

DOI 10.2478/v10116-011-0010-z

## WYSTĘPOWANIE OPADÓW GRADU NA OBSZARZE NIZINY WIELKOPOLSKIEJ

KATARZYNA SUWAŁA

Zakład Klimatologii, Instytut Geografii Fizycznej i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego,  
Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych,  
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, ul. Dziegiełowa 27, 61-680 Poznań

**Abstract:** This study is an attempt to present the geographical distribution of hail occurrence in Great Poland Lowland in the years 1966–1980. The analysis is based on the data published by PIHM/IMGiW (The Institute of Meteorology and Water Management) in its annals from 1966 to 1980. According to this data, the maps of the mean number of hail days, monthly and annually, were constructed in order to determine the places where hail occurs most frequently. Additionally, the months and stations with the highest number of hail days were selected, and the maximum number of hail days in all months and stations was indicated.

The material examined by the author shows that in Great Poland Lowland the mean annual number of hail days varies from one (1) in the eastern and northern part to 5.1 near Leszno. Most of the hail cases occurred in March – when the number of mean monthly hail days amounted to one (1) –, January and February. That is quite contrary to the results of other studies as generally, in most of the cases, hail occurs in the summer (Kozmiński Cz. 1964, 1965, 1968, Tuovinen 2007, 2009). When it comes to a geographical distribution of hail, the area where this precipitation increased in frequency is within Leszno and Kalisz Uplands and near Poznań.

**Key words:** hail, Great Poland Lowland

### WSTĘP

Spośród wszystkich znanych meteorologii form opadów atmosferycznych grad do dnia dzisiejszego jest jednym z najbardziej zagadkowych produktów kondensacji pary wodnej. Jako że stanowi on ogromne zagrożenie dla życia i mienia człowieka, dokładne określenie jego sposobu powstawania wydaje się być kluczowe dla przewidywania czasu i miejsca jego pojawiania się oraz oszacowania szkód, jakie może wyrządzić.

Według jednej z definicji „gradem nazywamy opad bryłek lodu o średnicy ponad 5 mm, częściowo lub całkowicie nieprzezroczystych, mający charakter przelotny i występujący zwykle podczas burzy” (Woś 1999). Za pewną prawidłowość można uznać pojawianie się tego opadu najczęściej przy temperaturze powietrza nad powierzchnią ziemi powyżej 0°C (Schmuck 1949).

Warunkami sprzyjającymi formowaniu się opadu gradu są:

- 1) duży gradient termiczny pomiędzy warstwą powietrza przy powierzchni gruntu a wyższymi piętrami troposfery (równowaga chwiejna);

- 2) niskie zaleganie izotermii o wartości  $0^{\circ}\text{C}$ ;
- 3) duża zawartość pary wodnej w dolnych warstwach troposfery;
- 4) prądy konwekcyjne o dużej prędkości i intensywności, osiągające maksymalnie  $15\text{--}30\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  (Zinkiewicz, Michna 1955).

W teoriach opisujących proces formowania się brył gradowych pojawia się bardzo wiele znaków zapytania i proces ten nie jest jeszcze do końca rozpoznany. Najbardziej spójna koncepcja mówi, że zjawiskiem inicjującym powstanie wymienionego produktu kondensacji pary wodnej jest konwekcja wywołana silnym nagrzewaniem się powietrza od podłoża (Schmuck 1949). Zatem, przed opadem gradu, troposfera musi osiągnąć stan równowagi chwiejnej. Wówczas unoszone cząsteczki powietrza docierają do kolejnych warstw troposfery, cechujących się różną termiką, dochodząc do izotermii  $0^{\circ}\text{C}$  i wyżej, gdzie temperatura jest jeszcze niższa (Woś 1999).

Powietrze nagrzane w ciągu ciepłego dnia unosząc się ku górze ze znaczną prędkością, porywa z sobą duże ilości pary wodnej, która skraplając się, ulega kondensacji, tworząc chmury typu *Cumulus* (*Cu*), a wskutek dalszego rozbudowywania się w pionie – chmury kłębiaste *Cumulonimbus* (*Cb*). W górnej części tej chmury, w związku z ujemną temperaturą, para wodna osiąga stan przesylenia. W skrajnych warunkach termicznych, rzędu  $-20^{\circ}\text{C}$ , para wodna w procesie sublimacji przechodzi od razu w stan stały, a w przypadku przechłodzonych kropeł powstaje śnieg ziarnisty lub krupa śnieżna (Schmuck 1949).

Właściwy proces formowania się gradzin rozpoczyna się w momencie, gdy cząsteczki te osiągną masę, przy której siły grawitacji nie pozwolą im na dalsze unoszenie się. Wówczas opadając do warstwy przechłodzonej wody, krople zamarzają wokół ziaren, tworząc gradziny (Schmuck 1949). Proces opadania i unoszenia gradziny z prądami konwekcyjnymi przyczynia się do przyrostu warstewek lodu na powierzchni bryły gradu. Kiedy siła przyciągania ziemskiego przewyższy siłę prądu wznoszącego, gradzina dociera do powierzchni Ziemi w postaci opadu stałego. Wielkość brył będzie zatem zależała od liczby cykli wznoszenia i opadania lodowych utworów.

