekcji powietrza związanej z układem cyklonalnym (F – 19,5%), a także południowej i południowo-zachodniej cyrkulacji cyklonalnej (odpowiednio D – 17,7% i B – 18,0%). W sumie, w prawie co piątym dniu z wymienionymi typami cyrkulacji powinna wystąpić burza. Najmniejsze prawdopodobieństwo, że dzień z określonym typem cyrkulacji będzie dniem burzowym, dotyczy sytuacji, w której nad badanym obszarem występuje centrum wyżu (G – 6,0%), a także wtedy, gdy wystąpi sytuacja antycyklonalna z adwekcją powietrza z zachodu i północnego zachodu (C₂D – 8,7% i E₂C – 7,3%).

Przedstawione wyniki badań dotyczą średniej liczby dni z burzą obliczonej ze wszystkich stacji ujętych w opracowaniu, dlatego postanowiono sprawdzić, czy podobne zależności występują również na poszczególnych stacjach. Okazało się, że rozkład częstości dni z burzą w określonych typach cyrkulacji dla stacji nie różni się zbyt wiele od średniej dla Polski. Różnice stają się bardziej wyraźne, jeżeli porównuje się stacje pomiędzy sobą. Z tego powodu zdecydowano się na wydzielenie obszarów grupujących stacje o najbardziej zbliżonym typie opisywanego rozkładu. Regionalizacji tej, podobnie jak w poprzednich przypadkach, dokonano z wykorzystaniem analizy skupień i metody K-średnich. Wynikiem przeprowadzonej analizy jest podział kraju na pięć regionów, przedstawiony na ryc. 34. Podobnie jak w przypadku regionalizacji opartej na rocznym przebiegu dni burzowych, każdemu regionowi nadano nazwę słowną odpowiadającą jego położeniu na obszarze Polski oraz symbol określający kryterium podziału i numer kolejny: C1, C2 itp.

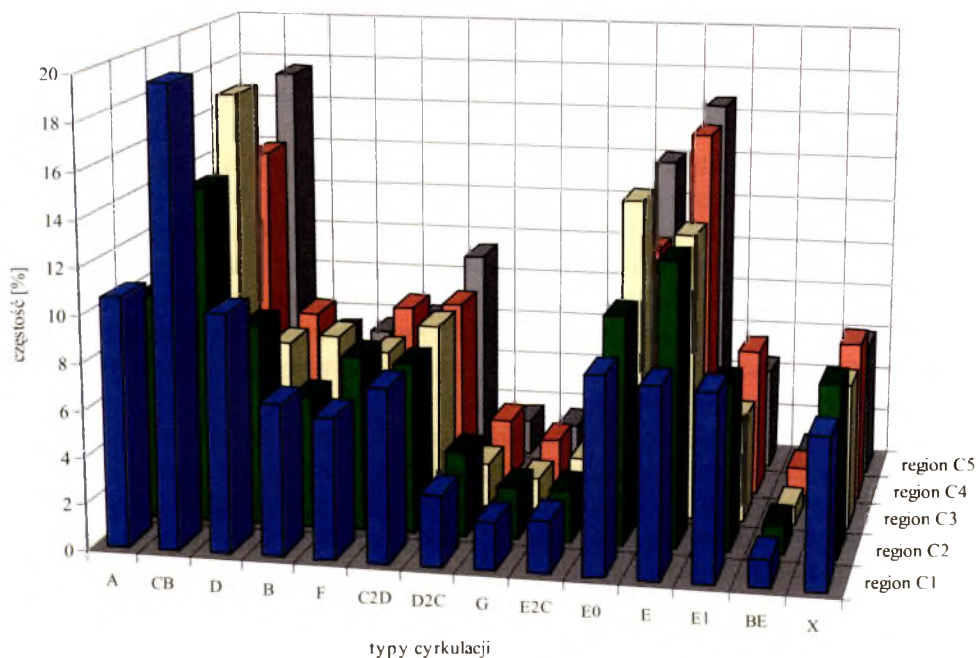
Należy zwrócić uwagę na dość dużą zgodność przebiegu granic wydzielonych regionów z zaproponowanymi w poprzednim rozdziale podziałami dokonanymi ze względu na przebieg wieloletni i roczny liczby dni burzowych. Oznacza to, że prezentowane podziały dobrze oddają zróżnicowanie występowania dni z burzą w Polsce, a wydzielone regiony określają obszary o bardzo silnym podobieństwie cech określających występowanie burz.



Ryc. 34. Regiony burzowe w Polsce wyznaczone na podstawie podobieństwa częstości liczby dni z burzą występujących w poszczególnych typach cyrkulacji atmosfery w latach 1949–1998

Fig. 34. Thunderstorm's regions in Poland distinguished on the ground of similarity of frequency of occurrence of days with thunderstorm during particular types of atmospheric circulation in the period 1949–1998

W analizowanym przypadku elementem, który w największym stopniu wpłynął na przynależność danej stacji do określonego regionu, były różnice częstości pomiędzy typami cyrkulacji, w których dni z burzą występowały najczęściej. Jak można zauważyć, na podstawie ryc. 35 w porównaniu ze średnim przebiegiem dla Polski, a także w porównaniu z pozostałymi regionami najbardziej wyróżnia się Region Wybrzeże (C1) obejmujący prawie cały przybrzeżny pas Bałtyku. W regionie jest widoczny znacznie większy niż gdzie indziej udział dni burzowych podczas cyrkulacji cyklonalnych z adwekcją powietrza z sektora zachodniego (A, CB, D), w sumie stanowiący 40,6% wszystkich przypadków. Wyraźnie widoczny jest również znaczny spadek udziału dni burzowych towarzyszących sytuacjom z napływem powietrza z północnego wschodu i wschodu zarówno w sytuacjach cyklonalnych, jak i antycyklonalnych (E_0 i E).



Ryc. 35. Częstość [%] występowania dni z burzą podczas poszczególnych typów cyrkulacji atmosfery w regionach w Polsce w latach 1949–1998 (IV–IX)

Fig. 35. The frequency [%] of occurrence of days with thunderstorm during particular types of atmospheric circulation in thunderstorm's regions in Poland in the period 1949–1998 (from April to September)

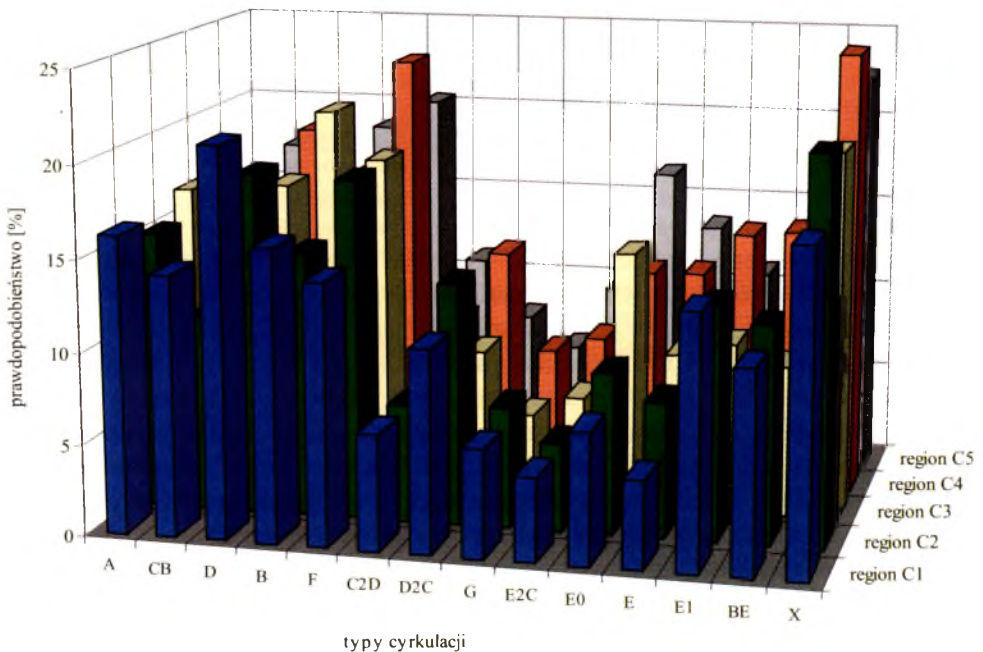
Region Północno-Zachodni (C2) obejmuje głównie Pojezierze Pomorskie i Pojezierze Wielkopolskie. Charakteryzuje się zmniejszoną częstością występowania dni z burzą podczas północno-zachodniej cyrkulacji cyklonalnej (CB – 14,6%, przy średniej 17,1%) oraz mniejszą liczbą dni burzowych w sytuacjach z adwekcją powietrza z północnego wschodu i wschodu, zarówno związanych z układem cyklonalnym, jak i antycyklonalnym (E_0 i E). Podobnym spadkiem częstości w typie CB (14,6%) odznacza się Region Południowo-Zachodni (C4), obejmujący Nizinę Wielkopolską i Sudety, przy czym różni się od innych przede wszystkim tym, że burze w tym regionie najczęściej występowały podczas północno-wschodniego sływu powietrza w układzie antycyklonalnym (E – 16,1%).

Regiony Północno-Wschodni (C3) i Południowo-Wschodni (C5), które obejmują wschodnie obszary Polski, charakteryzują się wysokimi wartościami częstości dni burzowych podczas północno-zachodniej cyrkulacji cyklonalnej (CB – odpowiednio 17,9% i 17,6%) oraz cyrkulacji cyklonalnej północno-wschodniej i wschodniej (E_0 – 13,9 i 14,0%). W regionie C5 należy zwrócić uwagę na największy ze wszystkich regionów udział dni z burzą podczas północno-wschodniej cyrkulacji antycyklonalnej (E – 16,7%).

Zauważa się także, iż w regionach wschodnich i południowych częstość pojawiania się burz podczas adwekcji powietrza z północnego wschodu (E i E₀) w sumie osiągała prawie 30%. Gdy doda się do tego dużą częstość występowania dni burzowych w czasie znajdowania się Polski pod wpływem cyrkulacji północno-zachodniej cyklonalnej (CB), okazuje się, że prawie połowa dni z burzą ma związek właśnie z tymi trzema typami cyrkulacji.

We wszystkich opisanych regionach częstość występowania dni burzowych w pozostałych typach cyrkulacji nie różniła się zasadniczo od średnich wartości dla Polski. Najrzadziej dni burzowe występowały podczas cyrkulacji centralnej antycyklonalnej, a także podczas cyrkulacji antycyklonalnych z adwekcją powietrza z północnego zachodu, południowego zachodu oraz z południa (D₂C, G, E₂C, BE).

Badając prawdopodobieństwo warunkowe wystąpienia dni z burzą w określonym typie cyrkulacji, w poszczególnych regionach zauważa się większe ich zróżnicowanie niż w przypadku częstości dni burzowych w typach cyrkulacji (ryc. 36). Generalnie we wszystkich regionach prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z burzą jest większe niż 10-procentowe (zwykle jest to kilkanaście procent, a na-



Ryc. 36. Prawdopodobieństwo warunkowe [%] wystąpienia dnia z burzą w określonym typie cyrkulacji atmosfery w regionach burzowych w Polsce w latach 1949–1998 (IV–IX)

Fig. 36. Conditional probability [%] of occurrence of days with thunderstorm during particular types of atmospheric circulation in thunderstorm's regions in Poland in the period 1949–1998 (from April to September)

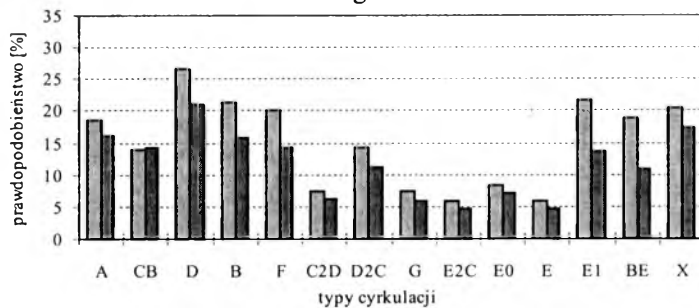
wet ponad 20%) podczas sytuacji cyklonalnych, jeżeli powietrze napływało z sektora zachodniego, południa i południowego wschodu (A, CB, D, B, F i E₁), a najmniejsze podczas zalegania nad Polską centrum wyżu (G) i północno-zachodniej cyrkulacji antycyklonalnej (E₂C). Zwraca również uwagę wysoka wartość badanego wskaźnika podczas sytuacji nieokreślonych (X). Wynikać to może ze stosunkowo dużej liczby dni burzowych, w których określenie typu cyrkulacji jest problematyczne, jak również z istnienia w tych dniach specyficznych warunków meteorologicznych sprzyjających powstawaniu burzy. Jednak wyjaśnienie tego problemu wymaga szczegółowszych badań.

Blizsza analiza wykazała, że najbardziej są do siebie zbliżone regiony C1 i C2. Największe prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z burzą występuje tam podczas południowo-zachodniej cyrkulacji cyklonalnej (D), odpowiednio 21,1% i 18,7%, a najmniejsze przypada na północno-zachodnią cyrkulację antycyklonalną (E₂C – 4,5% i 4,9%). Jednak w przypadku Regionu Południowo-Zachodniego (C2) zbliżoną do najwyższej wartość osiągnęło prawdopodobieństwo wystąpienia dnia burzowego podczas cyrkulacji południowo-wschodniej cyklonalnej (F – 18,6%). Natomiast w Regionie Południowo-Wschodnim (C3) największa szansa wystąpienia dnia burzowego istnieje w czasie adwekcji powietrza z południa, związanej z układem cyklonalnym (B), a prawdopodobieństwo takiego zdarzenia wynosi tam 21,3%. Niewiele mniejsze, bo wynoszące 18,8%, jest prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z burzą podczas południowo-wschodniej cyrkulacji cyklonalnej (F). Natomiast najmniejszy wpływ na pojawianie się burz w tym regionie ma centralna cyrkulacja antycyklonalna (G) – 4,8%. W regionach Południowo-Zachodnim (C4) i Południowo-Wschodnim (C5), podobnie jak średnio w Polsce, największe prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z burzą daje napływ powietrza z kierunku południowo-wschodniego i cyrkulacji cyklonalnej (F) – odpowiednio 23,4% i 20,3%, a najmniejsze – centralna cyrkulacja cyklonalna (G), czyli 7,1% i 6,0%. Należy jednak dodać, że w regionie C4 także podczas południowo-zachodniej cyrkulacji cyklonalnej (D – 19,4%), a w regionie C5 podczas południowej cyrkulacji cyklonalnej (B – 18,7%) istnieje duże prawdopodobieństwo pojawienia się burzy.

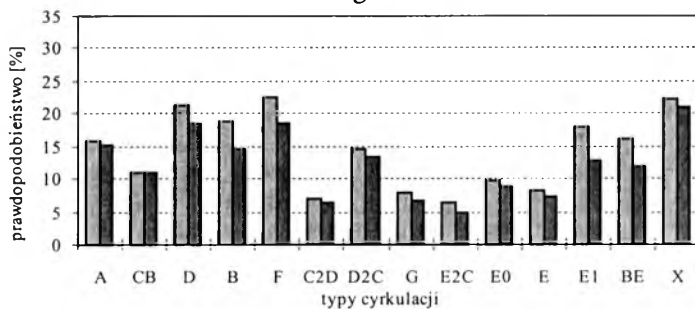
Ponieważ największa liczba dni z burzą przypada nie na sześć, a na cztery miesiące (od maja do sierpnia), postanowiono sprawdzić, czy analizowane prawdopodobieństwo wystąpienia takiego dnia w tym okresie różni się znacząco od obliczonego dla całego okresu największej aktywności burzowej. Otrzymane wyniki przedstawiono na ryc. 37 i w tab. 16.

Pierwszą różnicą, jaką można zauważyć, jest ogólny wzrost wartości prawdopodobieństwa wystąpienia dnia z burzą w poszczególnych typach cyrkulacji we wszystkich regionach. I chociaż w każdym z regionów zmiany te były nieco inne, nie można stwierdzić znaczących różnic ani pomiędzy regionami, ani porównując ich do wartości z okresu największej aktywności burzowej. Najmniejsze zmiany zaszły w Regionie Północno-Zachodnim (C2), gdzie stwierdzono jedynie

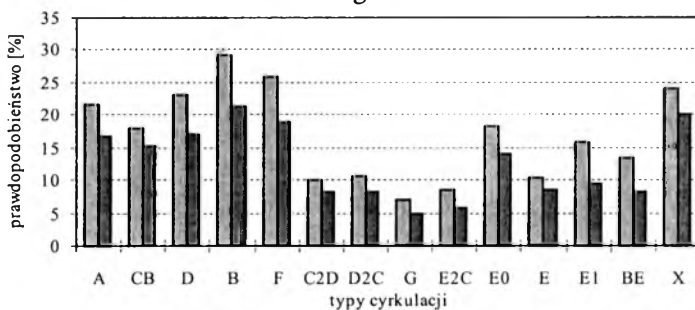
Region C1



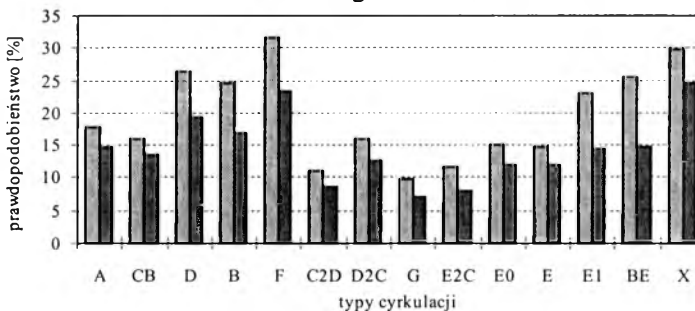
Region C2



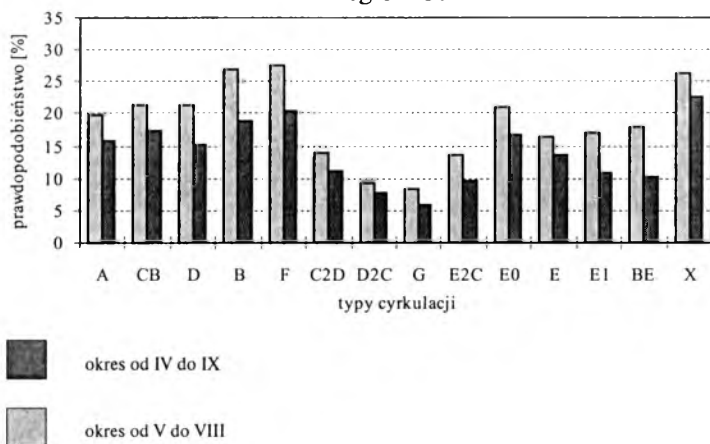
Region C3



Region C4



Region C5



Ryc. 37. Prawdopodobieństwo warunkowe [%] wystąpienia dnia z burzą w określonym typie cyrkulacji atmosfery w regionach burzowych w Polsce w latach 1949–1998

Fig. 37. Conditional probability [%] of occurrence of days with thunderstorm during particular types of atmospheric circulation in thunderstorm's regions in Poland in the period 1949–1998

Tabela 16

Prawdopodobieństwo warunkowe [%] wystąpienia dnia z burzą w określonym typie cyrkulacji atmosfery w regionach burzowych w Polsce w latach 1949–1998 (V–VIII)

Table 16

Conditional probability [%] of occurrence of days with thunderstorm during particular types of atmospheric circulation in thunderstorm's regions in Poland in the period 1949–1998 (from May to August)