Piśmiennictwo dotyczące opadów gradu obejmuje głównie dwa rodzaje opracowań. Pierwsze z nich związane są ze studiami regionalnymi nad występowaniem i częstotliwością opadów gradu, a drugie opisują samo zjawisko burzy gradowej, analizują jej proces powstawania i stawiając nacisk na delimitację obszarów źródłowych. W piśmiennictwie zagranicznym natomiast często poruszana jest problematyka modelowania procesów formowania gradu i sposobów wykrywania tych opadów. Niezwykle ważnym elementem wszystkich opracowań jest próba formułowania pewnych zależności pomiędzy rozkładem przestrzennym tego zjawiska a warunkami pozameteorologicznymi takimi, jak: rzeźba terenu, wysokość nad poziom morza, warunki wodne i glebowe oraz pokrycie terenu. Mimo wszystko badania nad opadami gradu nie są zbyt często podejmowane, szczególnie w literaturze polskiej.

Jednym z najdokładniejszych polskich opracowań o charakterze regionalnym jest obszerna rozprawa Koźmińskiego (1968). Autor analizuje częstotliwości występowania opadów gradu, kierunki przemieszczania się gradobić i cechy pasów gradowych, a co najistotniejsze – uwzględnia badania nad wpływem rzeźby i wysokości względnej terenu na rozkład przestrzenny oraz częstość opadów gradu na obszarze Wyżyny Małopolskiej. Koźmiński przedstawia wiele podziałów gradobić, między innymi ze względu na ich pochodzenie (frontowe, termiczno-dynamiczne i termiczne) oraz zasięg wyrażony w km<sup>2</sup>. Autor podejmuje również próbę określenia zależności pomiędzy występowaniem opadów gradu i przebiegiem sieci rzecznej, rodzajem pokrycia terenu oraz rodzajem gleb. Wiele gradobić przemieszcza się wzdłuż dolin rzecznych, a kompleksy leśne wpływają ujemnie na pojawianie się tych opadów.

Tą samą problematykę podjęli Zinkiewicz i Michna (1995), analizując częstość występowania opadów gradu oraz szkody wywołane gradobiciem na obszarze województwa lubelskiego w latach 1946–1950. Na szczególną uwagę zasługuje zależność częstości tego zjawiska od wysokości względnej terenu, gdzie współczynnik korelacji wynosi 0,9. Maksymalna częstotliwość występowania opadów gradu związana jest również z utworami lessowymi, obszarami bezleśnymi i małą odległością od rzek.

Kontynuując rozważania nad wpływem rzeźby terenu na występowanie opadów gradu, Koźmiński (1966) przedstawił studium regionalne dotyczące powiatu buskiego. Obliczona korelacja pomiędzy częstością występowania opadów gradu a wysokością względną terenu wynosi +0,93, co wskazuje na bardzo dużą współzależność.

Powstawanie burz gradowych analizował między innymi Schmuck (1949), opisując proces ich formowania się, szczególnie tworzenia się gradzin w obrębie chmur *Cb*. Rozważa on współczesne teorie dotyczące powstawania burz gradowych. Koźmiński (1964) analizuje zasięg, prędkość i kierunki przemieszczania się burz gradowych, a także warunki synoptyczne i geograficzne rozmieszczenia tych burz, ograniczając się tylko do burz o powierzchni ponad 100 km<sup>2</sup>. W swym kolejnym opracowaniu Koźmiński (1965) porusza tę samą problematykę dla województwa kieleckiego.

Analizy tego rodzaju pojawiają się również w opracowaniach książkowych i encyklopedycznych, na przykład *Klimat Niziny Wielkopolskiej* (Woś 1994) czy *Klimat Polski* (Woś 1994), gdzie omawiane są wszystkie elementy klimatu, ich przebieg w skali czasowej i przestrzennej na tle ogólnej charakterystyki klimatu badanego obszaru.

Zjawisko opadów gradu jest znacznie częściej opisywane w publikacjach europejskich i amerykańskich. Bardzo wiele opracowań sporządzili Tuovinen i Schultz (2007, 2008, 2009). Traktują one o opadach gradu na obszarze Finlandii, gdzie z analiz wynika, iż opady te pojawiają się najczęściej w południowej i zachodniej części kraju, a okres o największej częstości opadów trwa od

maja/czerwca do początku sierpnia. Średnica największych gradzin dochodzi do 4 cm. Poruszają oni również problematykę tworzenia bazy danych dotyczącej opadów gradu jako punktu wyjścia do tworzenia rzetelnych opracowań monograficznych (Tuovinen, Schultz 2009).

Podobne opracowanie sporządzono dla Grecji (Kotinis-Zambakas 1988). Wydzielono w nim pięć regionów gradowych w obrębie kraju, dla których analizowano średnią miesięczną liczbę dni z gradem. Ze wzrostem kontynentalizmu klimatu z południa na północ maksimum średniej miesięcznej liczby dni z gradem pojawia się stopniowo od stycznia do czerwca. W części północnej opady te występują najczęściej. Z kolei z analizy Sioutasa (2007) wynika, iż na północy Grecji opady gradu najczęściej pojawiają się od kwietnia do sierpnia, wywołując duże szkody w rolnictwie. Zwrócono również uwagę na znaczący wpływ ukształtowania powierzchni na częstość występowania opadów gradu.

Paul (1980) w opracowaniu dotyczącym opadów gradu w kanadyjskiej prowincji Saskatchewan jako najbardziej gradowy miesiąc wyznacza czerwiec, a w ciągu dnia opady występują tu zwykle w godzinach popołudniowych (14<sup>00</sup>–20<sup>00</sup>).

Podczas ostatniego pięciolecia pojawiło się również więcej opracowań dotyczących Dalekiego Wschodu, a głównie Chin. Jednym z nich jest publikacja C. i Q. Zhang (2008), będąca analizą rozkładu przestrzennego średniej rocznej i miesięcznej częstości opadów gradu nad obszarem Chin. Autorzy zwracają w nim szczególną uwagę na wpływ ukształtowania terenu na rozmieszczenie i częstość tych opadów, pojawiających się zwykle na południowo-wschodnich stokach wysokich gór. Sezon opadowy, ze względu na dużą powierzchnię kraju i jego silne zróżnicowanie pod względem rzeźby i klimatu, trwa od stycznia do lutego w części południowo-zachodniej, w marcu w części południowej oraz od kwietnia do września w północnej i północno-zachodniej części kraju.

Wiele spośród zagranicznych publikacji dotyczy sposobów lokalizowania i tworzenia się komórek gradowych (Battan 1974; Waldvogel 1979; Kennedy, Detwiler 2003) z wykorzystaniem radarów i modelowania matematycznego.

Głównym celem niniejszej pracy jest nie tylko graficzne przedstawienie częstości występowania badanego zjawiska w wybranym wieloleciu, ale także wyznaczenie miesięcy w roku, kiedy opady te występują najczęściej, a dodatkowo określenie największych częstości opadów gradu. Bardzo ważnym elementem, z uwagi na niewielki stopień rozpoznania tego zjawiska, jest również wytypowanie obszarów w obrębie badanego regionu, gdzie opady gradu notowane są najczęściej oraz sformułowanie prawidłowości dotyczących rozmieszczenia tego rodzaju opadów.

## OBSZAR BADAŃ, MATERIAŁY ŹRÓDŁOWE I METODY BADAŃ

Do analizy rozmieszczenia opadów gradu wybrano obszar Niziny Wielkopolskiej, rozumianej jako zachodnia część Nizy Polskiego. Ograniczona jest ona przez Pomorze na północy, Nizinę Śląską na południu, Nizinę Brandenburską na zachodzie, a na wschodzie przez Nizinę Mazowiecką. Kraina ta jest w wyraźny sposób oddzielona od sąsiednich jednostek przez: Pradolinę Toruńsko-Eberswaldzką, południkową dolinę Odry i Nysy Łużyckiej oraz wał Wzgórz Trzebnickich i Dalkowskich, Powyże Łódzkie i dolinę Wisły w części północno-wschodniej (Krygowski 1961).

Kraina ta ma charakter nizinny, a otaczające ją wzniesienia przyczyniają się do występowania zjawiska cienia opadowego w jej centralnej części. Pomimo tak niewielkich wysokości nad poziom morza (93% powierzchni regionu położonych jest na wysokości 50–150 m n.p.m.) rzeźba północnej części Niziny Wielkopolskiej jest bardzo urozmaicona ze względu na liczne formy polodowcowe powstałe podczas zlodowacenia północnopolskim, a w szczególności przez rozległe Pojezierze Wielkopolskie. Pod względem hydrograficznym ós badanego obszaru stanowi szeroka dolina Warty, ciągnąca się od Powyża Łódzkiego aż po ujście do Odry (Woś 1994).

Podobnie jak obszar całej Polski, Nizina Wielkopolska leży w strefie klimatu umiarkowanego przejściowego pomiędzy klimatem morskim – na zachodzie i kontynentalnym – na wschodzie. Kształtują go masy powietrza przemieszczające się nad Europą Środkową. Wywołane jest to obecnością stałych i okresowych układów barycznych nad Oceanem Atlantyckim i Eurazją (Woś 1994). Do najbardziej aktywnych układów barycznych należą Niz Islandzki i Wyż Azorski.

Nad Niziną Wielkopolską rzadziej obserwuje się przemieszczanie układów cyklonalnych aniżeli antycyklonów. Te ostatnie pojawiają się najczęściej latem i wczesną jesienią, a z kolei niż baryczne są częstsze w kwietniu i maju. Nad badanym regionem najczęściej przemieszczają się fronty chłodne – około 67 dni w roku – i ma to miejsce zwykle latem i jesienią. Okres bezfrontowy trwa około 230 dni w roku (Woś 1994).