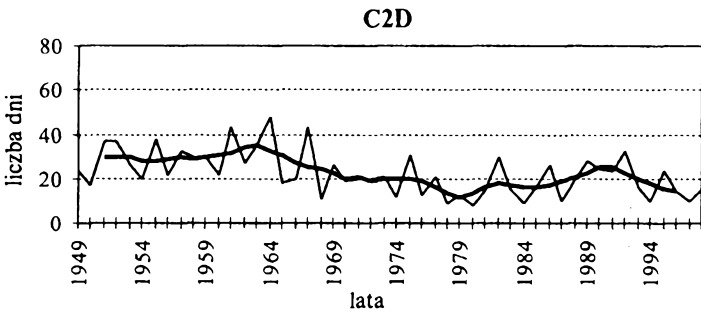
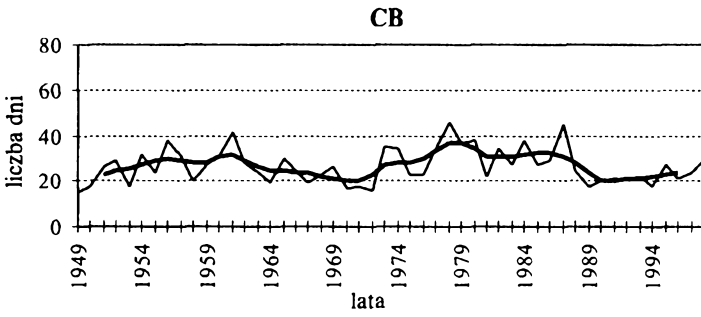
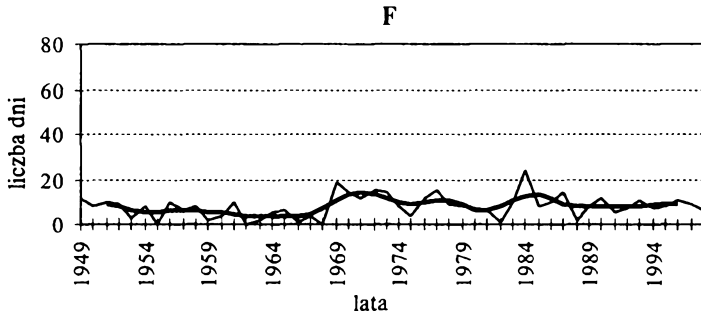
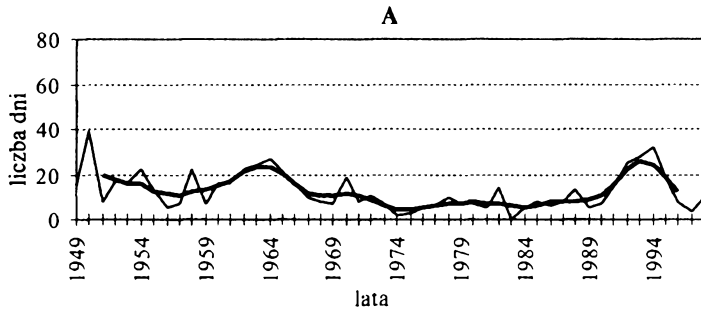
Region	Typ cyrkulacji														Bez względu na typ cyrkulacji (V–VIII)
	A	CB	D	B	F	C ₂ D	D ₂ C	G	E ₂ C	E ₀	E	E ₁	BE	X	
Wybrzeże (C1)	18,4	13,9	26,6	21,4	20,2	7,4	14,3	7,5	6,8	8,4	5,8	21,8	19,0	20,4	12,2
Północno-Zachodni (C2)	15,7	11,1	21,3	19,0	22,5	7,0	14,6	7,8	6,3	9,8	8,2	17,9	16,0	22,1	11,8
Północno-Wschodni (C3)	21,5	18,0	23,1	29,1	25,9	10,0	10,7	7,0	8,4	18,2	10,4	15,7	13,3	24,0	15,7
Południowo-Zachodni (C4)	17,7	15,8	26,3	24,7	31,5	11,0	15,8	10,0	11,7	15,1	14,6	22,9	25,4	29,9	17,0
Południowo-Wschodni (C5)	19,7	21,3	21,3	26,8	27,4	13,8	9,4	8,3	13,7	20,9	16,4	17,1	17,9	26,4	18,5

niewielki wzrost prawdopodobieństwa we wszystkich typach cyrkulacji, przy czym największe analizowane prawdopodobieństwo (22,5%) w badanym okresie występowało nie jak poprzednio, tzn. podczas południowej cyrkulacji cyklonalnej, a w czasie występowania cyrkulacji cyklonalnej południowo-wschodniej (F). W pozostałych regionach wzrost prawdopodobieństwa był o kilka procent większy niż w regionie drugim i dotyczył głównie cyrkulacji cyklonalnych z adwekcją powietrza z sektora południowego (D, B, F), a także południowej cyrkulacji pośredniej pomiędzy cyrkulacją cyklonalną i antycyklonalną (BE) oraz południowo-wschodniej i wschodniej antycyklonalnej (E_1). I jedynie w przypadku Regionu Południowo-Zachodniego (C4) prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z burzą przekroczyło 30% i dotyczyło południowo-wschodniej cyrkulacji cyklonalnej (F).

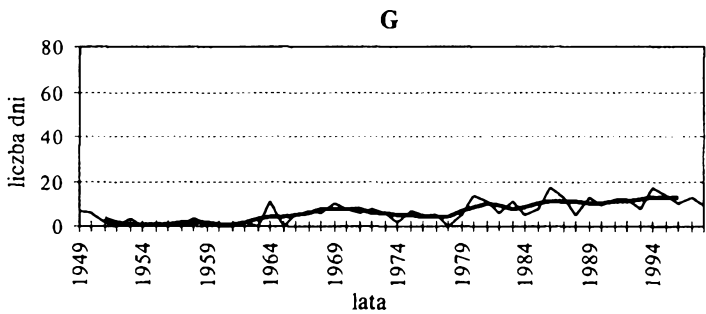
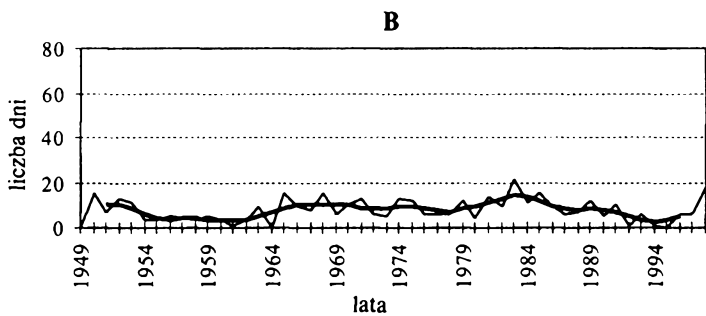
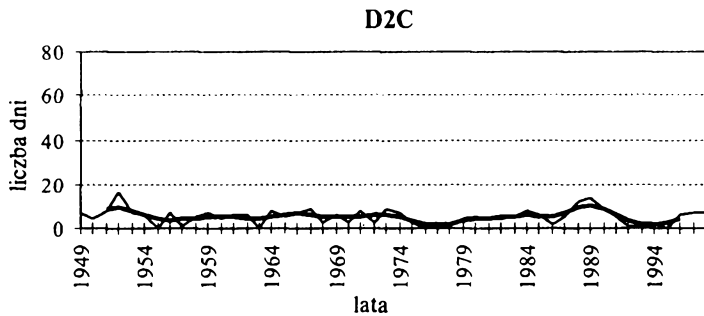
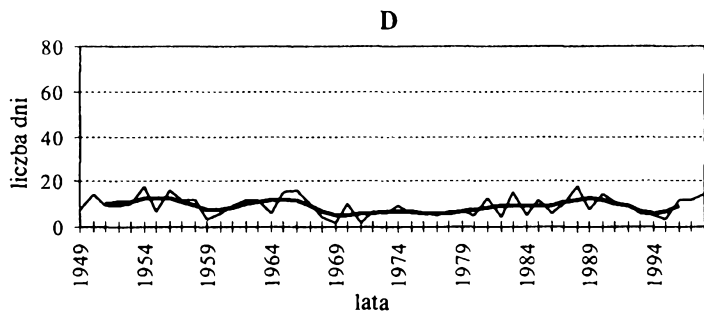
4.2. Wieloletnia zmienność liczby dni burzowych w świetle zmian cyrkulacji atmosfery

Przedstawione w poprzednim rozdziale wyniki analizy związków pomiędzy liczbą dni burzowych a sytuacjami synoptycznymi, którym towarzyszyły, pozwalają jedynie wskazać na typy cyrkulacji mniej lub bardziej sprzyjające występowaniu burz. Nie dają jednak odpowiedzi na pytanie, czy i w jaki sposób sytuacje synoptyczne kształtują zmiany wartości badanego wskaźnika w czasie. Rozwiązania tego zagadnienia poszukiwano przez porównanie zmian liczby dni burzowych z wieloletnim przebiegiem liczby dni z określonym typem cyrkulacji oraz z wieloletnimi zmianami wybranych wskaźników cyrkulacji atmosfery. Wszystkie przedstawiane zależności dotyczą okresu największej aktywności burzowej, czyli miesięcy od kwietnia do września.

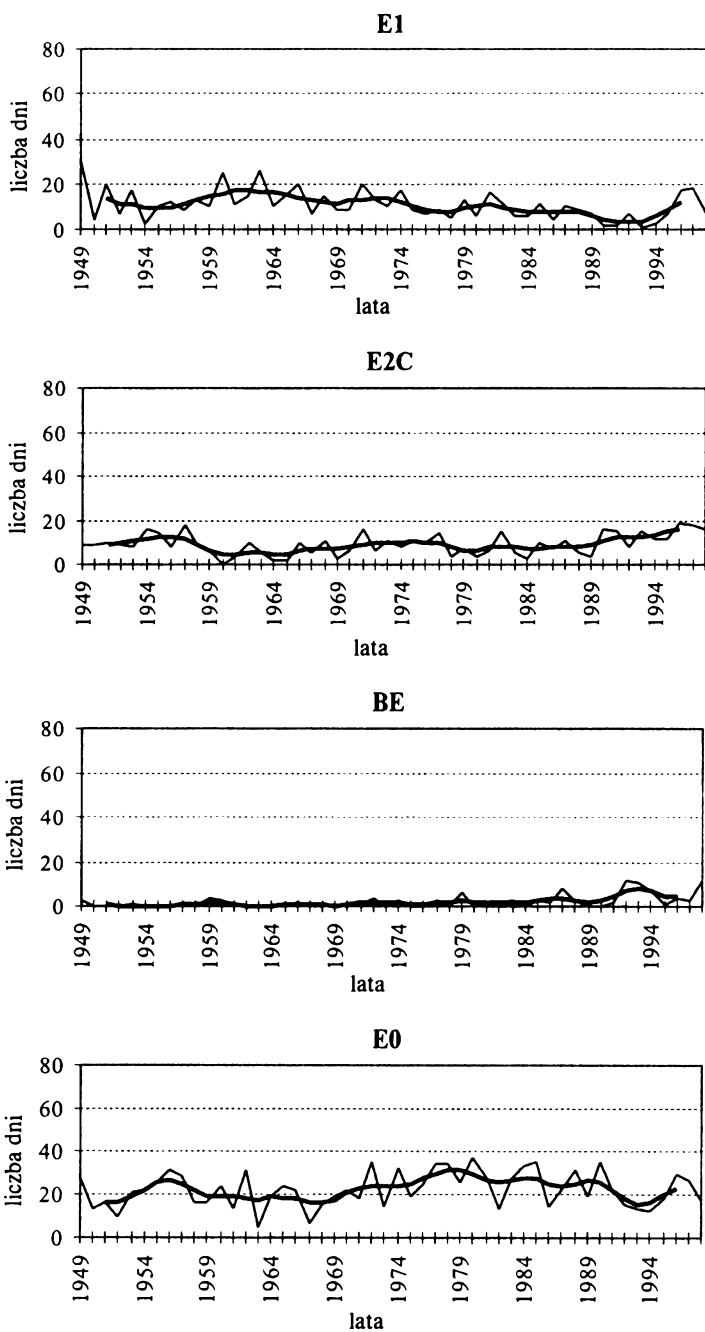
W pierwszej kolejności zbadano relacje pomiędzy liczbą dni burzowych a typami cyrkulacji, ze szczególnym uwzględnieniem tych przypadków, podczas których burze występowały najczęściej lub najrzadziej. Już pobieżne porównanie wieloletniej zmienności wymienionych wskaźników wskazuje na słabe zależności pomiędzy nimi (ryc. 13, 19, 38). Dotyczy to zarówno zmian liczby dni z burzą uśrednionych dla całego obszaru Polski, jak i dla poszczególnych regionów. Można co prawda dostrzec krótsze okresy, w których wartości poszczególnych wskaźników wykazywały podobne lub przeciwne tendencje zmian, ale ich zmienność w całym analizowanym wieloleciu znacznie się różniła. Wnioski te potwierdzają współczynniki korelacji obliczone dla poszczególnych regionów i typów cyrkulacji (tab. 17). Tylko w kilku przypadkach ich wartości wskazują na nieznaczny wpływ niektórych typów cyrkulacji na liczbę dni burzowych w pojedynczych regionach. Warto dodać, że dotyczyło to Wybrzeża (A1) oraz regionów Śląsko-Sudeckiego (A4) i Karpacko-Zamojskiego (A6), czyli obszarów najbardziej wyróż-



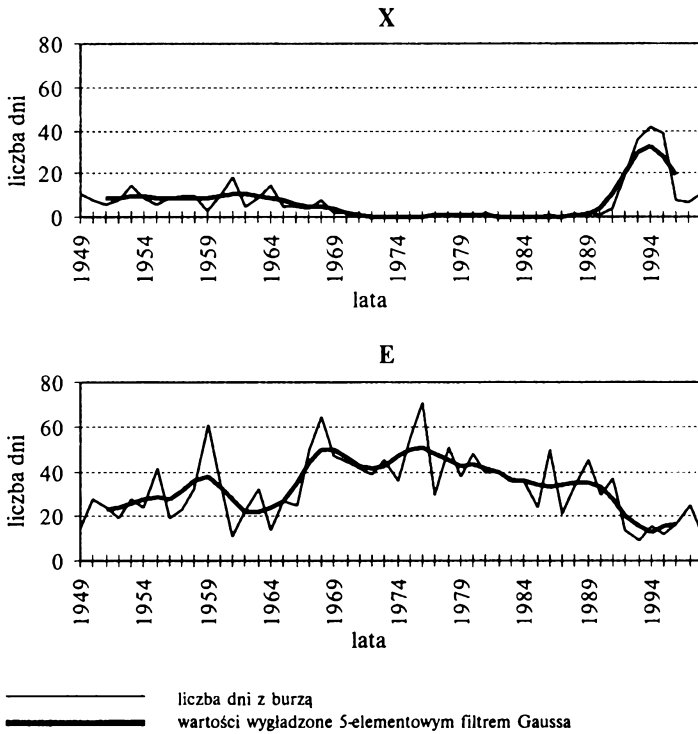
Ryc. 38.
Fig. 38.



Ryc. 38.
Fig. 38.



Ryc. 38.
Fig. 38.



Ryc. 38. Liczba dni z określonym typem cyrkulacji atmosfery w Polsce w latach 1949–1998 w okresie największej aktywności burzowej (IV–IX)

Fig. 38. Number of days with particular types of atmospheric circulation in Poland in the period 1949–1998 (from April to September)

niających się pod względem liczby dni burzowych. Typami cyrkulacji, które w owych regionach miały wpływ na zmiany liczby dni z burzą, były przede wszystkim sytuacje adwekcji powietrza z sektora wschodniego, przy czym jeżeli adwekcja ta wiązała się z układem cyklonalnym, to liczba dni burzowych malała, natomiast wschodni spływ powietrza w układach antycyklonalnych powodował jej wzrost. Z pozostałych typów cyrkulacji jedynie zachodnia cyrkulacja cyklonalna i to tylko w Regionie Karpacko-Zamojskim (A6) wpływała na zmiany liczby dni burzowych i im więcej w danym roku było dni z wymienionym typem cyrkulacji, tym mniej notowano dni z burzą.

Otrzymane rezultaty były podstawą do zbadania związków wieloletniej zmienności liczby dni burzowych z adwekcją powietrza z poszczególnych kierunków oraz częstości pojawiania się układów cyklonalnych i antycyklonalnych. W tym celu wykorzystano wskaźniki cyrkulacji (strefowy – P, cyrkulacji południkowej – S i cykloniczności – C) skonstruowane przez R. MURRAYA i R. LEWISA (1966)

Tabela 17

Współczynniki korelacji pomiędzy liczbą dni z burzą i liczbą dni z określonym typem cyrkulacji atmosfery w Polsce w latach 1949–1998 w okresie największej aktywności burzowej (IV–IX)

Table 17

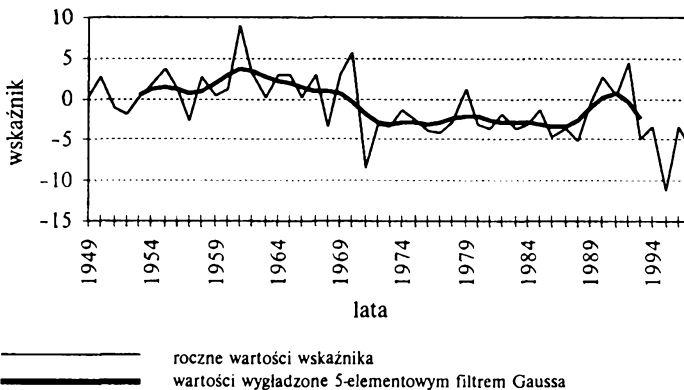
Correlation coefficient between of number of days with thunderstorm and number of days with particular types of atmospheric circulation in Poland in the period 1949–1998 (from April to September)

Region	Typ cyrkulacji													
	A	CB	D	B	F	C ₂ D	D ₂ C	G	E ₂ C	E ₀	E	E ₁	BE	X
Wybrzeże (A1)	0,10	-0,13	0,23	-0,10	-0,26	0,22	-0,01	-0,24	0,07	-0,09	-0,08	0,28	-0,12	0,01
Wielkopolsko-Pomorski (A2)	0,10	-0,11	0,10	-0,02	-0,18	0,09	0,00	-0,11	0,06	-0,14	-0,05	0,21	-0,02	0,05
Mazursko-Podlaski (A3)	-0,03	-0,09	0,13	0,06	-0,04	0,03	-0,07	-0,05	0,00	0,05	-0,02	0,09	0,00	-0,01
Śląsko-Sudecki (A4)	0,22	-0,21	-0,13	0,09	-0,33	0,24	-0,17	-0,16	0,00	-0,46	0,04	0,31	-0,15	0,22
Nadwiślański (A5)	-0,24	0,03	-0,14	0,17	-0,08	-0,19	-0,21	0,08	0,07	0,05	0,12	0,08	0,13	0,07
Karpacko-Zamojski (A6)	-0,32	-0,12	-0,21	0,13	-0,04	0,06	-0,13	-0,02	-0,15	0,10	0,35	0,22	-0,12	-0,24
Polska	-0,06	-0,09	0,02	0,06	-0,20	0,07	-0,14	-0,09	0,02	-0,08	0,06	0,23	-0,02	0,02

Wyróżniono współczynniki istotne statystycznie na poziomie istotności 0,05.

oraz zastosowane w klasyfikacji T. NIEDŹWIEDZIA (1999). Ponieważ wskaźniki te zostały oparte na klasyfikacji subiektywnej, dodatkowo podobną analizę przeprowadzono dla wskaźnika oscylacji północnoatlantyckiej (NAO) oraz dla wskaźników (strefowego – W, cyrkulacji południkowej – S i bezadwekcyjności – A) obliczonych metodą obiektywną na podstawie pola ciśnienia, zaproponowaną przez Z. USTRULĄ (1997, 1999).