Dominującymi masami powietrza napływającymi nad Niziną Wielkopolską w roku są: powietrze polarnomorskie i polarnokontynentalne (ponad 90% częstości), docierające głównie wiosną i latem. Średnia roczna temperatura powietrza na obszarze Niziny Wielkopolskiej wynosi od około 7,5°C w północno-wschodniej części do 8,4°C na zachodzie. Najwyższe temperatury notowane są w lipcu, a najniższe w styczniu (Woś 1994). Średnia roczna wielkość opadu na Nizinie Wielkopolskiej waha się od 480 mm do ponad 600 mm. Największe sumy notowane są w południowej części regionu, a najniższe (ok. 290 mm) w centrum.

Do niniejszego opracowania wykorzystano dane pochodzące z *Roczników meteorologicznych za lata 1966–1980*, wydawanych przez Państwowy Instytut Hydrologiczno-Meteorologiczny (później Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej). Zamieszczono w nich informacje o liczbie dni z opadem gradu w każdym miesiącu w roku, a do opracowania wybrano 13 stacji pomiarowo-obszernych, zlokalizowanych w obrębie Niziny Wielkopolskiej.

Chcąc dokładnie przeanalizować zróżnicowanie przestrzenne występowania opadów gradu na obszarze Niziny Wielkopolskiej, obliczono średnie miesięczne liczby dni z opadem gradu, wykreślono miesięczne mapy rozkładu opadów gradu oraz histogramy rocznego przebiegu badanego zjawiska, a także wyznaczono przebieg roczny wartości ekstremalnych.

## WYNIKI BADAŃ

Największa trudność przy analizie częstości występowania opadów gradu dotyczy jego wybitnie lokalnego i krótkotrwałego charakteru. Ponadto, na obszarze Niziny Wielkopolskiej rozkład przestrzenny częstości występowania tego zjawiska odznacza się dużym zróżnicowaniem. W skali roku z łatwością można wydzielić miesiące, w których opady gradu pojawiają się bardzo często i te, w których opad ten prawie nie występował w badanym wieloleciu (tab. 1).

Tabela 1. Średnia liczba dni z opadem gradu, dane z lat 1966–1980

Table. 1. Mean number of days with hail, monthly and annually, years 1966–1980

Miejscowość	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ROK
Bydgoszcz	0,0	0,2	0,1	0,4	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0	0,3	2,0
Gorzów Wlkp.	0,1	0,3	0,3	0,3	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,3	0,1	1,8
Kalisz	0,1	0,4	0,9	0,4	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0	0,3	0,1	2,9
Koło	0,0	0,3	0,0	0,3	0,2	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	1,0
Leszno	0,7	0,9	1,0	0,5	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,3	0,5	0,4	5,1
Łódź	0,3	0,4	0,2	0,1	0,3	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	1,8
Piła	0,2	0,1	0,0	0,0	0,4	0,3	0,0	0,2	0,0	0,1	0,0	0,4	1,6
Poznań	0,2	0,5	1,0	0,3	0,2	0,1	0,1	0,0	0,1	0,2	0,1	0,5	3,2
Słubice	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	1,3
Toruń	0,1	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,3	0,2	2,5
Wieluń	0,2	0,5	0,2	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,5	0,3	2,8
Wrocław	0,5	0,5	0,1	0,0	0,3	0,2	0,1	0,0	0,1	0,2	0,4	0,5	2,8
Zielona Góra	0,6	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,1	0,3	0,4	0,5	3,9

Ze względu na szczególnie lokalny charakter i nieregularność występowania opadów gradu pomocne przy analizie jest zestawienie maksymalnej liczby dni z gradem w badanych stacjach, zamieszczone w tabeli 2.

Tabela 2. Maksymalna liczba dni z opadem gradu i rok występowania w wybranych przypadkach w latach 1966–1980

Table 2. The maximum number of hail days between 1966–1980 and the year of occurrence in the chosen cases

Miejscowość	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Bydgoszcz	0	1	1	2	1	1	1	1	1	1	0	2
Gorzów Wlkp.	1	1	3	2	0	0	1	0	0	1	2	1
Kalisz	1	2	7***	2	1	1	1	1	1	0	1	1
Koło	0	2	0	2	1	1	0	1	0	0	0	1
Leszno	3	4	5*	2	3	2	1	1	1	1	2	2
Łódź	2	2	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1
Piła	1	1	0	0	2	2	0	1	0	1	0	3
Poznań	1	2	5**	2	1	2	1	0	1	1	1	1
Słubice	1	1	2	1	2	1	1	1	0	1	1	1
Toruń	1	2	2	2	1	1	2	1	1	1	1	2
Wieluń	1	5*	1	2	1	1	1	2	1	2	4	2
Wrocław	2	2	1	0	1	1	1	0	1	1	3	3
Zielona Góra	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2	2