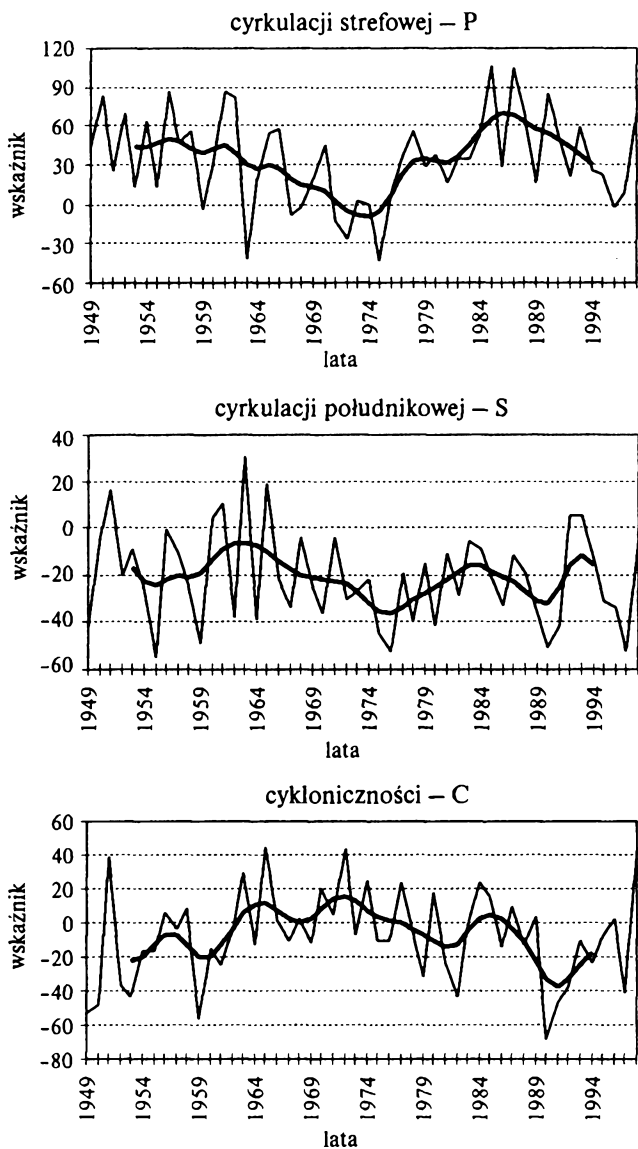
Na rycinach 39 i 40 oraz w tab. 18 przedstawiono przebieg poszczególnych wskaźników w badanym okresie oraz współczynniki korelacji określające ich



Ryc. 39. Przebieg wartości wskaźnika NAO w latach 1949–1997 (IV–IX)

Fig. 39. Annual course of NAO index in the period 1949–1997 (from April to September)

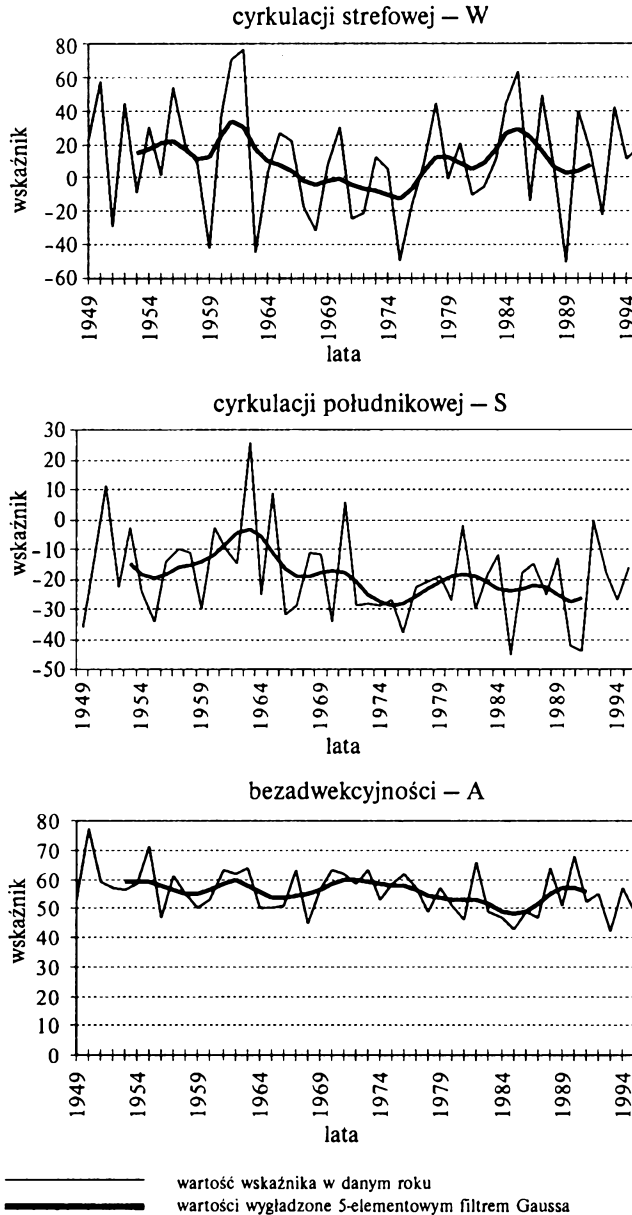
Wskaźniki cyrkulacji według T. NIEDŹWIEDZIA (1999)



Ryc. 40.

Fig. 40.

Wskaźniki cyrkulacji według Z. USTRNULA (1999)



Ryc. 40. Przebieg wybranych wskaźników cyrkulacji atmosfery w latach 1949–1998 (IV–IX)

Fig. 40. Annual course of selected indices of atmospheric circulation in the period 1949–1998 (from April to September)

Tabela 18

Współczynniki korelacji pomiędzy liczbą dni z burzą i wskaźnikami cyrkulacji atmosfery w Polsce w latach 1949–1998 w okresie największej aktywności burzowej (IV–IX)

Table 18

Correlation coefficient between number of days with thunderstorm and values of indices of atmospheric circulation in Poland in the period 1949–1998 (from April to September)

Region	Wskaźniki						
	NAO	oparte na klasyfikacji subiektywnej			oparte na klasyfikacji obiektywnej		
		P	S	C	W	S	A
Wybrzeże (A1)	0,10	-0,05	0,13	0,09	0,02	0,11	0,15
Wielkopolsko-Pomorski (A2)	0,05	-0,02	0,12	0,07	0,07	0,07	0,11
Mazursko-Podlaski (A3)	-0,11	-0,16	0,06	0,31	0,01	0,04	0,04
Śląsko-Sudecki (A4)	-0,02	-0,34	0,31	0,20	-0,27	0,35	0,07
Nadwiślański (A5)	-0,24	-0,34	0,03	0,15	-0,20	0,08	-0,18
Karpacko-Zamojski (A6)	-0,13	-0,58	-0,06	0,20	-0,45	0,15	0,08
Polska	-0,08	-0,28	0,12	0,24	-0,13	0,14	0,02

Wyróżniono współczynniki istotne statystycznie na poziomie istotności 0,05.

wpływ na wieloletnią zmienność liczby dni z burzą. Okazało się, że zmiany wartości wskaźnika NAO, najbardziej znaczącego dla określenia warunków cyrkulacji w Europie, nie mają żadnego wpływu na występowanie burz w Polsce. Podobnie nie można mówić o żadnych istotnych związkach pomiędzy liczbą dni burzowych a występowaniem sytuacji bezadwekcyjnych. W przypadku wskaźnika cyrkulacji strefowej P można już mówić o pewnej roli, jaką odgrywa cyrkulacja zachodnia w kształtowaniu wieloletniej zmienności dni z burzą. Obliczone współczynniki korelacji pomiędzy liczbą dni burzowych i wartościami badanego wskaźnika wskazują, że największy wpływ mas powietrza napływających z zachodu na liczbę dni burzowych zaznaczył się w południowych regionach Polski. W obszarach tych większa częstość adwekcji powietrza z sektora zachodniego oznaczała mniejszą liczbę dni z burzą. Zależność ta była najsilniejsza w Regionie Karpacko-Zamojskim (A6), dla którego współczynnik korelacji osiągnął wartość $-0,58$. Potwierdza to również wysoka wartość współczynnika korelacji ($-0,45$) obliczona dla wskaźnika W. Otrzymane wyniki mogą świadczyć o tym, że na występowanie burz w Polsce większy wpływ mają inne czynniki (w tym warunki lokalne) niż intensywna cyrkulacja od strony Atlantyku, co może oznaczać, że wschodni kierunek adwekcji powietrza bardziej sprzyja występowaniu burz niż dominujący w szerokościach umiarkowanych spływ powietrza z zachodu. Jeśli chodzi o pozostałe wskaźniki (cyrkulacji południkowej i cykloniczności), to badane związki istniały tylko pomiędzy adwekcją powietrza z sektora południowego i liczbą dni burzowych w Regionie Śląsko-Sudeckim (A4) (zarówno według me-

tody subiektywnej, jak i obiektywnej) oraz pomiędzy częstością sytuacji cyklonalnych i występowaniem dni z burzą w Regionie Mazursko-Podlaskim (A3). W obu przypadkach występowanie wymienionych sytuacji sprzyjało pojawianiu się burz, a obliczone współczynniki korelacji wynosiły +0,31.

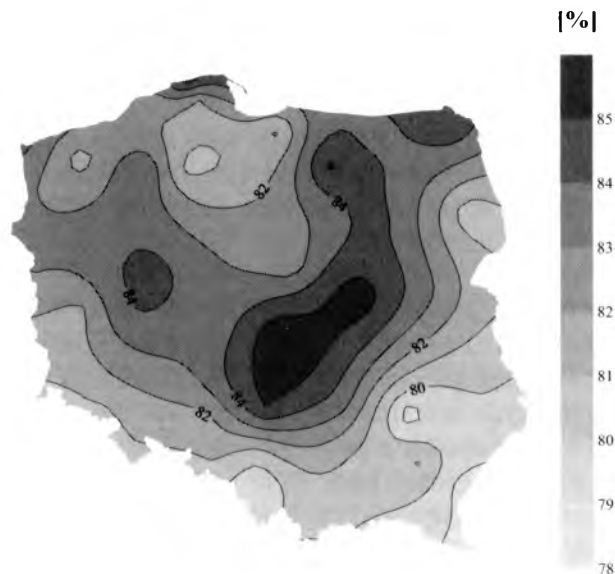
Należy jeszcze zwrócić uwagę, że jedynie w przypadku regionów Śląsko-Sudeckiego (A4) i Karpacko-Zamojskiego (A6) istotne statystycznie wartości wskaźników obliczonych metodą subiektywną i obiektywną są podobne. Stanowić to może dodatkowe potwierdzenie wykazanego związku pomiędzy występowaniem dni burzowych a określonym typem cyrkulacji (odpowiednio: adwekcją powietrza z zachodu i południa) w badanych regionach.

4.3. Wpływ frontów atmosferycznych na występowanie dni z burzą

Rozpatrując wpływ sytuacji synoptycznych na kształtowanie liczby oraz wieloletniej zmienności dni burzowych, nie sposób pominąć roli, jaką w tym procesie odgrywają fronty atmosferyczne. W umiarkowanych szerokościach geograficznych przechodzenie nad danym obszarem frontów atmosferycznych jest jednym z podstawowych mechanizmów powodujących wystąpienie silnej chwiejności atmosfery, która jest warunkiem niezbędnym do wystąpienia burzy. Postanowiono zatem sprawdzić, jaki udział w ogólnej liczbie dni burzowych stanowiły burze związane z frontami atmosferycznymi. W tym celu wykorzystano mapy synoptyczne IMGW z lat 1952–1981 i dla każdego dnia z burzą określono, czy w danej dobie przechodził nad Polską front, czy też występowała jednorodna masa powietrza. W niniejszym opracowaniu przyjęto założenie, że jeżeli w dniu burzowym nad obszarem Polski znajdował się front, to występujące wtedy burze uznawano za burze frontowe, a dzień taki nazywano dniem z burzą frontową. W przeciwnym wypadku przyjmowano, że powstałe burze należy zaliczyć do burz wewnątrzmasowych. Ponadto, nie przeprowadzono podziału burz frontowych na burze frontu ciepłego, chłodnego czy zokludowanego, ani też nie wyróżniano burz występujących w postaci linii szkwałów. Przyjmując przytoczone założenia, zdawano sobie sprawę z pewnego uogólnienia i popełnienia kilkuprocentowego błędu w ocenie genezy burz, które wystąpiły w dniu z frontem atmosferycznym. Możliwe były przypadki, w których powstałe w takim dniu burze wystąpiły przed lub po przejściu frontu, już w jednorodnej masie powietrza. Zdarzały się również sytuacje (choćby stosunkowo nieliczne), że front znajdujący się nad Polską nie objął swoim zasięgiem całego kraju lub był frontem stacjonarnym i na części stacji powstałe burze były burzami frontowymi, na pozostałych zaś burzami wewnątrzmasowymi. Niemniej jednak ze względu na rodzaj materiałów,

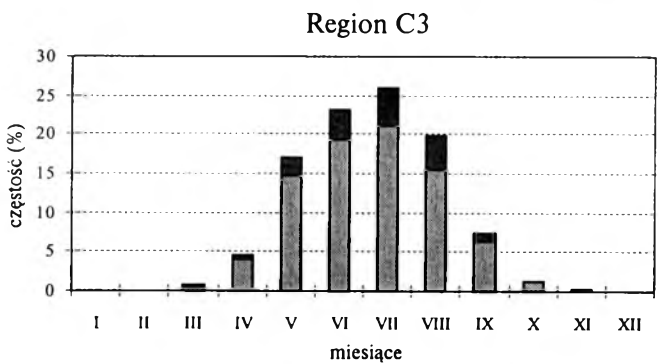
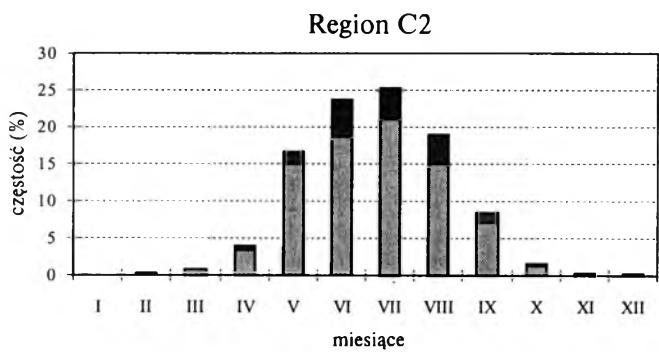
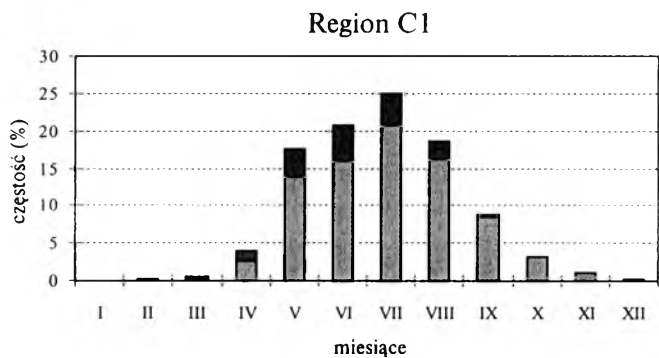
jakimi dysponowano oraz na ich ilość, na tym etapie pracy dokładniejsza analiza omawianego zagadnienia nie była możliwa. Ponadto przyjęcie takiego podziału burz było podyktowane dużą dynamiką przechodzenia większości frontów (zwykle w ciągu doby obejmują one cały obszar Polski), a także faktem, że na mapach synoptycznych, z których korzystano, rzadko przedstawia się towarzyszące frontom linie szkwałów oraz fronty wtórne.

Jak już wcześniej wspomniano, w umiarkowanych szerokościach geograficznych zmianę masy powietrza i związane z tym powstanie frontów atmosferycznych uznaje się za jeden z głównych mechanizmów powodujących tworzenie się burz. Przeprowadzona analiza wykazała, że mechanizm ten należy uznać nie tylko za jeden z najważniejszych, lecz także za najważniejszy proces powodujący powstawanie burz w Polsce. Okazało się bowiem, że średnio w Polsce 82,2% wszystkich dni burzowych stanowiły dni, w których nad badanym obszarem przechodził front atmosferyczny. Najmniej takich dni było w południowej i wschodniej Polsce oraz na pograniczu Pojezierza Pomorskiego i Pojezierza Mazurskiego (w Sandomierzu – 78,5% wszystkich przypadków, w Przemyśle – 78,6%, a w Chojnicach i Elblągu odpowiednio 80,7% i 80,8% przypadków). Natomiast największy udział dni z frontem w całkowitej liczbie dni burzowych miał miejsce w Polsce środkowej, na Pojezierzu Mazurskim oraz na północy Polski. Na stacjach wymienionych regionów udział analizowanych dni przekraczał zwykle 84%, a w Łebie, Warszawie i Łodzi osiągnął 85,7% wszystkich dni z burzą (ryc. 41).

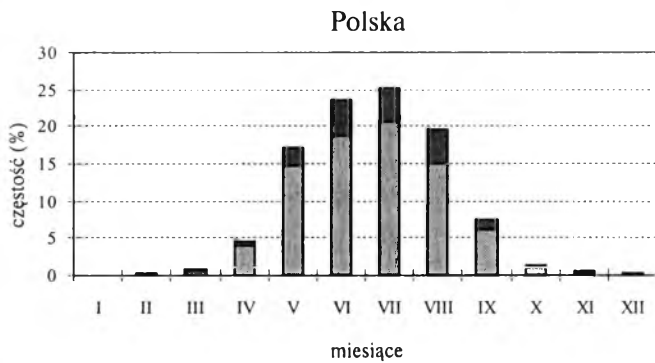
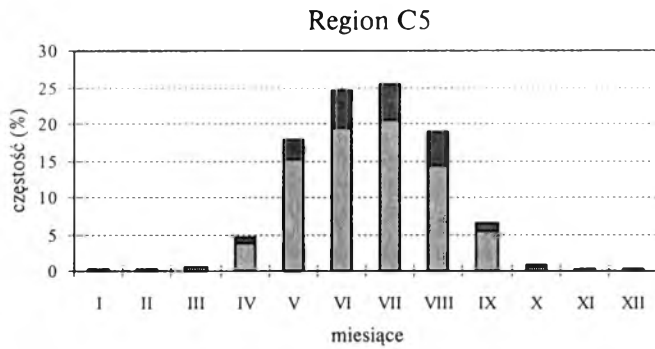
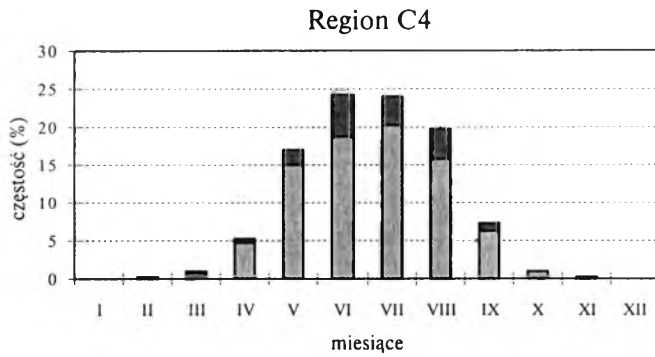


Ryc. 41. Udział [%] dni z frontem w ogólnej liczbie dni z burzą w Polsce w latach 1952–1981

Fig. 41. The share [%] days with atmospheric front in whole number of days with thunderstorm in Poland in the period 1952–1981



Ryc. 42.
Fig. 42.



dni z frontem
 dni bez frontu

Ryc. 42. Udział [%] dni z frontem oraz dni bez frontu w ogólnej liczbie dni z burzą w miesiącach w Polsce w latach 1952–1981

Fig. 42. The share [%] of days with atmospheric front and days without front in whole number of days with thunderstorm in particular months in Poland in the period 1952–1981

W poszczególnych miesiącach udział dni z frontem, w których zanotowano wystąpienie burzy, zmieniał się w zależności od pory roku (tab. 19, ryc. 42). W miesiącach zimowych wszystkie dni burzowe miały związek z przechodzeniem nad Polską frontów atmosferycznych, chociaż otrzymane wyniki wskazują, że zdarzyły się również burze wewnątrzmasowe. W takich przypadkach należy uznać, iż spowodowane to było błędnym zaklasyfikowaniem dnia burzowego do dni bez frontów atmosferycznych, co mogło wynikać albo z niedokładności mapy synoptycznej (nie zaznaczony front lub brak frontu wtórnego), albo z faktu, że mapy te publikowano dla okresów co 12 godzin, a nawet raz na dobę. Mogło się zatem zdarzyć, że front atmosferyczny, który przechodził nad Polską, nie został zaznaczony, a interpretacja dwóch kolejnych map okazała się niejednoznaczna. W takim przypadku, przy bardzo małej całkowitej liczbie dni z burzą, jeden błędnie określony dzień znacząco wpływał na otrzymane rezultaty.

Tabela 19

Udział [%] dni z frontem w ogólnej liczbie dni z burzą w poszczególnych miesiącach w regionach burzowych w Polsce w latach 1952–1981

Table 19

The share [%] of days with atmospheric front in whole number of days with thunderstorm in particular months in thunderstorm's regions in Poland in the period 1952–1981

Miesiąc	Region 1	Region 2	Region 3	Region 4	Region 5	Polska
I	75	100	83	100	100	93
II	100	100	100	100	100	97
III	76	92	92	80	94	88
IV	97	91	93	90	83	88
V	91	90	87	88	84	87
VI	81	79	83	77	79	79
VII	82	84	82	84	81	82
VIII	79	79	78	80	76	78
IX	78	83	86	86	83	83
X	94	93	95	95	94	93
XI	84	93	96	90	88	83
XII	100	88	100	100	96	83

Wiosną udział burz wewnątrzmasowych zaczął wzrastać i średnio w Polsce wynosił od 12% do 13%, a w poszczególnych regionach wahał się od 3% do 24% wszystkich dni burzowych w miesiącu. Największa liczba dni z burzami wewnątrzmasowymi występowała w zależności od regionu: w czerwcu w południowej Polsce (region 4 i 5), w sierpniu w regionach 2 i 3 oraz we wrześniu na północy Polski – w regionie 1. W miesiącach tych dni z frontem stanowiły

niewiele ponad 3/4 wszystkich dni burzowych i ich udział wahał się od 76% do 83% dni z burzą. W miesiącach jesiennych liczba dni z burzami występującymi w jednorodnej masie powietrza szybko malała i w październiku już ponad 90% dni burzowych stanowiły dni z frontami atmosferycznymi.

Na poszczególnych stacjach opisany udział dni z frontami we wszystkich przypadkach dni burzowych był zbliżony. Największe różnice zaznaczały się głównie w miesiącach wiosennych i jesiennych, w których na określonej stacji okres aktywności burzowej mógł się jeszcze nie zacząć lub skończył się wcześniej niż gdzie indziej.

Otrzymane rezultaty porównano z innymi pracami dotyczącymi występowania burz w wybranych regionach kraju (BIELEC, 2000; MICHAŁOWSKI, 1962; WRÓBEL, 1985). Okazało się, że we wszystkich przypadkach liczba burz frontalnych jest zdecydowanie większa niż wewnątrzmasowych, jednak ich udział w ogólnej liczbie burz jest znacznie mniejszy niż zaprezentowany w niniejszej pracy i zwykle wynosi od 60% do 75%. Również w poszczególnych miesiącach proporcje te kształtują się nieco inaczej, a największe różnice są widoczne od maja do sierpnia. W miesiącach tych udział burz powstających w jednorodnej masie powietrza jest znacznie większy niż wynika to z przedstawionej wcześniej analizy i w czerwcu osiąga około 50%. Należy jednak zwrócić uwagę na fakt, iż wymienione opracowania dotyczą stacji leżących w południowo-wschodniej Polsce i brak jest możliwości porównania tych wyników z innymi regionami kraju, a wykazane różnice są spowodowane przede wszystkim przyjętymi w opracowaniu założeniami.

Z tego względu zaprezentowane rezultaty należy uznać za pewne przybliżenie rzeczywistego udziału burz frontalnych i wewnątrzmasowych w ogólnej liczbie burz w różnych regionach kraju. Największą uwagę należy zwrócić na przestrzenny rozkład tego wskaźnika i na próbę jego interpretacji. Najmniejszy udział dni z frontem w całkowitej liczbie dni z burzą, który występuje na południu i wschodzie Polski, najprawdopodobniej może być wytłumaczony mniejszą niż w pozostałych regionach częstością przechodzenia nad tym obszarem frontów atmosferycznych. Innym czynnikiem, który mógł wpłynąć na taki wynik, jest większa niż gdzie indziej liczba dni z burzą oraz ukształtowanie terenu sprzyjające powstawaniu burz orograficznych i wewnątrzmasowych. Znacznie trudniej wytłumaczyć zróżnicowanie tego wskaźnika w północnych regionach Polski. Być może większa częstość burz frontalnych na Pojezierzu Mazurskim wynika z większej niż w północno-zachodniej części kraju liczby dni z frontami atmosferycznymi w ciągu roku (PARCZEWSKI, 1965). Interesująca również wydaje się zmiana (od czerwca do września) okresu, w którym w poszczególnych regionach udział burz wewnątrzmasowych jest największy. Prawdopodobnie wyjaśnienia należy szukać w porównaniu rocznego przebiegu liczby dni z frontami z rocznym przebiegiem dni z burzą. Jednak w celu znalezienia pełnej odpowiedzi na poruszone problemy potrzebne są dalsze i bardziej szczegółowe badania, obejmujące przede wszystkim cyrkulacyjne aspekty zróżnicowania klimatycznego w Polsce.

4.4. Sytuacje synoptyczne podczas szczególnych przypadków dni z burzą

W pracach klimatologicznych szczególną uwagę zwraca się na wyjątkowe przypadki wystąpienia jakiegoś zjawiska czy osiągnięcia przez analizowany element rzadko spotykanych wartości. Badając występowanie burz w Polsce, autorka zwróciła uwagę na sytuacje, w których burze notowano na obszarze całego kraju, podczas długiego okresu dni bez frontów atmosferycznych oraz występowanie ciągów dni burzowych na poszczególnych stacjach. Tym właśnie zagadnieniom poświęcono niniejszy rozdział, który stanowi pewne uzupełnienie przedstawionej wcześniej synoptycznej charakterystyki występowania burz w Polsce.

Burze obejmujące całą Polskę

Jako pierwsze rozpatrzono zagadnienie występowania dni, w których burze zostały zanotowane na większości stacji w Polsce. Przeprowadzona analiza wykazała, że w ciągu badanego pięćdziesięciolecia nie było dnia, w którym stwierdzono by wystąpienie burzy na wszystkich stacjach ujętych w opracowaniu. Jednak czterokrotnie tego samego dnia burze zostały odnotowane na 50 lub większej liczbie stacji. Dni takie wystąpiły:

- 6 czerwca 1982 roku – na 54 stacjach (podczas cyrkulacji północno-wschodniej i wschodniej cyklonalnej – E_0),
- 20 czerwca 1968 roku – na 52 stacjach (podczas południowej cyrkulacji cyklonalnej – B),
- 25 lipca 1981 roku – na 51 stacjach (podczas południowej cyrkulacji cyklonalnej – B),
- 10 czerwca 1961 roku – na 50 stacjach (podczas zachodniej cyrkulacji antycyklonalnej – C_2D).

W pozostałych przypadkach burze występujące w tym samym dniu notowano najczęściej na mniej niż 30 stacjach w Polsce. Natomiast w 65% dni analizowanego okresu burz nie zanotowano na żadnej stacji w kraju.

Bliższa analiza czterech wymienionych wyżej szczególnych przypadków dni burzowych wykazała, że wszystkie były związane z przechodzeniem nad obszarem Polski chłodnych frontów atmosferycznych. W trzech z wymienionych dni (w 1961 roku, w 1968 roku i w 1981 roku) fronty te przemieszczały się z zachodu na wschód (zał. 1). Napływające za nimi powietrze polarnomorskie (PPm) powoli zaczęło wypierać zalegające od kilku dni powietrze polarnokontynentalne (PPk), związane z rozległym wyżem obejmującym całą wschodnią i południowo-wschodnią Europę. Wyż ten blokował napływ powietrza znad Atlantyku i fronty, które dotarły już do Polski, zatrzymywały się nad jej terytorium. Wynikiem po-

wstalej sytuacji było ciągle ścieranie się dwóch mas powietrza: wilgotnego i chłodniejszego znad Atlantyku (PPm) z cieplejszym i bardziej suchym zalegającym na wschodzie kontynentu (PPk), co spowodowało powstanie silnej chwiejności pionowej w atmosferze i w konsekwencji występowanie burz w całej rozległej strefie frontalnej. Nieco inaczej przedstawiała się sytuacja w dniu 6 czerwca 1982 roku, w którym burze notowano na największej liczbie stacji (zał. 2). W tym dniu prawie cała Europa znajdowała się w zasięgu wyżu, w masie powietrza polarnokontynentalnego (PPk). Jednocześnie z północy i z zachodu w głąb kontynentu zaczęły się przemieszczać dwa układy frontów. Jeden związany z niżem powstałym nad Atlantykiem i drugi, z północy, za którym napływała chłodna masa powietrza arktycznego (PAm). Polska znalazła się pod wpływem ostatniego z wymienionych układów. Związany z nim, bardzo dynamiczny, front chłodny w ciągu kilkunastu godzin przeszedł nad Polską, a wraz z nim burze. Przy czym „strefa burzowa” obejmowała bardzo rozległy obszar. Zaliczały się do niej zarówno burze termiczne (wewnątrzmasowe), które występowały jeszcze przed frontem w masie powietrza polarnokontynentalnego (PPk), jak i burze frontalne oraz burze powstałe już po przejściu frontu.

Dni z burzami wewnątrzmasowymi

Na uwagę zasługują też okoliczności, kiedy nad Polską przez kilka lub kilkanaście dni nie przechodziły fronty atmosferyczne, a mimo to jednocześnie w wielu miejscach w kraju notowano występowanie burz. W latach 1952–1981 (dla których zbadano występowanie nad Polską frontów atmosferycznych) ciągi opisywanych dni (5 lub więcej) zdarzyły się 19 razy (tab. 20). Analiza dat występowania ciągów badanych dni wykazała, że większość z nich miała miejsce w lipcu i w sierpniu, co było wynikiem rozbudowujących się nad Europą wyżów, które w tych miesiącach często obejmują rozległe obszary kontynentu i blokują napływ powietrza z innych regionów. Potwierdzają to typy cyrkulacji, jakie przeważały w analizowanych dniach. Najczęściej była to adwekcja powietrza z sektora wschodniego związana z układem antycyklonalnym.

Spośród wyróżnionych okresów dni z burzami wewnątrzmasowymi najdłuższym okresem, jaki zanotowano, było 13 dni lipca 1959 roku (od 15 do 27). W dniach tych przeważająca część Europy, w tym i Polska, znajdowała się pod wpływem dwóch mas powietrza: polarnomorskiego starego (PPms) na północy i zachodzie oraz powietrza polarnokontynentalnego obejmującego wschodnią i południowo-wschodnią część Europy (zał. 3). Wiązały się one z rozbudowującym się na północnym wschodzie wyżem oraz niżami na południu i zachodzie kontynentu. W dniu 21 lipca wspomniany wyż połączył się z Wyżem Azorskim i przez kilka następnych dni północna i północno-zachodnia Europa znajdowała się pod ich wpływem, gdy tymczasem nad pozostałą częścią kontynentu zalegały płytkie nize. Ciąg tych dni zakończył się 27 lipca, kiedy niż znad Islandii

Tabela 20
 Ciągi dni z burzami wewnątrzmasowymi w Polsce
 w latach 1949–1998

Table 20
 Sequences of days with inter-mass thunderstorm in
 Poland in the period 1949–1998

Daty	Liczba dni	Przeważający typ cyrkulacji
15–27 VII 1959	13	E i E ₀
31 VII–7 VIII 1970	8	E E ₁ E ₀
4–11 VIII 1975	8	E
4–10 VII 1962	7	CB
10–16 VII 1976	7	E i E ₀
13–19 VIII 1976	7	E i E ₀
1–6 VI 1960	6	E
19–24 VII 1968	6	E
25–30 VIII 1968	6	E
10–15 VII 1955	6	E i E ₀
5–9 VI 1961	5	X
8–12 VI 1966	5	E
31 V–4 VI 1968	5	E
10–14 VIII 1978	5	CB
24–28 VIII 1967	5	E i E ₀
4–8 VIII 1956	5	CB i E ₂ C
19–23 V 1953	5	E ₁
22–26 VI 1953	5	E i E ₀
31 VII–4 VIII 1953	5	CB i C ₂ D

rozerwał opisany pas podwyższonego ciśnienia i znalazł się nad Europą, aby następnego dnia dotrzeć do Polski. Należy dodać, że opisywanym zmianom sytuacji synoptycznej towarzyszyła nieustanna zmiana zasięgu wymienionych wcześniej mas powietrza, a obszar tych zmian obejmował również Polskę. Prawdopodobnie właśnie ta wymiana mas powietrza, a szczególnie napływ wilgotniejszego i chłodniejszego powietrza znad Atlantyku, była impulsem, który powodował ciągle powstawanie burz. Byłoby to potwierdzeniem, przedstawionych wcześniej, wyników badań określających rolę wilgotności i temperatury powietrza podczas powstawania burz. W analizowanym przypadku w dniach z masą powietrza kontynentalnego silne nagrzewanie się podłoża stanowiło główny powód powstania chwiejnej równowagi atmosfery. Jednak gdyby sytuacja taka trwała zbyt długo,

zmniejszająca się wilgotność powietrza zahamowałyby proces tworzenia się burz. Napływ mas oceanicznych uzupełniał deficyt wilgotności, a ponieważ w niższych temperaturach to wilgotność powietrza decyduje o wystąpieniu burzy, nadal istniały warunki sprzyjające ich rozwojowi.

W przypadku kolejnych, pod względem długości, ciągów dni z burzami powstającymi w jednorodnej masie powietrza sytuacja również była zbliżona. Nad Europą Środkową rozbudowywały się ośrodki podwyższonego ciśnienia otoczone słabymi niżami. Przez parę kolejnych dni uniemożliwiały one adwekcję powietrza z innych obszarów, po czym zanikały lub zostały zepchnięte na północ kontynentu. Przykład takiej sytuacji został przedstawiony w zał. 4, który ukazuje sytuację synoptyczną nad Europą w okresie ośmiodniowym (przełom lipca i sierpnia) w 1970 roku.

Wymienione sytuacje zostały zauważone nie tyle z powodu długiego okresu utrzymywania się pogody bez frontów atmosferycznych, podczas której „gdzieś w Polsce” wystąpiła burza, ile ze względu na liczbę stacji notujących to zjawisko. W początkowych dniach tak wyróżnianych okresów burze odnotowywano na kilku stacjach w Polsce. Wraz z upływem czasu liczba ta wzrastała (w 1959 roku do 47 stacji), aby po kilku dniach, kiedy masa powietrza nabrała cech podłoża, nad którym przebywała, ponownie maleć. Jeżeli ciąg opisywanych dni trwał dostatecznie długo i w tym czasie nastąpiła wymiana mas powietrza, to w drugiej połowie tego okresu dochodziło do powtórnego wzrostu liczby stacji notujących burze.

Przedstawiona poprzednio analiza wskazuje na to, że występowanie burz wewnątrzmasowych również, w pewnym stopniu, jest związane z wymianą mas powietrza. Jeżeli nad obszarem Polski jednorodna masa powietrza zalega zbyt długo albo nie różni się znacznie od poprzedniej, to impuls wywołujący powstawanie burzy zanika. Z tego powodu w sytuacjach, w których nad Europą Środkową rozbudowuje się wyż, burze będą występować tylko na początku takiego okresu i prawdopodobnie będą notowane w niewielu regionach kraju.

Ciągi dni burzowych

W świetle przedstawionych szczególnych uwarunkowań występowania dni burzowych na obszarze całej Polski interesujące wydawało się zbadanie trwania ciągów dni z burzą na poszczególnych stacjach. W analizie tej wzięto pod uwagę ciągi czterodniowe lub dłuższe. Okazało się, że ich liczba i długość jest bardzo zróżnicowana. Najwięcej było przypadków, w których na poszczególnych stacjach w 4 lub 5 kolejnych dniach notowano burze. Rzadziej występowały sytuacje, w których burze pojawiały się przez 8 lub więcej następujących po sobie dni. Należy dodać, że większość badanych przypadków miała miejsce od czerwca do sierpnia, a w pozostałej części okresu największej aktywności burzowej wystąpienie ciągu dni burzowych zdarzało się sporadycznie. Oczywiście najwięcej i naj-

dłuższe ciągi dni burzowych występowały w regionach wschodnich i południowych, gdzie liczba dni z burzą jest największa (71 przypadków na Kasprowym Wierchu – w tym 13 trwających dłużej niż tydzień). Jednak nawet blisko siebie położone stacje wykazywały duże różnice (tab. 21). Przykładem takiej sytuacji jest porównanie Wielunia i Łodzi czy Elbląga i Helu. W pierwszym przypadku na stacji w Wieluniu liczba badanych ciągów była przeszło dwa razy większa niż w Łodzi (odpowiednio 16 i 6 ciągów dni burzowych). Również więcej było ciągów dłuższych (pięciodniowych i sześciodniowych) – 4 w Wieluniu i tylko 1 w Łodzi. Porównując Hel z Elblągiem różnica ta staje się jeszcze bardziej widoczna. W badanym wieloleciu na Helu zanotowano tylko 7 ciągów 4-dniowych

Tabela 21

Liczba ciągów dni z burzą na wybranych stacjach w Polsce w latach 1949–1998

Table 21

Number of the sequences of days with thunderstorm at chosen stations in Poland in the period 1949–1998

Stacja	Liczba dni z ciągu						
	4	5	6	7	8	9	10
Kołobrzeg	3	1	–	–	–	–	–
Łeba	13	1	–	–	–	–	–
Hel	7	–	–	–	1	–	–
Elbląg	17	3	2	–	1	1	–
Suwałki	10	9	5	–	–	1	–
Szczecin	6	1	–	–	–	–	–
Chojnice	13	2	2	–	–	–	–
Toruń	13	2	2	–	–	–	–
Ostrołęka	11	1	1	–	–	1	–
Poznań	13	1	1	–	–	–	–
Zielona Góra	8	5	1	–	1	–	–
Wieluń	12	2	2	–	–	–	–
Łódź	5	1	–	–	–	–	–
Włodawa	11	2	2	1	1	1	–
Jelenia Góra	15	9	2	1	–	–	–
Śnieżka	21	8	4	–	–	–	–
Opole	13	5	1	1	–	–	–
Sandomierz	7	10	1	1	–	–	–
Aleksandrowice	14	6	3	–	–	–	–
Kasprowy Wierch	29	18	11	6	4	1	2
Przemysł	25	12	3	1	–	1	–

i jeden ciąg 8-dniowy. Natomiast na niewiele dalej położonej stacji w Elblągu było to: 17 ciągów 4-dniowych, 3 ciągi 5-dniowe, dwa 6-dniowe oraz po jednym 8- i 9-dniowym.

Opisane wcześniej oraz wymienione w tab. 21 przykłady ciągów dni z burzą na wybranych stacjach wskazują, że występowanie opisywanych okresów silnie zależy od obszaru, na którym znajduje się stacja. Ważne jest, czy region, do którego należy badana stacja, charakteryzuje się dużą czy małą liczbą dni burzowych. Jednak nie mniej ważną rolę odgrywają warunki lokalne, które w znacznym stopniu są odpowiedzialne za różnice liczby i długości analizowanych ciągów pomiędzy blisko położonymi stacjami.