\* – 1966

\*\* – 1967

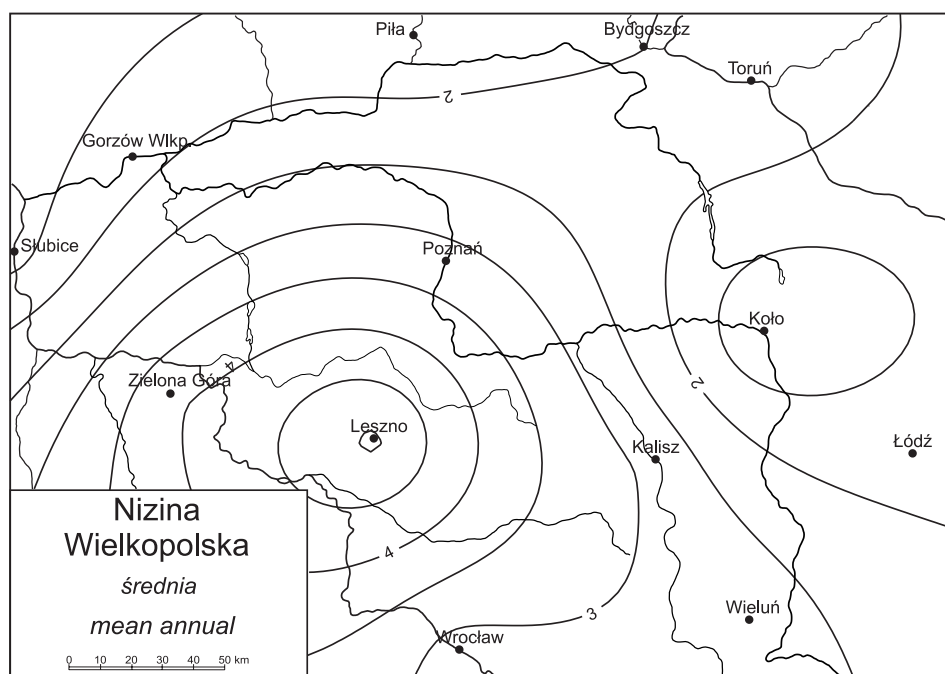
\*\*\* – 1971

Można zatem zaobserwować, iż w styczniu w wieloleciu 1966–1980 najczęściej opady te odnotowano w stacji Leszno (3 dni). Jest to jednocześnie stacja, w której opady gradu notowane są najczęściej w całym wieloleciu. W lutym opady te obserwowano maksymalnie w ciągu 5 dni (stacja Wieluń). W marcu siedmiokrotnie notowano opady gradu w stacji Kalisz. W kwietniu w większości stacji obserwowano opady gradu maksymalnie w ciągu 2 dni. Natomiast w maju najczęściej opady gradu notowano w stacji Leszno (3 razy) i jest to jednocześnie największa wartość dla wszystkich miesięcy półrocza letniego. W czerwcu, lipcu i sierpniu grad pojawiał się zazwyczaj tylko raz w ciągu miesiąca. Z kolei we wrześniu nie zanotowano więcej niż jednego dnia z opadem w przeważającej liczbie stacji. W październiku opady te pojawiały się maksymalnie dwukrotnie (Wieluń i Zielona Góra). Czterokrotnie odnotowano opady gradu w listopadzie i miało to miejsce w stacji Wieluń, natomiast w grudniu największa liczba dni z opadem gradu zaznaczyła się we Wrocławiu i Pile, gdzie odnotowano trzykrotnie ten rodzaj opadu (tab. 2).

Marzec jest miesiącem, w którym w badanym wieloleciu opady gradu wystąpiły najczęściej razy. Z kolei we wrześniu opady te notowano najrzadziej.

Na rycinie 1 przedstawiono średnią roczną liczbę dni z opadem gradu na Nizinie Wielkopolskiej w analizowanym wieloleciu 1966–1980. Wyraźnie widać na niej duże zagęszczenie izolinii, szczególnie w południowo-zachodniej części regionu, gdzie średnia liczba dni z opadem gradu przekracza 3. Wartość maksymalna w tym przypadku wynosi 5,1 dnia i dotyczy okolic miejscowości Leszno. Zdecydowanie obszarem najrzadziej nawiedzanym przez opady gradu jest północna i wschodnia część Niziny Wielkopolskiej. Najmniejsze wartości średniej liczby dni z gradem, nieprzekraczające 2, notowane były w okolicach: Koła (1 dzień), Słubice (1,3 dnia) oraz Piły (1,6 dnia) (tab. 1).