Sprawdzono także, czy występowanie po sobie kolejnych dni burzowych ma związek z jakimś szczególnym typem cyrkulacji. Okazało się, że ani na poszczególnych stacjach, ani we wszystkich przypadkach ciągów dni z burzą nie stwierdzono wyraźnej przewagi określonego typu cyrkulacji. Zauważono jednak, że duża liczba analizowanych ciągów dni występowała podczas napływu powietrza z sektora wschodniego (E , E_0 , E_1), a także podczas północno-zachodniej cyrkulacji cyklonalnej (CB). Stanowiąc to może potwierdzenie, wykazanego w poprzednich rozdziałach, znaczącego wpływu adwekcji mas powietrza ze wschodu na występowanie burz w Polsce, szczególnie w regionach wschodnich i południowych.

Na zakończenie należy podkreślić, że wykazane zależności powinny być traktowane z dużą ostrożnością i wymagają jeszcze dalszych badań. Pełniejsza interpretacja opisanych poprzednio szczególnych przypadków byłaby możliwa, gdyby dysponowano dokładniejszymi materiałami dotyczącymi sytuacji synoptycznych w badanych dniach oraz pełnym zapisem przebiegu burz. Istnieje również możliwość, że niektóre sytuacje zostały opisane nieprecyzyjnie, co jest związane z dokładnością map synoptycznych, którymi dysponowano (np. brak frontów wtórnych). Obecnie, w przypadku podobnych analiz, pomocne mogą się okazać zdjęcia satelitarne, które w znacznej mierze ułatwiają właściwą ocenę przebiegu badanych zjawisk.

5. Regiony burzowe

W poprzednich rozdziałach zbadano kilka aspektów zmienności liczby dni z burzą na terenie Polski w latach 1949–1998. Dotyczyły one zarówno zmian przestrzennych, jak i czasowych. Uwzględniono też synoptyczne uwarunkowania sprzyjające powstawaniu burz oraz wskazano na rolę warunków lokalnych w kształtowaniu przedstawionej zmienności liczby dni burzowych. W trakcie przeprowadzonej analizy zaproponowano podział Polski na regiony burzowe wydzielone na podstawie trzech przyjętych kryteriów. Pierwszym z nich była wieloletnia zmienność rocznej liczby dni burzowych w badanym okresie, następnym – zmiany liczby dni z burzą w ciągu roku oraz częstość występowania dni z burzą w poszczególnych typach cyrkulacji atmosfery. Otrzymane regionalizacje pozwoliły na wskazanie od 5 do 6 obszarów, na których, według przyjętego kryterium, występowanie dni burzowych odznaczało się podobnymi zmianami (ryc. 18, 26, 34). Porównując między sobą wymienione podziały stwierdzono, że granice wydzielonych regionów są zbliżone. Oznacza to, że w tych regionach istnieją warunki wpływające na występowanie burz, które wyraźnie odróżniają je od obszarów otaczających.

Stwierdzenie to stanowiło podstawę przeprowadzenia końcowej regionalizacji, która uwzględniałaby wszystkie kryteria wcześniejszych podziałów. W tym celu każdej stacji przypisano trzy liczby oznaczające numery regionów, do których zaliczano w kolejnych podziałach, np.: Elbląg – 2 (A), 2 (B), 3 (C) czy Koło – 3 (A), 4 (B), 2 (C). Następnie, stosując metodę K-średnich analizy skupień przeprowadzono kilka prób regionalizacji. Ostatecznie zdecydowano się przyjąć podział na 5 regionów, którym, podobnie jak w poprzednich przypadkach, nadano nazwy określające położenie na obszarze Polski oraz kolejne numery (ryc. 43). Decyzja o przyjęciu takiej liczby regionów wynikała z porównania kilku otrzymanych podziałów oraz z założenia, że do wydzielenia regionu potrzeba co najmniej trzech stacji leżących w najbliższym sąsiedztwie. Okazało się, że w większości prób granice ostatecznie przyjętych regionów zmieniały się nieznacznie, a liczba klas, do których zaliczano stacje, wzrastała w wyniku uwzględniania pojedynczych przypadków.



Ryc. 43. Regiony burzowe w Polsce

Fig. 43. Thunderstorm's regions in Poland

Bliższa analiza przeprowadzonej regionalizacji wykazała, że w poszczególnych obszarach kraju o przynależności stacji do określonego regionu decydowały różne cechy zmian liczby dni burzowych. We wszystkich regionach decydującym kryterium zaliczenia stacji do określonego obszaru był przebieg liczby dni burzowych w ciągu roku. Jednak w najmniejszym regionie – na Wybrzeżu (D1), do którego należy 5 stacji, równie ważna była częstość występowania dni z burzą w poszczególnych typach cyrkulacji. W Regionie Północno-Zachodnim (D2) (obejmującym obszar Pojezierzy: Pomorskiego i Wielkopolskiego, Nizinę Wielkopolską, a także wyróżniony wcześniej Region Zatoki Gdańskiej – B2) drugim decydującym kryterium była wieloletnia zmienność liczby dni burzowych. Natomiast Region Północno-Wschodni (obejmujący Mazury, Podlasie i Nizinę Mazowiecką) odznaczał się bardzo dużym podobieństwem zmian liczby analizowanych dni na całym obszarze. Z 12 stacji wchodzących w skład regionu tylko 4 stacje (Toruń, Łódź, Warszawa i Siedlce) znacząco odróżniały się od pozostałych i dotyczyło to wieloletniej zmienności liczby dni z burzą. O wydzieleniu

Regionu Południowo-Zachodniego (D4) (w którego skład wchodzi Nizina Śląska i Sudety) oprócz zmian liczby dni z burzą w roku zdecydowały podobieństwa ich wieloletniej zmienności, a dopiero w dalszej kolejności związane z nimi typy cyrkulacji. Region Południowo-Wschodni (D5) (obejmujący obszar polskich Karpat, większą część wyżyn, Kotliny Sandomierskiej oraz Polesie Lubelskie) okazał się regionem najbardziej jednolitym pod względem podobieństwa liczby dni burzowych oraz ich zmian w czasie i przestrzeni. Potwierdzają to również przedstawione w rozdziale drugim zakres oraz wskaźnik zmienności liczby badanych dni. W przeprowadzonej regionalizacji różnice zaznaczyły się tylko w przypadku wieloletniej zmienności dni burzowych i dotyczyły stacji leżących w Karpatach lub na Pogórzu Karpackim (Zakopanego, Kasprowego Wierchu, Nowego Sącza, Leska i Przemyśla). Odrębność ta silnie zaznaczała się w kilku kolejnych próbach regionalizacji. Dlatego proponuje się wydzielenie tego obszaru jako Podregionu Karpackiego, zaliczającego się do większego Regionu Południowo-Wschodniego (D5).

W trakcie przeprowadzanej analizy uwagę autorki zwróciła stacja w Zamościu. Według zaproponowanego w pracy podziału zalicza się ona do Regionu Południowo-Wschodniego (D5), jednak poszczególne warianty regionalizacji wskazywały na istnienie dużej różnicy pomiędzy zmiennością liczby dni z burzą notowaną na tej właśnie stacji i na stacjach otaczających. Co bardziej zastanawiające, w kilku podziałach stację tę zaliczono do grupy stacji należących do Wybrzeża (D1). Prawdopodobnie o takim zaklasyfikowaniu stacji zdecydowała zmienność liczby dni burzowych w wieloleciu, która była bardziej podobna do zmienności występującej na stacjach nadmorskich niż na stacjach leżących w południowo-wschodniej Polsce.

Przedstawioną regionalizację porównano z podziałami przeprowadzonymi wcześniej przez M. STOPEŃ (1965) i L. KOLENDOWICZA (1996) (rozdział 1.2). Okazało się, że część granic wyznaczonych regionów jest do siebie zbliżona, mimo że każdy z podziałów powstał w wyniku przyjęcia innych kryteriów i innego okresu badań, z którego pochodzą dane uwzględnione w opracowaniu. W przypadku regionów zaproponowanych przez M. STOPEŃ (1965) liczba cech charakteryzujących występowanie burz, które stanowiły podstawę podziału na regiony, była znacznie większa niż w niniejszej pracy. Z tego powodu wydzielonych regionów było dużo więcej, a liczba stacji należąca do każdego z nich była niewielka. Większe podobieństwa pomiędzy regionalizacjami są widoczne w przypadku podziałów zaproponowanych przez autorkę i L. KOLENDOWICZA (1996). Jednak ze względu na różny obszar badań i wybór kryteriów dotyczą one tylko Polski Północno-Zachodniej oraz podziału opartego na zmianach liczby dni burzowych w ciągu roku.

Podsumowując, stwierdzono, że przedstawiony podział Polski na regiony burzowe dobrze charakteryzuje zmiany liczby dni z burzą na obszarze kraju. Liczba stacji wchodząca w skład każdego regionu jest wystarczająco duża, aby mogła

stanowiąc podstawę określenia wspólnych cech występowania dni burzowych w analizowanych obszarach. Wydzielone regiony w dużym stopniu pokrywają się z głównymi jednostkami fizyczno-geograficznymi Polski, co może świadczyć o znaczącej roli warunków lokalnych w kształtowaniu wieloletniej oraz przestrzennej zmienności występowania burz.

6. Wnioski

Przewodnym celem niniejszej pracy było zbadanie zmienności występowania burz w Polsce w latach 1949–1998 zarówno w aspekcie przestrzennym, jak i czasowym. Podjęto również próbę oceny roli, jaką w procesie tym odegrała cyrkulacja atmosfery. Jednocześnie monografia wypełnia lukę w polskich badaniach klimatologicznych, gdyż niewielka tylko liczba prac jest poświęcona występowaniu burz opartych na długich seriach czasowych, a w szczególności brak podsumowania wieloletniej zmienności tego zjawiska.

Przeprowadzona analiza pięćdziesięcioletnich serii liczby dni burzowych pochodzących ze stacji w całej Polsce ukazała kilka aspektów zmienności przestrzennej występowania liczby dni z burzą. Pozwoliła także na wskazanie obszarów o różnym prawdopodobieństwie wystąpienia burzy i na określenie zróżnicowania liczby notowanych dni burzowych w krótszych okresach obserwacyjnych.

- Przestrzenna analiza występowania liczby dni z burzą wykazała, że chociaż średnio na polskich stacjach notuje się 24 dni burzowe w roku, to ich liczba waha się od 15 dni do 33 dni w zależności od położenia geograficznego. Najmniej takich dni występuje na północnym zachodzie kraju (nawet kilka dni rocznie) i ich liczba stopniowo wzrasta w kierunku południowo-wschodnim. Największe roczne wartości tego wskaźnika notuje się na górskich stacjach w Karpatach i na Kasprowym Wierchu, gdzie osiągnęły one 54 dni w 1963 roku.
- Pomimo dużej liczby dni burzowych występujących w południowej Polsce ich zmiany z roku na rok są dużo mniejsze niż w regionach leżących na północy.
- W krótszych okresach obserwacyjnych oraz w poszczególnych latach przestrzenny rozkład liczby dni z burzą może znacznie odbiegać od średniego rozkładu z wielolecia, co wskazuje na silną zależność występowania burz od warunków meteorologicznych panujących w danym okresie w regionie. Stwierdzono też, że tylko w obszarach położonych na wybrzeżu oraz w górach, gdzie wpływ warunków lokalnych jest bardzo silny, wartości badanego

wskaźnika zawsze są zaliczane do odpowiednio najniższych lub najwyższych w kraju.

- Przestrzenny rozkład liczby dni burzowych w sezonach i miesiącach jest związany z rocznym cyklem występowania burz. W zimie, na wszystkich stacjach, dni burzowe występują sporadycznie, latem natomiast ich rozkład jest zbliżony do rozkładu rocznego. Przejściowe okresy wiosny i jesieni różnią się przede wszystkim większą liczbą dni z burzą występujących wiosną, ale także charakterystycznym przestrzennym rozkładem badanego wskaźnika w miesiącach jesiennych. W tym sezonie największą liczbę dni burzowych notuje się na wybrzeżu, a nie na południu Polski.

Badając występowanie dni burzowych, szczególną uwagę zwrócono na ich zmienność wieloletnią. Zaznaczyła się ona nie tylko w rocznych czy sezonowych zmianach wartości badanego wskaźnika w Polsce i na poszczególnych stacjach, lecz także w występowaniu różnych typów przebiegu rocznego i wymienionych wcześniej przestrzennych rozkładach liczby dni burzowych.

- W wieloletnim przebiegu średniej rocznej liczby dni z burzą w Polsce nie stwierdzono żadnej tendencji, a wartości badanego wskaźnika zwykle nie odbiegają od wartości typowych dla regionu klimatyczno-geograficznego, w którym znajduje się Polska. Trudno też wskazać okresy wyraźnie większej liczby dni burzowych. Można jedynie stwierdzić, że na początku badanego pięćdziesięciolecia notowana liczba dni z burzą była najmniejsza, a średnia z wielolecia najczęściej była przekraczana w latach 60. i 70. Najmniejsza średnia roczna liczba dni burzowych wystąpiła w 1976 roku – 17,5 dnia, największa natomiast w 1963 roku – 31,3 dnia z burzą. Najczęściej roczne wartości badanego wskaźnika mieściły się w przedziale od 21 dni do 25 dni z burzą, a najrzadziej można było się spodziewać lat, w których liczba ta nie przekroczy 20 dni burzowych lub będzie większa od 27 dni burzowych (prawdopodobieństwo <10%).
- Z wyjątkiem okresu zimowego wieloletnia zmienność liczby dni z burzą w poszczególnych porach roku nie wykazywała żadnej określonej tendencji w badanym okresie. Nie stwierdzono też, aby występowanie kilkuletnich okresów zwiększonej liczby dni burzowych w jednej porze roku powodowało podobne następstwa w pozostałych.
- Jedynie w okresie zimowym stwierdzono wyraźną zmianę liczby badanych dni. Wskazuje ona na stopniowy wzrost wartości analizowanego wskaźnika od początku badanego okresu i potwierdza, obserwowane w Europie, tendencje wzrostu liczby zimowych dni z burzą. Prawdopodobnie przyczyną tego zjawiska jest wzrost częstości cyrkulacji zachodniej w sezonie zimowym.
- W poszczególnych miesiącach, podobnie jak w porach roku, największe zmiany liczby dni z burzą były widoczne w miesiącach zimowych (XII, I, II) oraz w marcu i we wrześniu. Z kolei najbardziej wyrównanym przebiegiem odznaczały się miesiące letnie, a szczególnie sierpień.

- Wieloletnia zmienność liczby dni z burzą na poszczególnych stacjach różniła się znacznie od uśrednionego przebiegu dla Polski. Największym podobieństwem do przebiegu średniego odznaczały się stacje leżące na północy kraju i na Nizinie Wielkopolskiej (współczynnik korelacji $>0,70$), najmniejszym zaś stacje południowej Polski (współczynnik korelacji $<0,20$).
- Badając przebieg liczby dni z burzą na poszczególnych stacjach, stwierdzono duże różnice nawet pomiędzy blisko siebie położonymi stacjami. Trudno też wydzielić okresy, w których na poszczególnych stacjach lub w regionach liczba dni burzowych zdecydowanie różniła się od średniej z pięćdziesięciolecia. Ponadto poza stacjami w Kielcach i we Włodawie nie stwierdzono wyraźnych tendencji wzrostu lub spadku liczby dni burzowych w wieloleciu. Nie znajduje zatem potwierdzenia powszechna opinia o wyjątkowym wzroście liczby dni z burzą w ostatnich latach XX wieku.
- Dopiero analiza wartości uśrednionych wykazała, że w niektórych okresach na stacjach sąsiadujących były lata o podobnej liczbie dni burzowych. Podobieństwa te nie dotyczą jednak całego wielolecia, a jedynie jego części. W ten sposób na jednej stacji liczba badanych dni w krótszych okresach wykazuje podobieństwo do liczby dni burzowych z różnych stacji, a „sygnały” takie wygasają wraz ze wzrostem odległości od obszaru o najsilniej zaznaczonej zmianie badanego wskaźnika.
- Badając zmienność liczby dni z burzą w ciągu roku, wydzielono okres największej aktywności burzowej (od kwietnia do września), w którym występuje ponad 96% wszystkich przypadków analizowanych dni. Średnio w Polsce w okresie tym liczba dni burzowych wahała się od 1,2 dnia burzowego w kwietniu do 5,6 dnia burzowego w lipcu. Jednak bardziej szczegółowa analiza rocznego przebiegu wartości badanego wskaźnika pozwoliła wydzielić 6 typów jego rocznego rozkładu. Różnice pomiędzy nimi dotyczyły przede wszystkim miesięcznego maksimum występowania dni burzowych, które w poszczególnych latach przypadają na okres od maja do lipca, ale również rozkładu liczby dni z burzą w miesiącach należących do okresu największej aktywności burzowej.
- Analiza częstości liczby dni burzowych w kolejnych dniach roku wykazała duży wpływ położenia stacji w określonym regionie na roczny przebieg występowania burz. Najmniejsze różnice pomiędzy stacjami są widoczne na południu i południowym wschodzie Polski, natomiast największe – w regionach północno-zachodnich. Stwierdzono ponadto, że w północnych regionach kraju okres największej częstości dni burzowych jest o 15 dni do 30 dni dłuższy, a jesienny spadek ich liczby wolniejszy niż na południu Polski.

Ocena wpływu sytuacji synoptycznych na kształtowanie zmienności liczby dni burzowych dotyczyła przestrzennych i czasowych zmian badanego wskaźnika.

ka. W opracowaniu określono typy cyrkulacji sprzyjające występowaniu burz, przedstawiono także zróżnicowanie występowania burz frontowych i wewnątrzmasowych na terenie Polski.

- Przeprowadzona analiza wykazała słabszy niż można było przypuszczać wpływ określonych typów cyrkulacji na występowanie burz. Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić, że poszukiwania synoptycznych uwarunkowań zmienności liczby dni burzowych powinny w większym stopniu dotyczyć mas powietrza oraz wartości elementów meteorologicznych, które je charakteryzują.
- Za najbardziej sprzyjające pojawianiu się burz należy uznać sytuacje, w których nad obszar Polski napływa powietrze z południa (D) lub południowego wschodu (F) i jest ono związane z układem cyklonalnym (prawdopodobieństwo wystąpienia dnia burzowego podczas tych typów cyrkulacji wynosi odpowiednio 18,0% i 19,5%). Natomiast najmniejsza jest możliwość wystąpienia w danym dniu burzy wówczas, gdy nad Polską zalega obszar podwyższonego ciśnienia (G) (6,0%).
- Porównanie wieloletnich zmian liczby dni burzowych ze zmianami częstości poszczególnych typów cyrkulacji wskazało na słabe zależności pomiędzy nimi. Jedynie w przypadku regionów najbardziej wyróżniających się pod względem liczby dni z burzą (Wybrzeża, a także południowych obszarów Polski) stwierdzono wpływ adwekcji powietrza ze wschodu na zmiany liczby dni burzowych. Wpływ zachodniej cyrkulacji cyklonalnej, dominującej w umiarkowanych szerokościach geograficznych, zaznaczył się tylko w regionach południowo-wschodnich.
- Analiza związków pomiędzy zmiennością liczby dni z burzą a zmianami wartości kilku wskaźników cyrkulacji potwierdziła zauważone wcześniej prawidłowości. Największy wpływ na występowanie dni burzowych ma wschodni spływ powietrza i dotyczy to w szczególności południowych regionów kraju. W Regionie Sudeckim obserwuje się sprzyjający powstawaniu burz napływ powietrza z sektora południowego, natomiast wzrost częstości sytuacji cyklonalnych zwiększa liczbę dni burzowych jedynie w północno-wschodniej Polsce.
- Większość dni burzowych w Polsce stanowią dni, w których nad badanym obszarem przechodził front atmosferyczny (82,2%). Jednak zróżnicowanie regionalne tego wskaźnika jest dość duże i najprawdopodobniej może być wytłumaczone różną częstością przechodzenia frontów atmosferycznych nad poszczególnymi regionami kraju oraz warunkami lokalnymi sprzyjającymi powstawaniu burz wewnątrzmasowych.

Przeprowadzone badania pozwoliły na wydzielenie regionów burzowych. Podziału dokonano, korzystając z analizy skupień opartej na metodzie K-średnich. W zaproponowanej regionalizacji zastosowano trzy kryteria charakteryzujące wy-

stępowanie dni burzowych w Polsce: zmienność wieloletnią, roczny przebieg liczby dni z burzą oraz częstość sytuacji synoptycznych, którym burze towarzyszyły.

- W zależności od wybranego kryterium otrzymano podział na 5 lub 6 regionów burzowych. Niemniej jednak ich granice w dużym stopniu są do siebie zbliżone. Głównymi różnicami pomiędzy otrzymanymi podziałami jest wydzielenie Regionu Karpacko-Zamojskiego oraz podział obszaru Wybrzeża na dwa mniejsze obszary podczas analizy zmienności liczby dni burzowych w wieloleciu.
- Duże podobieństwo obszarowe pomiędzy regionami w poszczególnych podziałach skłoniło autorkę do przeprowadzenia ostatecznej regionalizacji uwzględniającej wszystkie, wymienione wcześniej kryteria. W rezultacie obszar Polski został podzielony na 5 regionów burzowych. Na zaklasyfikowanie stacji do jednego z wydzielonych regionów największy wpływ miał roczny przebieg liczby dni z burzą, a w drugiej kolejności wieloletnia zmienność badanego wskaźnika. Wspomniana zmienność liczby dni burzowych była podstawą do wydzielenia w Regionie Południowo-Wschodnim obszaru Karpackiego, który wyraźnie wyróżniał się liczbą dni burzowych i najmniejszymi jej zmianami w wieloleciu.

Podsumowując należy stwierdzić, że liczba dni z burzą na obszarze Polski wykazuje większe zróżnicowanie przestrzenne niż zmienność wieloletnią. Poza niektórymi regionami nie stwierdza się też znaczącego wpływu typów cyrkulacji atmosfery na kształtowanie zmienności analizowanego wskaźnika. Wydaje się, że tylko znaczne zmiany klimatyczne mogłyby wpłynąć na zauważalne zmiany liczby dni z burzą. Otrzymane wyniki wskazują też na ważną rolę warunków lokalnych w zróżnicowaniu występowania burz na obszarze Polski.

Literatura

- ALEXANDERSSON H., 1986. *A homogeneity test applied to precipitation data*. Journ. of Climatology, **6**, 661–675.
- ARABADAŹI W. I., 1971. *O grozowej dejatelności v priekvatorjalnoj Afrike i Malezji*. Met. Hidrolog., **5**, 46–50.
- Atlas klimatyczny Polski*. 1973. IMGW, PPWK. Warszawa.
- Atlas środowiska geograficznego Polski*. 1994. PAN IGiPZ. Warszawa.
- Atlas klimatyczny elementów i zjawisk szkodliwych dla rolnictwa w Polsce*. 1990. IUNG. Puławy.
- BARAŃSKI P., 1985. *Wpływ opadu na zmiany pola elektrycznego chmur burzowych mierzonego przy powierzchni ziemi*. Przegl. Geofiz., **2**, 17–30.
- BARTOSIK B., 1995. *Ogólna charakterystyka wyładowań atmosferycznych*. Biuletyn Meteorolog., **10**, 52–55.
- BIELEC Z., 1996. *Występowanie burz w Krakowie w latach 1896–1995*. Praca magisterska. Archiwum Zakładu Klimatologii IGiPZ UJ. Kraków.
- BIELEC Z., 1998. *Wieloletnia zmienność występowania burz w Szczecinie, Łodzi, Krakowie i na Kasprowym Wierchu w latach 1954–1993*. W: „Acta Universitatis Lodziensis. Folia Geographica. Series Geographica-Physica”, **3**, 449–453.
- BIELEC Z., 1999. *Wieloletnia zmienność występowania burz w Polsce w latach 1949–1998*. W: *Materiały Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej „Zmiany i zmienność klimatu Polski”, 4–6 IX 1999, Łódź*, 11–15.
- BIELEC Z., 2000. *Przebieg dobowy i charakterystyka synoptyczna burz w Krakowie w latach 1896–1995*. W: „Zeszyty Naukowe UJ. Prace Geogr.”, **105**, 73–83.
- Biuletyn synoptyczny PIHM 1959–1979*. Warszawa.
- BRANCATO G. N., 1942. *The meteorological behaviour and characteristic of thunderstorms*. U.S. Weather Bureau Hydrometeorological Section, Washington D. C.
- BRAZDIL R., 1998. *Časová a prostorová analýza bourek, krupobiti a extrémních srážek v jižní části Moravy v období 1946–1995*. Meteorolog. Zpravy, **51**, 45–52.
- BYERS H. R., BRAHAM R. R., 1948. *Thunderstorm structure and circulation*. J. Meteor., **5**, 3, 71–86.
- CEBULAK E. i in., 1996. *Climate variability in Poland during last 45 years*. W: „Zeszyty Naukowe UJ. Prace Geogr.”, **102**, 395–402.
- CHANGNON S. A., 1985. *Secular variations in thunder-day frequencies in the Twentieth Century*. J. Geophysical Research, **90**, D4, 6181–6194.
- CHANGTON S. A., 1988a. *Climatology of thunder events in the conterminous United States. Part I: Temporal aspects*. J. Climate, **1**, 389–398.
- CHANGTON S. A., 1988b. *Climatology of thunder events in the conterminous United States. Part II: Spatial aspects*. J. Climate, **1**, 399–405.

- CHENG L. i in., 1985. *Hailstone size distributions and their relationship to storm thermodynamics*. J. of Climate and Applied Meteorology, **24**, 1059–1067.
- CHERNA E. i in., 1985. *An objective technique for the delineation and extrapolation of thunderstorms from GOES satellite data*. J. of Geophysical Research, **90**, D4, 6203–6210.
- COBB W., WELLS H. J., 1970. *The electrical conductivity of oceanic air and its concentration to global atmospheric pollution*. J. Atmos. Sci., **27**, 814–819.
- Codzienny biuletyn meteorologiczny*. 1980–1981. Warszawa.
- COURT A., GRIFFITHS J. F., 1981. *Thunderstorm Climatology*. Thunderstorm Morphology and Dynamics, University of Oklahoma Press, 9–39.
- CROWE P. R., 1987. *Problemy klimatologii ogólnej*. PWN. Warszawa.
- VAN DELDEN A. J., 2000. *The synoptic setting of a thundery low and associated prefrontal squall line in Western Europe*. In: *International Conference „European Tornadoes and severe storms”, 1–4 February 2000, Toulouse*.
- DJURIĆ D., 1994. *Weather analysis*. Texas A&M University, 201–223.
- DUDHIA J., 1997. *Back to basics: Thunderstorm*. Weather, **52**, 1, 2–17.
- 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., ROBINSON P. J., 1985. *The diurnal variation of thunderstorm activity in the United States*. J. of Climate and Applied Meteorology, **24**, 1048–1058.
- GRAVIER J., ROUSSEL I., 1995. *Les orages hivernaux a Nancy et a Tours 1964–1993*. Cahiers de Géographie Physique, **10**, Université des Sciences et Technologies de Lille, 5–16.
- Guidelines on the Quality Control of surface Climatological Data*. 1986. WMO Technical Documentation, no. **111**, Geneva.
- HANSEN-BAUER I, FORLAND E. J., 1993. *Homogenizing Long Norwegian Precipitation Series*. Journal of Climate, **6**, 1001–1013.
- HUFF F. A., CHANGNON S. A., 1973. *Urban influences on precipitation and storms*. J. Appl. Meteorol., **12**, 698–708.
- HUNTRIESER H. i in., 1997. *Comparison of traditional and newly developed thunderstorm indices for Switzerland*. Weather and Forecasting, **12**, 108–123.
- Instrukcja dla stacji meteorologicznych sieci polskiej*. 1920. PIM. Wydawnictwa Ministerstwa Rolnictwa i Dóbr Państwowych, nr 10, Warszawa.
- Instrukcja dla stacji opadowych sieci polskiej*. 1949. Seria A: *Instrukcje i podręczniki*, nr 17. PIHM. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- Instrukcja dla stacji meteorologicznych wyższych rzędów sieci polskiej*. 1953. PIHM. Wydawnictwa Komunikacyjne. Warszawa.
- Instrukcja dla stacji meteorologicznych*. 1962. Seria A: *Instrukcje i podręczniki*, nr 65. PIHM. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności. Warszawa.
- JURCZYK A. i in., 1999. *Rozpoznanie burz radarem meteorologicznym*. Wiadomości IMGW, **22**, 1, 29–41.
- KACZANOWSKI L., 1987. *Analiza i prognoza pogody dla lotnictwa*. Dowództwo Wojsk Obrony Powietrznej Kraju. Warszawa, 152–163.
- KACZOROWSKA Z., 1986. *Pogoda i klimat*. Wyd. Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa.
- 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.
- KNUDSEN J., 1974. *Winter thunderstorm in southern Norway*. Meteorologiske Annaler, **6**, 9, 170–271.
- KOLENDOWICZ L., 1994. *Typy cyrkulacji atmosfery a występowanie dni z burzą w Gorzowie Wielkopolskim i Kotobrzegu w latach 1951–1990*. Bad. Fizjogr. nad Polską Zachodnią, **45**. Seria A: *Geografia fizyczna*, 147–164.

- 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., 1997a. *Dni z burzą na obszarze Polski Północno-Zachodniej w latach 1951–1990*. Bad. Fizjogr. nad Polską Zachodnią, **48**. Seria A: *Geografia fizyczna*, 57–82.
- KOLENDOWICZ L., 1997b. *Prawdopodobieństwo wystąpienia dni z burzą a napływ powietrza z określonych kierunków nad Polskę Północno-Zachodnią w latach 1951–1990*. Przegl. Geogr., **69**, 1–2, 107–120.
- KOLENDOWICZ L., 1998. *Zjawiska burzowe w Polsce a warunki synoptyczne*. Bogucki Wydawnictwo Naukowe. Poznań.
- KOLENDOWICZ L., 1999a. *Zmniejszenie częstości dni z burzą na przełomie czerwca i lipca w Poznaniu w latach 1961–1990*. Przegl. Geofiz., **1–2**, 73–78.
- KOLENDOWICZ L., 1999b. *Ciśnienie pary wodnej w dniach z burzą w Poznaniu w wieloletniu 1961–1990*. *Materiały ogólnopolskiej konferencji naukowej „Zmiany i zmienność klimatu Polski”*, Łódź 4–6 XI 1999, 103–106.
- KOZŁOWSKA L., 1985. *Metoda prognozowania burz i gradów na obszarze Polski*. Wiad. IMGW, **8**, 3–4.
- KOZMIŃSKI Cz., 1963a. *Częstość opadów gradowych i wyrządzonych przez nie szkód w rolnictwie na terenie województwa olsztyńskiego*. W: „Zeszyty Naukowe WSR”, **10**.
- KOZMIŃSKI Cz., RYTEL M., 1963b. *Próba wykreślenia izarytm prawdopodobieństwa wystąpienia burz gradowych w Polsce na podstawie lat 1947–1960*. Czas. Geogr., **34**, 1, 51–60.
- KOZMIŃSKI Cz., 1965. *Próba wydzielenia obszarów źródłowych tworzenia się termicznych burz gradowych na terenie województwa kieleckiego*. Przegl. Geogr., **37**, 3, 521–532.
- KOZMIŃSKI Cz., 1968. *Studia nad opadami gradu i wyrządzonymi przez nie szkodami w zbożach na terenie Wyżyny Małopolskiej*. W: „Rozprawy WSR w Szczecinie”, **8**, Szczecin.
- LEWIŃSKA J., 1964. *Wyjątkowy przypadek opadu burzowego na obszarze Krakowa*. Gazeta Obserwatora PIHM, **3**, Warszawa, 10–12.
- LITYŃSKA Z., PIWKOWSKI H., 1970. *Statystyczna prognoza burz wewnątrz mas powietrza dla Polski*. Prace PIHM, **100**, 207–212.
- LITYŃSKA Z., MOROZOWSKA I., 1971. *Statystyczna prognoza burz związanych z frontami przechodzącymi nad Polską*. Wiad. Służby Hydrologicznej i Meteorologicznej, **3**, 19–24.
- MAGON C., 1980. *Thunderstorms*. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam–Oxford–New York.
- Mapy synoptyczne. 1952–1981*. Warszawa.
- MARTYN D., 1987. *Klimaty kuli ziemskiej*. PWN. Warszawa, 69–70.
- MATUSZKO D., 1999. *Wieloletnia zmienność rodzajów chmur w Krakowie (1906–1995)*. Praca doktorska. Archiwum Zakładu Klimatologii IGiP UJ. Kraków.
- METCLAF J. I., 1997. *Temporal and spatial variations of hydrometeor orientations in thunderstorms*. J. Appl. Meteorol., **36**, 315–321.
- MICHAŁOWSKI M., 1962. *Burze atmosferyczne w Lublinie*. W: Annales UMCS. Sectio B, **17**, 13, 307–324.
- MOLINIE J., PONTIKIS C. A., 1995. *A climatological study of tropical thunderstorm clouds and lightning frequencies on the French Gujana coast*. Geophys. Research Letters, **22**, 9, 1085–1088.
- MURRAY R., LEWIS R. P., 1966. *Some aspects of the synoptic climatology of the British Isles as measured by simple indices*. Meteorological Magazine, **101**, 193–203.
- Narodowy atlas Polski. 1973–1978*. IGiPZ PAN. Ossolineum. Wrocław–Warszawa.
- North Atlantic Oscillation. 1998*. Internetowa baza danych Climatic Research Unit. University of East England, www.cru.uea.ac.uk.
- NIEDŹWIEDZ T., 1996. *Long-term variability of the zonal circulation index above the Central Europe*. W: „Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geogr.”, **102**, 213–219.
- NIEDŹWIEDZ T., 1999. *Kalendarz sytuacji synoptycznych dla dorzecza górnej Wisły (1896–1998)*. Materiały autora.

- NOSOVA A. M., 1989. *Mnogoletnije izmenenija intensivnosti grozovoj dejatelnosti*. Met. Hidrolog., 3, 106–109.
- NOVAK P., KRACMAR J., 2000. *Using data from Czech weather radar network for detection of convective*. In: *International Conference „European Tornadoes and severe storms”. 1–4 February 2000. Toulouse*.
- OSUCHOWSKA-KLEIN B., 1978. *Katalog typów cyrkulacji atmosferycznej (1901–1975)*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności. Warszawa.
- OSUCHOWSKA-KLEIN B., 1991. *Katalog typów cyrkulacji atmosferycznej (1976–1990)*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności. Warszawa.
- OSUCHOWSKA-KLEIN B., 1998. *Katalog typów cyrkulacji atmosferycznej*. Materiały IMGW.
- PARCZEWSKI W., 1965. *Fronty atmosferyczne nad Polską*. Wiad. Służby Hydrologicznej i Meteorologicznej, 59. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności. Warszawa, 20–36.
- PARCZEWSKI W., 1971. *Termiczno-dynamiczna równowaga pionowa powietrza w Polsce*. Prace PIHM, 102, 19–25.
- PELZ J., 1977. *Die Gewitter im Berliner Raum*. Met. Abh., Neue Folge. Serie A: Monographien, 1, 3, Berlin.
- PRICHARD B., 1985. *The spatial and temporal distribution of British thunderstorms*. The Journ. of Meteorology, 10, 100, 227–230.
- PRUCHNICKI J., 1999. *W sprawie pojęć dotyczących globalnych zmian klimatu*. Wiadomości IMGW, 22, 4, 35–42.
- Rocznik meteorologiczny, 1954–1965*. IMGW. Warszawa.
- SAUNDERS C., 2000. *A laboratory study of charging processes in electrified clouds*. In: *International Conference „European Tornadoes and severe storms”. 1–4 February 2000, Toulouse*.
- SCHUEPP M., 1980. *Gewitter und Hagel*. Klimatologie der Schweiz, 25/K.
- SCHMUCK A., 1949. *Burze gradowe*. Czas. Geogr., 1–4, 206–267.
- SÉNÉSI S., THEPENIER, 1997. *An assessment of instability indices usefulness for thunderstorm nowcasting*. In: *3th Conference European Climate Applications of Meteorology, Berlin*.
- SÉNÉSI S. i in., 2000. *Monitoring rapidly developing thunderstorms using Meteosat second generation*. In: *International Conference „European Tornadoes and severe storms”, 1–4 February 2000, Toulouse*.
- SMOSARSKI W., 1915. *Burze w Królestwie Polskim w roku 1912*. Warszawa.
- SMOSARSKI W., 1952. *Bieg dobowy opadów i burz w Poznaniu*. Pozn. Tow. Nauk., Prace Komitetu Mat.-Przyrod., T. 6, z. 14., Poznań.
- STASZIC S., 1815. *O ziemiorództwie Karpatów, innych gór i równin Polski*. Druk. Rząd., Warszawa.
- STENHOFF M., 1985. *Ball lightning*. The Journ. of Meteorology, 10, 100, 231–236.
- STOPA M., 1962. *Burze w Polsce*. Prace Instytutu Geografii PAN, 34, 109–179.
- STOPA M., 1964a. *Warunki meteorologiczne sprzyjające powstawaniu burz w różnych masach powietrza*. Przegl. Geofiz., 9, 1, 67–75.
- STOPA M., 1964b. *Przebieg dobowy występowania burz w Polsce*. Przegl. Geogr., 36, 1, 103–118.
- STOPA M., 1965. *Podział Polski na regiony burzowe*. Przegl. Geogr., 37, 4, 659–665.
- STOPA M., 1966. *Prawdopodobieństwo występowania burz w niektórych regionach geograficznych Polski*. Przegl. Geofiz., 1, 45–55.
- SZULC K., 1901. *Grady w Galicji*. Kraków.
- ŠÁLEK M., 1994. *Silné bouřky na Moravě spojené s výskytem tromby v obci lanžhot dne 26 5 1994*. Meteorologické Zpravy, 47,*6, 172–177.
- Thunderstorm Climatology and Thunderstorm Rainfall*. 1947. U.S. Weather Bureau. Hydrometeorological Rep., 5, Vicksburg, MS: 147.
- USTRNUL Z., 1997. *Zmienność cyrkulacji atmosfery na półkuli północnej w XX wieku*. Materiały badawcze, 27. Seria: *Meteorologia*. IMGW, Warszawa.
- USTRNUL Z., 1999. *Wskaźniki cyrkulacji atmosfery dla półkuli północnej*. Materiały autora.

- VIENET F., 2000: *Climatology of hail in France*. In: *International Conference „European Tornadoes and severe storms”, 1–4 February 2000, Toulouse.*
- WALKNER A., 1992. *Grossräumige Austauschprozesse der Atmosphäre als Ursache von Starkgewittern*. Phys. Geogr., **35**.
- WARAKOMSKI W., 1969. *Zachmurzenie i rodzaj chmur w zależności od mas powietrznych w Polsce*. Wydział BNoZ UMCS. Rozprawy habilitacyjne, s. 247.
- WESOŁOWSKA K., 1997. *Warunki synoptyczne sprzyjające powstawaniu burz w Warszawie*. Praca magisterska. Archiwum Zakładu Klimatologii Instytutu Nauk Fizyczno-Geograficznych UW. Warszawa.
- WILCZEK Z., 1991. *Występowanie chmur Cumulonimbus w strefach zachmurzenia frontowego nad Polską w aspekcie wykonywania lotów*. Przegl. Wojsk Lotniczych i Obrony Powietrznej, **7–8**, 65–69.
- WISZNIEWSKI W., 1949. *O burzach w Polsce*. Gazeta Obserwatora PIHM, **6**, 9–12.
- WOŚ A., 1997. *Meteorologia dla geografów*. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa.
- WRÓBEL J., 1985. *Próba określenia związku pomiędzy występowaniem burz a wybranymi warunkami meteorologicznymi*. Przegl. Geofiz., **30**, **2**, 187–195.
- ZINKIEWICZ W., MICHNA E., 1955. *Częstość występowania gradów w województwie lubelskim w zależności od warunków fizjograficznych*. Annales UMCS. Sectio B, **10**, **5**, 224–267.