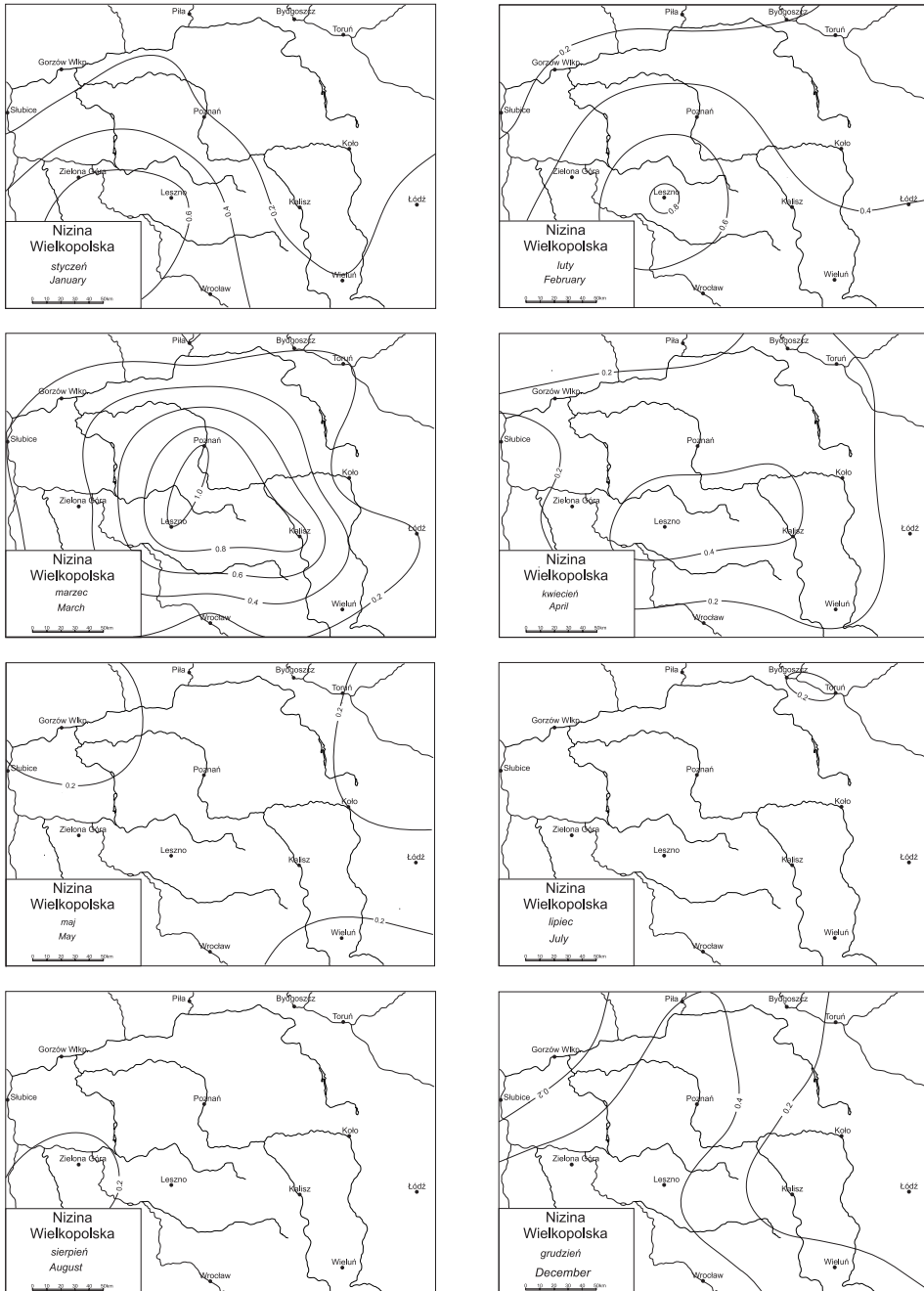
Analizując mapę średniej liczby dni z opadem gradu na Nizinie Wielkopolskiej w styczniu (ryc. 2), w pierwszej kolejności można zaobserwować, iż częstość tego zjawiska maleje w kierunku północno-wschodnim, a południowo-zachodnia część badanego obszaru cechuje się największą średnią liczbą dni z gradem. W tym rejonie średnia liczba dni z badanym opadem wahała się od 0,2 w okolicach Poznania do 0,6 w Zielonej Górze (tab. 1).



Ryc. 1. Rozkład średniej rocznej liczby dni z opadem gradu w latach 1966–1980

Fig. 1. The geographical distribution of mean annual hail frequency in the years 1966–1980





Ryc. 2. Rozkład średniej liczby dni z opadem gradu dla wybranych miesięcy w latach 1966–1980

Fig. 2. The geographical distribution of mean monthly hail frequency in the years 1966–1980 in selected months

Maksymalną wartość wynoszącą średnio 0,7 dnia z opadem gradu odnotowano w Lesznie. W przypadku Bydgoszczy i Koła w badanym wieloleciu 1966–1980 w styczniu opady gradu nie występowały, natomiast najniższe wartości – średnio 0,1 dnia z opadem – obejmują rejon Gorzowa Wlkp. i Słubic oraz Kalisza i Torunia.

W lutym opady gradu pojawiały się częściej niż w styczniu. Notowano je we wszystkich analizowanych stacjach. Największe wartości – powyżej 0,4 dnia z opadem gradu – dotyczą środkowej części niziny pomiędzy rzekami Odrą i Wartą (ryc. 2). Najczęściej, bo średnio aż 0,9 dnia, opad gradu występował w Lesznie, a w obrębie Pojezierza Leszczyńskiego średnia liczba dni z gradem wynosiła 0,8. Najmniejszą częstością tego rodzaju opadów cechowały się okolice Słubic i Piły, gdzie grad pojawiał się średnio 0,1 dnia w miesiącu. We wschodniej części Niziny Wielkopolskiej badane zjawisko występowało średnio od 0,3 do 0,4 dnia w miesiącu, natomiast w części zachodniej można mówić o większym zróżnicowaniu w przebiegu częstości tego opadu – średnio od 0,1 do 0,5 dnia w miesiącu (tab. 1). Południowa część Niziny Wielkopolskiej cechuje się znacznie większą częstością występowania opadów gradu niż jej północny skraj.

Marzec odznacza się największym zróżnicowaniem przestrzennym występowania opadów gradu. Środkowa część niziny – okolice Poznania, Leszna i Kalisza – jest najczęściej nawiedzana przez opady gradu (powyżej 0,8 dnia), a różnica pomiędzy centrum a obrzeżami tego obszaru wynosi aż 0,6 dnia (ryc. 2). W okolicach Poznania i Leszna opady gradu występują średnio jeden dzień w miesiącu i jest to wartość maksymalna na tym obszarze i dla całego roku. W badanym wieloleciu w okolicach Piły i Koła opady te nie występowały, a wartością minimalną, poniżej 0,2 dnia z opadem, charakteryzują się obrzeża Niziny Wielkopolskiej, tj. okolice Wrocławia i Bydgoszczy (tab. 1).

W kwietniu ponownie centralna część Niziny Wielkopolskiej charakteryzuje się największą częstością występowania opadów (powyżej 0,4 dnia) z maksimum w Lesznie, wynoszącym średnio pół dnia z gradem (ryc. 2). Zewnętrzna część obszaru przyjmuje wartości poniżej średnio 0,2 dnia z opadem gradu. W analizowanym wieloleciu opady te nie występowały w okolicach Wrocławia i ponownie Piły (tab. 1).

Analizując mapy średniej liczby dni z gradem na obszarze Niziny Wielkopolskiej, widoczna jest duża dysproporcja w występowaniu tego zjawiska pomiędzy półroczem ciepłym (kwiecień–wrzesień) i chłodnym (październik–marzec). Dla przykładu w maju (ryc. 2) opady gradu występują średnio 0,3 dnia i taka wartość obejmuje prawie cały obszar Niziny Wielkopolskiej, z wyjątkiem okolic Wielunia, Gorzowa Wlkp., gdzie opad nie wystąpił, i obszaru na północny wschód od linii Toruń–Koło (tab. 1). Jedynym wyjątkiem jest Piła, gdzie średnia liczba dni z opadem gradu wynosi 0,4 i jest to maksymalna wartość dla tego miesiąca w badanym wieloleciu. Można zatem podsumować, iż miesiąc

maj cechuje się niewielkim zróżnicowaniem przestrzennym w występowaniu opadów gradu.

W lipcu średnia liczba dni z gradem nie przekracza 0,2. To maksimum dotyczy jedynie okolic Bydgoszczy i Torunia oraz Zielonej Góry (ryc. 2). Pozostały obszar Niziny Wielkopolskiej charakteryzuje średnio 0,1 dnia z opadem gradu, a w stacjach Koło, Łódź i Piła opady te nie występowały (tab. 1). Jest to jeden z miesięcy o najniższych wartościach średniej liczby dni z gradem.

Sierpień, podobnie jak lipiec, cechują bardzo niskie wartości średniej liczby dni z opadem gradu (tab. 1). Większość analizowanego obszaru nie osiąga większych wartości niż 0,2, a jedynym odstępstwem są okolice Zielonej Góry, gdzie średnia ta wynosi 0,3 dnia i jest to wartość maksymalna dla tego miesiąca w wieloleciu (ryc. 2). Opady gradu nie wystąpiły w okolicach Gorzowa Wlkp., Poznania i Wrocławia.

W grudniu izolynie średniej liczby dni z gradem mają przebieg wyraźnie południkowy z centralną częścią o większych wartościach, obejmujących pas od Piły poprzez: Poznań, Leszno, Zieloną Górę i Wrocław, gdzie średnia liczba dni z opadem gradu wynosiła ponad 0,4 (ryc. 2). Najczęściej, bo średnio 0,5 dnia, opady gradu występowały w Poznaniu, Zielonej Górze i Wrocławiu (tab. 1). Krańce północno-zachodni i wschodni cechuje średnia poniżej 0,2 dnia. Opad gradu odnotowano w każdej ze stacji.

Uzupełnieniem analizy rozkładu przestrzennego opadów gradu na obszarze Niziny Wielkopolskiej są histogramy przedstawiające przebieg roczny tych opadów w 12 stacjach pomiarowych z badanego obszaru (ryc. 3).

W przypadku stacji Bydgoszcz wyraźnie widać, iż miesiącami najczęściej nawiedzanymi przez opady gradu są: kwiecień (z częstością 0,4 dnia), maj, czerwiec i grudzień. W styczniu i listopadzie opady gradu nie występowały (ryc. 3).