Wykaz załączników

Załącznik 1. Dolne mapy synoptyczne z dni 9–11 czerwca 1961 roku (*Mapy...*, 1952–1981)

Annex 1. Synoptic maps from 9 to 11 June 1961 (*Mapy...*, 1952–1981)

Załącznik 2. Dolne mapy synoptyczne z dni 6–7 czerwca 1982 roku (*Codzienny biuletyn...*, 1980–1981)

Annex 2. Synoptic maps from 6 to 7 June 1982 (*Codzienny biuletyn...*, 1980–1981)

Załącznik 3. Dolne mapy synoptyczne z wybranych dni z okresu od 15 do 27 lipca 1959 roku (*Mapy...*, 1952–1981)

Annex 3. Synoptic maps from selected days from 15 to 27 July 1959 (*Mapy...*, 1952–1981)

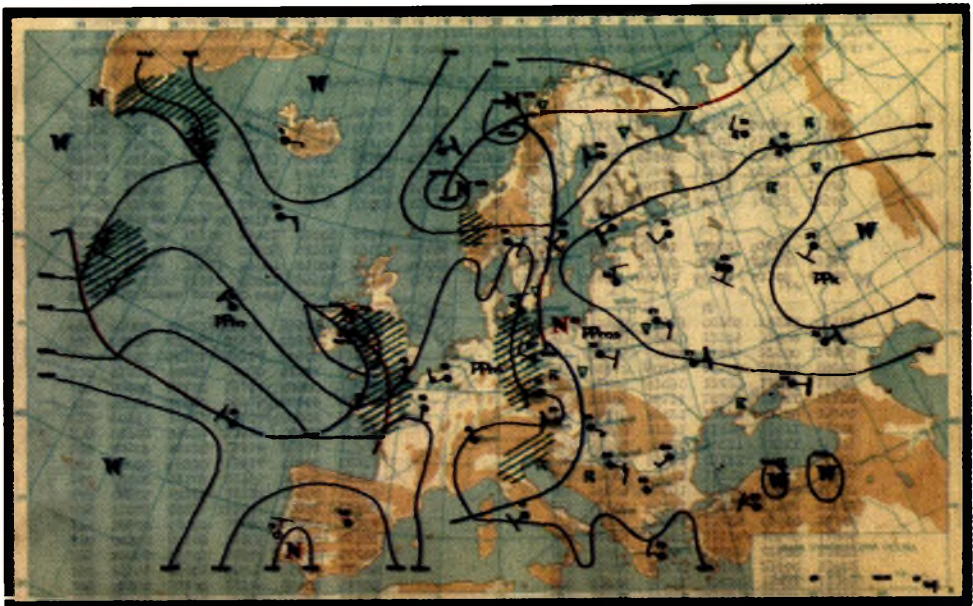
Załącznik 4. Dolne mapy synoptyczne z wybranych dni z okresu od 31 lipca do 7 sierpnia 1970 roku (*Mapy...*, 1952–1981)

Annex 4. Synoptic maps from selected days from 31 July to 7 August 1970 (*Mapy...*, 1952–1981)

09.06.1961 godz. 12:00 UTC

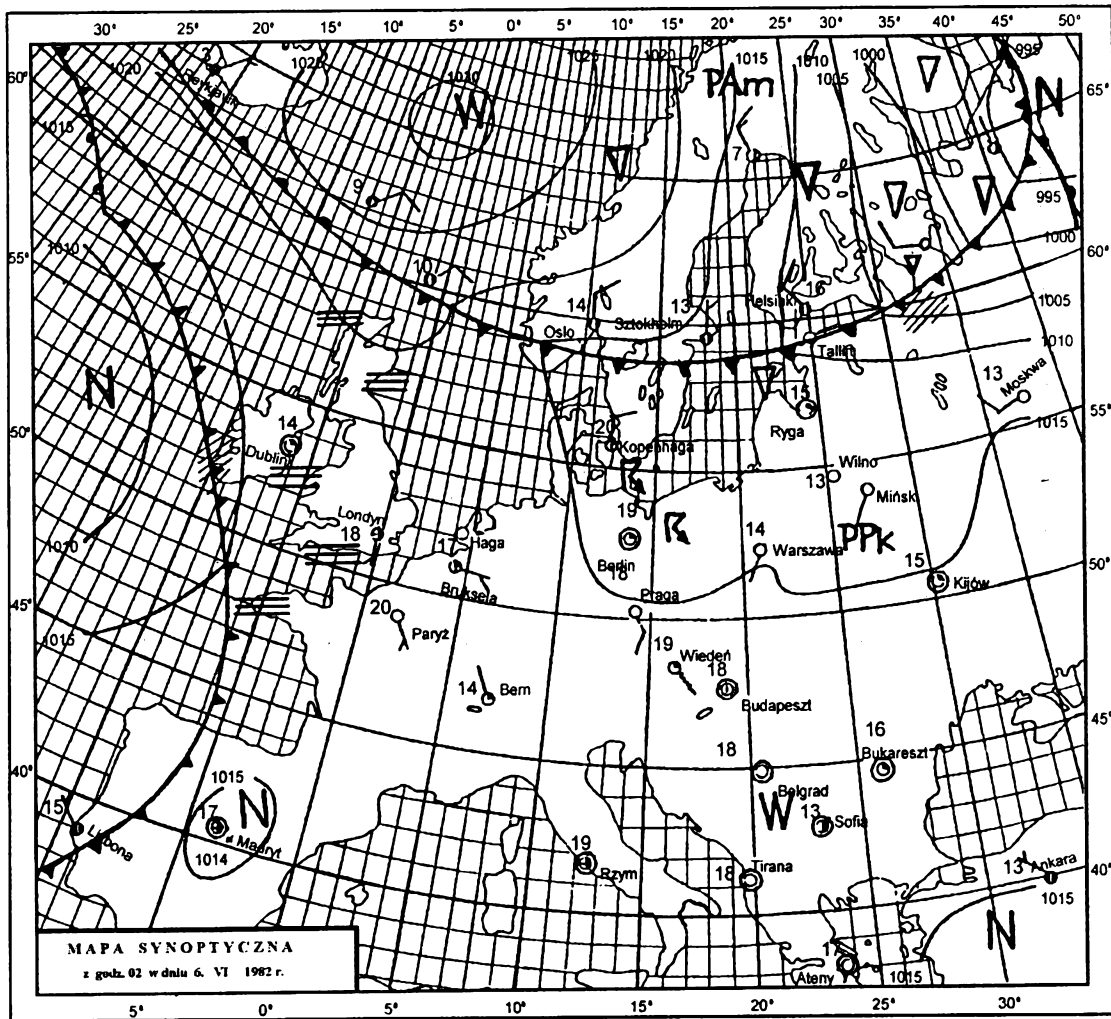


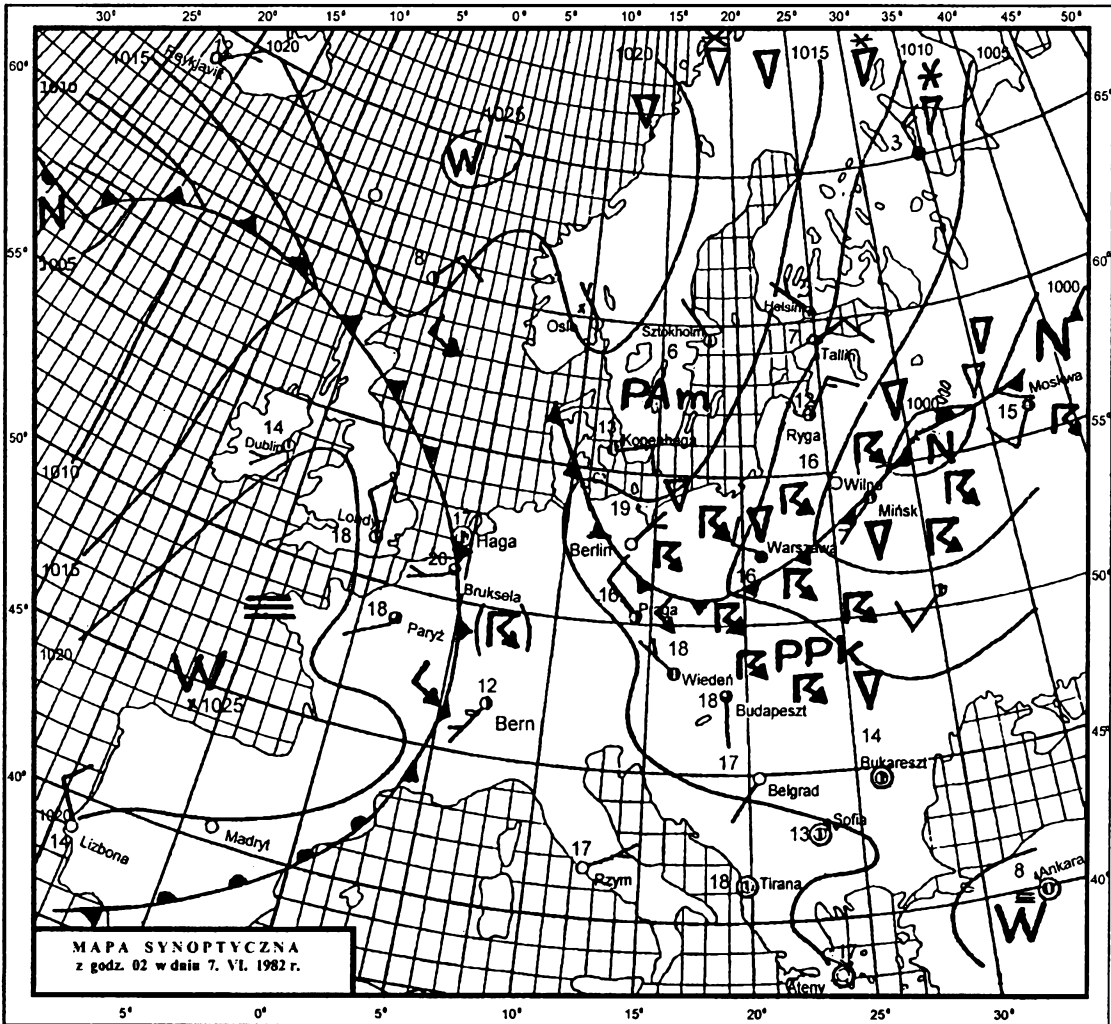
10.06.1961 godz. 12:00 UTC



11.06.1961 godz. 12:00 UTC







15.07.1959 godz. 12:00 UTC



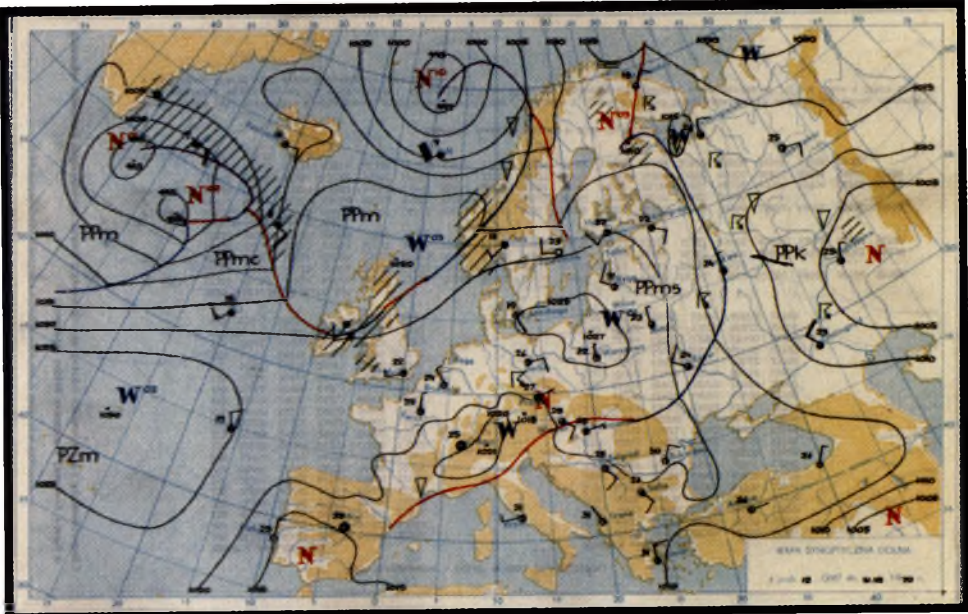
21.07.1959 godz. 12:00 UTC



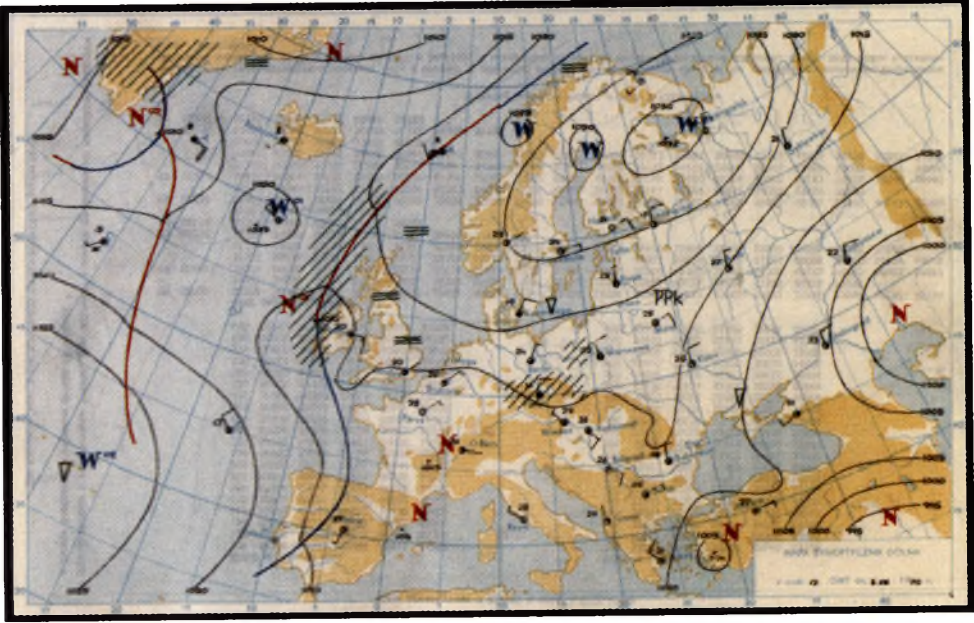
27.07.1959 godz. 12:00 UTC



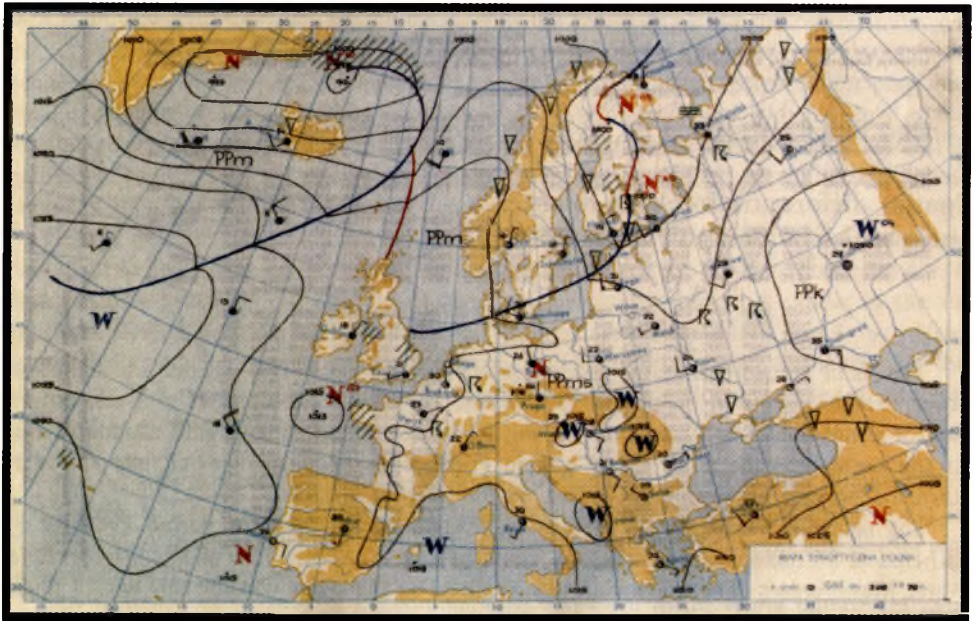
31.07.1970 godz. 12:00 UTC



03.08.1970 godz. 12:00 UTC



07.08.1970 godz. 12:00 UTC



Zuzanna Bielec-Bąkowska

Spatial differentiation and long-term variability of thunderstorms occurrence in Poland (1949–1998)

S u m m a r y

The main aim of this study was to present the thunderstorms' spatial and temporal occurrence in Poland in the period 1949–1998. The paper also attempts to assess an impact of atmospheric circulation on the variability of number of days with thunderstorm. At the same time the study fills a gap in Polish climatological research into thunderstorm occurrence and variability based on the long-term series.

The research was based on records on thunderstorms from the period 1949–1998, gathered at 56 meteorological stations which belong to the Institute of Meteorology and Water Management. The main indicator analysed in the study was the day with a thunderstorm.

In the second part of the study, devoted to the influence of synoptic situations during which the thunderstorms occurred, the types of synoptic situations elaborated by B. OSUCHOWSKA-KLEIN (1978, 1991, and 1998) for the period 1949–1998 were used. Other sources used in the project were the types of synoptic situations by T. NIEDŹWIEDŹ (1999) for the period 1949–1998, indices of atmospheric circulation by Z. USTRNUL (1999) for the period 1949–1995, index of North-Atlantic Oscillation (NAO) from the period 1949–1997 (*North Atlantic Oscillation*, 1998) and synoptic maps from the Institute of Meteorology and Water Management published as *Biuletyn synoptyczny PIHM* (then IMGW) (*Biuletyn...*, 1959–1979), *Mapy synoptyczne (Mapy...*, 1952–1981) and *Codzienny biuletyn meteorologiczny (Codzienny biuletyn...*, 1980–1981) from the years 1952–1981.

The analysis of 50-year series of number of days with thunderstorm, carried for stations from all over Poland, revealed some aspects of spatial variability of that element. It also allowed to find areas with different probability of the thunderstorm occurrence and to define the differentiation of noted numbers of days with thunderstorm in shorter observation periods.

Spatial analysis of the occurrence of number of days with thunderstorm in Poland showed that even though in Poland there are 24 such days on average, the number varies from 15 in North-West to 33 in South-East of the country. The largest values of the index are noted at the stations in the Carpathian Mts., e.g. 54 days in 1963 at Kasprowy Wierch Mt., while the smallest – at the Baltic Sea seaside, e.g. 4 days in 1976 in Ustka and 5 days in Kołobrzeg and Gdańsk (in 1976 and 1977, respectively).

It turned out, however, that in spite of high number of days with thunderstorm in southern Poland, its inter-annual variability is much smaller than for northern areas. In shorter observation series and in particular years, the spatial pattern of number of days with thunderstorm may vary significantly from the mean one from the multi-annual period. Therefore the impression of increase or decrease of the frequency of thunderstorm occurrence at a certain station depends to a large extent on its geographical location and on the weather type prevailing in a certain year. It was also found out that only at the seaside and in the mountains, where the local conditions determine significantly the number of the days with thunderstorm, their values are always the lowest and the highest in the country, respectively.

Spatial distribution of number of days with thunderstorm in seasons and months is related to annual cycle of thunderstorm occurrence. In winter, at all stations, days with thunderstorm occur sporadically, while in summer their distribution is similar to the annual one. Transitional periods of spring and autumn are characterised mainly by higher number of days with thunderstorms in spring, but also typical spatial distribution of the element in autumn: the highest number of days with thunderstorm is noted at the seaside, not in southern Poland.

Special attention was paid to the multi-annual variability of days with thunderstorm occurrence. It was marked not only in annual and seasonal changes of the element in Poland and at the particular stations; also different types of its temporal and spatial patterns were found.

No tendency was found in the multi-annual course of mean yearly number of days with thunderstorm in Poland, and the values usually do not differ much from the value typical for the climatic-geographical region in which Poland is situated. Periods with significantly higher number of days with thunderstorm are also difficult to find. It can only be stated that at the beginning of the analysed 50-year period the yearly numbers of days with thunderstorm were the smallest and the mean 50-year value was exceeded most often in 1960's and 1970's. The minimum value occurred in 1976 (17.5 days), and the maximum one in 1963 (31.3 days).

The only season in which the number of days with thunderstorm increased was winter. This is in accordance with the tendencies observed in the whole Europe and most probably is due to the increase of the western circulation in winter.

Multi-annual variability of the number of days with thunderstorm at particular stations differed significantly from the mean one for Poland, especially in southern part of the country (correlation coefficient < 0.20), while it was similar to it in northern Poland and in Wielkopolska Lowland (correlation coefficient > 0.70).

Large differences in the number of days with thunderstorm at particular stations were found, even if the stations were located quite close to each other. Again, it is difficult to find periods when number of days with thunderstorm would be significantly larger than the 50-year value in the regions or at certain stations. Apart from the stations in Kielce and Włodawa no increasing or decreasing tendencies were found. Therefore the hypothesis that the last years of the 20th century were marked with exceptional increase of the number of days with thunderstorm cannot be confirmed.

The annual variability of number of days with thunderstorm was used to distinguish the period of the highest thunderstorm activity (April–September), when 96% of all ca-

ses are noted. In Poland, on average, the number of days with thunderstorm reaches from 1.2 day in April to 5.6 days in July. However, more detailed analysis allowed to find out six types of its annual pattern. The types differ mainly in the occurrence of the monthly maximum in number of days with thunderstorm, which was noted from May to July in particular years, but also the element's pattern in the months of the period of maximum thunderstorm activity was different.

The analysis of the frequency of number of days with thunderstorm in particular days of the year proved large influence of the station's location on the annual course of the thunderstorms occurrence. The smallest differences among stations are found in southern and south-eastern Poland, while the largest ones in north-western areas. In the North the period of the highest frequency of days with thunderstorm is by 15–30 days longer, and the decrease in autumn slower than in the South.

The assessment of impact of atmospheric circulation on the occurrence of days with thunderstorm concerned variability of this index, both in space and time. In the study the types of atmospheric circulation conducive to the formation of thunderstorms were estimated. The differentiation of inter-air mass thunderstorm and thunderstorm connected with atmospheric front occurrence was also presented.

Synoptic situations have less influence on the thunderstorm occurrence than it is usually suspected. The obtained results suggest that future research into the synoptic conditions of days with thunderstorm should be more concerned with air masses and values of other meteorological indicators.

The most favourable are cyclonic situations with the advection of air masses from the South (D) or South-East (F) (probability of the thunderstorm occurrence is then 18% and 19.5%, respectively). The most unfavourable are situations with the high pressure center (G) over Poland (6%).

There is little correlation between number of days with thunderstorm and the frequency of particular circulation types. Only for the seaside and southern regions there was an influence of eastern advection on the number of days with thunderstorm, while the influence of the western advection (dominating in mid-latitudes) was marked only in south-eastern regions.

The analysis of relations between the variability of number of days with thunderstorm and the changes of the circulation indices proved the regularities already presented. The eastern advection has the largest influence on the occurrence of the days with thunderstorm, especially in southern Poland. In the Sudety Mts. southern advection is also favourable, while the increase of cyclonic situations causes larger number of days with thunderstorm only in north-eastern Poland.

The results of the study let us divide Poland into 5 thunderstorm regions, which are characterised by similar variability of number of days with thunderstorm. The division was made using K-means method. The thunderstorm regions were distinguished with three criteria characterizing the occurrence of days with thunderstorm in Poland: multi-annual variability, yearly course of the days with thunderstorm and the frequency of synoptic situations accompanied by thunderstorms. Depending on the criterion, 5 or 6 regions were obtained. However, their limits are very similar to each other. The most significant differences among the divisions are the delimitation of Carpathian–Zamość Region and the division of the seaside into two smaller regions due to

the analysis of the variability of number of days with thunderstorm in the multi-annual period.

As the regions distinguished according to different criteria were similar, finally the territory of Poland was divided into 5 thunderstorm regions. The most important criterion used to classify a station to a certain region was yearly course of the days with thunderstorms, then the multi-annual variability of the index. The mentioned variability of number of days with thunderstorm was used to distinguish, within the South-Eastern Region, a Carpathian Region, which is characterized with significantly different number of days with thunderstorm and its smallest variability in the multi-annual period.

Summarising, it should be stated that in Poland the number of days with thunderstorm is characterised by higher spatial differentiation than multi-annual variability. Apart from some regions, the types of atmospheric circulation do not control the variability of the examined element to a larger extent. Most probably only significant climatic changes could influence its pattern. The obtained results indicate also a great role of the local environment in the thunderstorm occurrence's variability in Poland.

Räumliche Differenzierung und mehrjährige Veränderlichkeit des Gewitterauftretens in Polen in den Jahren 1949–1998

Z u s a m m e n f a s s u n g

Das Hauptziel des vorliegenden Beitrags war, die Veränderlichkeit des Gewitterauftretens in Polen in Jahren 1949–1998 unter dem räumlichen und zeitlichen Gesichtspunkt zu untersuchen und die Rolle der Atmosphärezirkulation bei der Erscheinung zu bestimmen. Der Beitrag füllt eine Lücke in den polnischen klimatologischen Untersuchungen, die sehr selten lange Gewitterserien berührten und nie die mehrjährige Veränderlichkeit der Erscheinung analysierten.

Die Grundlage der durchgeführten Untersuchungen war, so wie in mehreren klimatologischen Monographien, nicht die Gewitterzahl selbst sondern die Zahl der Tage ohne Gewitter. In der Arbeit benutzte man die, das Gewitterauftreten betreffenden meteorologischen Beobachtungen, die in 56 polnischen Wetterstationen des Instituts für Meteorologie und Wasserhaushalt (IMGW) in den Jahren 1949–1989 festgestellt wurden.

Im zweiten Teil des Beitrags, der den Wettersituationen gewidmet wurde, in denen Gewitter auftraten, benutzte man den *Katalog von Typen der atmosphärischen Zirkulation* von B. OSUCHOWSKA-KLEIN (1978, 1991, 1998) aus den Jahren 1949–1998. Berücksichtigt wurden auch Wettersituationen nach T. NIEDŹWIEDŹ (1999) aus den Jahren 1949–1998, Zirkulationskennzeichen nach Z. USTRNUL (1999) aus den Jahren 1949–1995, die Werte der nordatlantischen Oszillation (NAO) aus den Jahren 1949–1997 (North Atlantic Oscillation, 1998) und meteorologische Karten des IMGW, die veröffentlicht wurden als: *Meteorologisches PIHM* (jetzt IMGW) *Bulletin* (*Bulletin...*, 1959–1979), *Wetterkarten* (*Karten...*, 1952–1981) und *Tägliches meteorologisches Bulletin* (*Tägliches Bulletin...*, 1980–1981) aus den Jahren 1952–1981).

Die durch alle Stationen in Polen durchgeführte Untersuchung von 50-jährigen Serien der Gewittertage hat erwiesen, dass manche Ursachen für die räumliche Differenzierung der Gewittertage verantwortlich sind. All das ermöglichte die Gebiete zu unterscheiden, wo Gewitter auftreten können und die Differenzierung der notierten Gewittertage in kürzeren Beobachtungszeiten zu bestimmen.

Die räumliche Analyse der Gewittertage hat gezeigt, dass die polnischen Stationen zwar 24 Gewittertage jährlich registrieren, aber ihre Anzahl zwischen 15 und 33 je nach geographischer Lage schwankt. Die wenigsten Gewittertage kommen im Nordwesten vor (sogar ein paar Tage jährlich) und es gibt immer mehr solche Tage in südöstlicher Richtung. Die meisten Gewittertage (54 im Jahr 1963) werden in Bergstationen in den Kar-

paten und auf dem Gipfel von Kasprowy Wierch notiert. Die wenigsten Gewittertage werden an der Ostseeküste registriert – 4 Tage in Stolpmünde (im Jahre 1976) und 5 Tage in Kolberg (1979) und Danzig (1977).

Obwohl es in Südpolen viele Gewittertage gibt, verändern sie sich von Jahr zu Jahr viel weniger als die im Norden gelegenen Regionen. In kürzeren Beobachtungszeiten und in einzelnen Jahren kann die äumliche Verteilung von Gewittertagen viel von der durchschnittlichen mehrjährigen Verteilung abweichen. Das zeugt von einer starken Abhängigkeit des Gewitterauftretens von Wetterverhältnissen auf dem bestimmten Gebiet. Man hat auch festgestellt, dass nur an der Küste und im Gebirge, wo die Einwirkung der lokalen Verhältnisse sehr stark ist, erreicht die Anzeige entsprechend niedrigste oder höchste Werte im Land.

Die räumliche Verteilung von Gewittertagen in Saisons und Monaten ist mit dem Jahreszyklus des Gewitterauftretens verbunden. Im Winter treten Gewittertage in allen Stationen vereinzelt auf, während sie im Sommer der jährigen Verteilung nahe sind. Frühlings- und Herbstübergangsperioden dagegen sind hauptsächlich durch mehrere Gewittertage im Frühling und durch charakteristische räumliche Verteilung der geprüften Anzeige in Herbstmonaten gekennzeichnet. In dieser Zeit werden die meisten Gewittertage an der Seeküste und nicht in Südpolen notiert.

Bei der Analyse des Gewitterauftretens hat man die besondere Aufmerksamkeit der mehrjährigen Veränderlichkeit der Gewittertage geschenkt. Von der Veränderlichkeit zeugen nicht nur jährige oder saisonbedingte Veränderungen der geprüften Anzeige in Polen und in den einzelnen Stationen, sondern auch verschiedene Arten des jährigen Verlaufs und die oben genannte räumliche Verteilung von Gewittertagen.

Im mehrjährigen Verlauf der jährlichen Mittelwerte von Gewittertagen in Polen wurden keine Tendenzen festgestellt und die Werte der geprüften Anzeige weichen in der Regel nicht von den, für die bestimmte klimatisch-geographische Region Polens typischen Werten ab. Die Perioden mit deutlich mehreren Gewittertagen sind auch schwer festzustellen. Man kann nur sagen, dass es zu Beginn des untersuchten Zeitraums von 50 Jahren am wenigsten Gewittertage gab und die mehrjährigen Mittelwerte am häufigsten in den 60. und 70. Jahren überschritten wurden. Mit niedrigsten jährigen Mittelwerten von Gewittertagen hatten wir im Jahre 1976 (17,5 Tage) und mit höchsten im Jahre 1963 (31,3 Tage) zu tun.

Die Winterzeit ausgenommen charakterisierte sich die mehrjährige Veränderlichkeit von Gewittertagen in einzelnen Jahreszeiten durch keine bestimmten Tendenzen. Ähnliches Phänomen wurde in Europa beobachtet und die Ursache dafür war wahrscheinlich die häufigere westliche Zirkulation in der Wintersaison.

Mehrjährige, in den einzelnen Stationen registrierte Veränderlichkeit von Gewittertagen unterschied sich wesentlich von den Mittelwerten für Polen. Die meisten Ähnlichkeiten betrafen die im Norden und auf der Großpolnischen Tiefebene gelegenen Stationen (Korrelationskoeffizient $> 0,70$), die wenigsten dagegen die südlichen Stationen (Korrelationskoeffizient $< 0,20$).

Nach der Analyse des Verlaufs von Gewittertagen in den einzelnen Stationen wurden große Unterschiede sogar zwischen den nahe gelegenen Stationen festgestellt. Es ist auch schwer festzustellen, in welchen Zeiten die Anzahl der Gewittertage deutlich von den Mittelwerten aus 50 Jahren abwich. Außer den Stationen in Kielce und Włodawa

wurden keine deutlichen Zunahmen oder Senkungen von der Anzahl der Gewittertage notiert. Demnach hat sich die allgemein gültige Meinung über ungewöhnliche Zunahme der Gewittertage in den letzten Jahren des 20. Jahrhunderts nicht bewahrheitet.

Nachdem man die jährige Veränderlichkeit der Anzahl von Gewittertagen untersucht hatte, schied man den Zeitraum von größter Gewitteraktivität aus (von April bis September), in dem über 96% aller Tage auftraten. Die polnischen Mittelwerte von Gewittertagen schwankten zu dieser Zeit zwischen 1,2 im April und 5,6 im Juli. Die genauere Analyse von jährigen Werten der untersuchte Anzeige ließ 6 Typen ihrer jährigen Verteilung absondern. Die Unterschiede zwischen den Typen betrafen vor allem das monatliche Maximum des Gewitterauftretens, das in den einzelnen Jahren auf den Zeitraum von Mai bis Juli fiel, aber auch die Verteilung von Gewittertagen in den gewitteraktivsten Monaten.

Anhand der Analyse der Häufigkeit von Gewittertagen an den folgenden Tagen eines Jahres stellte man fest, dass die Lage der Wetterstation in einer bestimmten Region den großen Einfluss auf das jährige Gewitterauftreten nimmt. Die kleinsten Unterschiede wurden im Süden und Südosten Polens und die größten in nordwestlichen Regionen beobachtet. Man hat auch nachgewiesen, dass in Nordpolen die Zeit mit häufigsten Gewittertagen um 15–30 Tage länger ist, und die Anzahl von Gewittertagen langsamer als in Südpolen abnimmt.

Die Einwirkung von Wettersituationen auf die Veränderlichkeit der Anzahl von Gewittertagen wurde nach räumlichen und zeitlichen Veränderungen der geprüften Anzeige beurteilt. Im Beitrag sind solche Zirkulationen bestimmt worden, die das Gewitterauftreten begünstigen. Man hat auch die Differenzierung des Auftretens von Front- und Innermassengewittern auf dem polnischen Gebiet dargestellt.

Die durchgeführte Analyse bewies eine schwächere Einwirkung der bestimmten Zirkulationen aufs Gewitterauftreten als man vermutet hat. Ihre Ergebnisse zeugen davon, dass man die synoptischen Voraussetzungen für die Veränderlichkeit der Anzahl von Gewittertagen im großen Maße auf Luftmassen und deren charakteristische meteorologische Werte gründen sollte.

Am günstigsten fürs Gewitterauftreten sind solche Situationen, in denen über das Gebiet Polens die Luftmassen vom Süden (D) oder Südosten (F) einfließen, welche mit dem Zyklonsystem verbunden sind (Wahrscheinlichkeit des Auftretens von einem Gewittertag beträgt bei solchen Zirkulationen entsprechend 18,0% und 19,5%). Die kleinste Möglichkeit des Gewitterauftretens an dem bestimmten Tag kommt dann vor, wenn sich über Polen das Gebiet des erhöhten Luftdrucks (G) (6,0%) findet.

Die Vergleichung der mehrjährigen Veränderung der Anzahl von Gewittertagen mit der Häufigkeitsveränderung der einzelnen Zirkulationen hat schwache Wechselbeziehungen aufgezeigt. Lediglich in Regionen mit häufigsten Gewittertagen (Ostseeküste und Südpolen) wurde die Einwirkung der Luftadvektion vom Osten auf die Veränderung der Anzahl von Gewittertagen nachgewiesen. Der Einfluß von westlicher Zyklonzirkulation, die auf gemäßigten geographischen Breiten überwiegt, wurde nur in südöstlichen Regionen registriert.

Die Analyse der Verhältnisse zwischen der Veränderlichkeit der Anzahl von Gewittertagen und verschiedenen Werten der Zirkulationsanzeigen bestätigten die früher beobachteten Regelmäßigkeiten. Den stärksten Einfluß auf das Gewitterauftreten hat

östliche Luftfließung, was vor allem südliche Regionen des Landes betrifft. In den Sude-
ten beobachtet man die, das Gewitterauftreten begünstigende Luftfließung vom Süden.
Häufigere Zyklonsituationen dagegen verursachen mehrere Gewittertagen nur in nord-
östlichen Polen.

Aufgrund der durchgeführten Untersuchungen, mit Hilfe von der, auf K-Mittelwerten
beruhenden, Konzentrationsanalyse wurden Gewitterregionen abgesondert. Dabei hat
man drei Kriterien angewandt: die mehrjährige Veränderlichkeit, den jährigen Verlauf
von Gewittertagen und die Häufigkeit von Wettersituationen, die von Gewittern begleitet
wurden. Je nach des gebrauchten Kriteriums erhielt man die Einteilung in 5 oder 6 Ge-
witterregionen. Die Grenzen der Regionen sind im großen Maße ähnlich. Zu größten
Unterschieden zwischen den Einteilungen gehören: die Absonderung von Karpaten-Za-
mość-Region und die Einteilung des Ostseeküstengebiets in zwei kleinere Gebiete.

Da die Gebiete der Regionen in den einzelnen Einteilungen sehr ähnlich sind, ent-
schied sich die Autorin zur endgültigen Aufteilung, die alle oben genannten Kriterien
berücksichtigen würde. So wurde das ganze Gebiet Polens in 5 Gewitterregionen einge-
teilt. Der jährige Verlauf von Gewittertagen und dann die mehrjährige Veränderlichkeit
der geprüften Anzeige entschied über die Einzählung der bestimmten Wetterstation zu
einer der abgesonderten Regionen. Die Veränderlichkeit der Anzahl von Gewittertagen
wurde Grundlage zur Absonderung in südöstlicher Region des Karpaten-Gebietes, das
sich deutlich durch die Anzahl von Gewittertagen und deren kleinsten mehrjährigen Ver-
änderungen hervortat.

Zusammenfassend soll man feststellen, dass die Anzahl von Gewittertagen in Polen
viel mehr räumliche Differenzierung als zeitliche Veränderlichkeit aufweist. Manche Re-
gionen ausgenommen beobachtet man keine wesentliche Einwirkung von atmospheri-
schen Zirkulationen auf die Veränderlichkeit der analysierten Anzeige. Wahrscheinlich
könnten nur wesentliche klimatische Veränderungen die Anzahl von Gewittertagen be-
einflussen. Die Ergebnisse zeugen auch von großer Bedeutung von lokalen Verhältnissen
für die Differenzierung des Gewitterauftretens in Polen.

BUS

Autor fotografii
GRZEGORZ MIKUTEL

Redaktor
GRAZYNA WOJDAŁA

Redaktor techniczny
BARBARA ARENHÖVEL

Korektor
LIDIA SZUMIGAŁA

Copyright © 2002
by Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego
Wszelkie prawa zastrzeżone

ISSN 0208-6336
ISBN 83-226-1158-7

Wydawca
Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego
ul. Bankowa 12B, 40-007 Katowice
www.wydawnictwo.us.edu.pl
e-mail: wydawus@us.edu.pl

Wydanie I. Nakład 220 + 50 egz.
Ark. wyd. 11,5. Ark. druk. 10,0.
Przekazano do drukarni w kwietniu 2002 r.
Podpisano do druku w październiku 2002 r.
Papier offset kl. III, 70 × 100, 80 g.
Cena 18 zł

Łamanie i druk: Uniwersytet Śląski Filia w Cieszynie,
ul. Bielska 62, 43-400 Cieszyn
Oprawa: Wydawnictwo i poligrafia „Arka”,
ul. Bóżnicza 5, 43-400 Cieszyn

nr inw.: BG - 314332



BG N 286/2059

ISSN 0208-6336

ISBN 83-226-1158-7