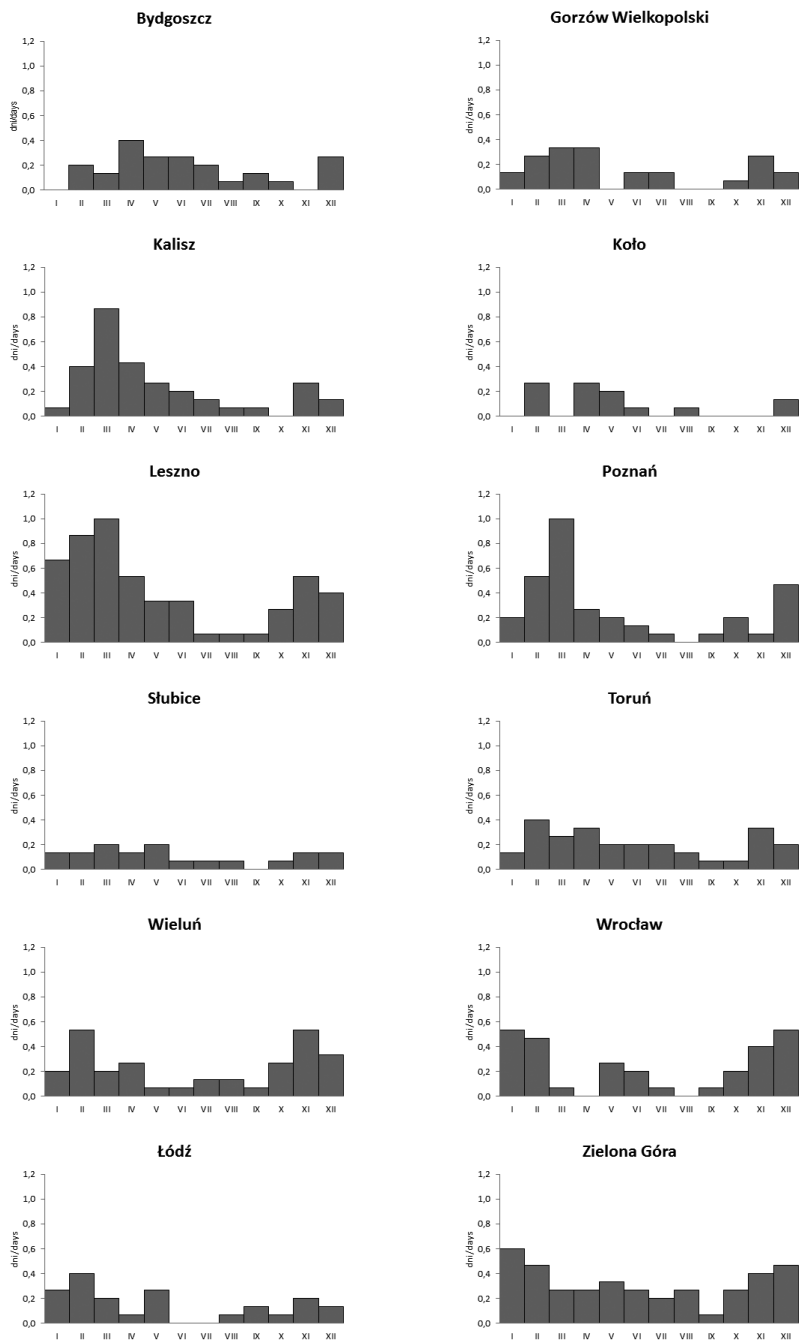
Podobna sytuacja ma miejsce w Gorzowie Wlkp, gdzie największe wartości (0,3 dnia) notowane były w: lutym, marcu, kwietniu i listopadzie. Opadów nie odnotowano w maju, sierpniu i wrześniu (ryc. 3).

O wiele większą różnorodnością odznacza się przebieg roczny średniej liczby dni z opadem gradu w stacji Kalisz. Tu największa wartość, wynosząca 0,9 dnia, odnotowana była w marcu, a w pięciu miesiącach w roku (II–V, XI) częstość opadów gradu wynosiła nie mniej niż 0,3 dnia (ryc. 3).

W miejscowości Koło opady gradu występowały sporadycznie, z maksimum w lutym i kwietniu, wynoszącym 0,3 dnia (ryc. 3).

Miejscowością o największej częstości występowania opadów gradu jest Leszno. W marcu średnio 1 dzień w miesiącu występował opad gradu. Najbardziej gradowymi miesiącami były: styczeń, luty, kwiecień, wrzesień i grudzień (powyżej 0,3 dnia). Opady występowały w każdym miesiącu roku (ryc. 3).

W Łodzi w badanym wieloleciu opady gradu odnotowane były najczęściej w lutym (0,4 dnia). W pozostałych miesiącach, z wyjątkiem marca i maja, opady gradu prawie nie występowały (ryc. 3).



Ryc. 3. Przebieg roczny średniej liczby dni z opadem gradu dla wybranych stacji w latach 1966–1980

Fig. 3. The mean annual monthly hail days in the years 1966–1980 for the selected stations

Opady gradu w Poznaniu odznaczały się dużą nieregularnością w czasie. W marcu grad pojawiał się średnio jeden dzień w miesiącu, a w lutym i grudniu opady te notowano średnio 0,5 dnia. W miesiącach letnich opad prawie nie występował (maksymalnie 0,1 dnia) (ryc. 3).

Słubice są jedną ze stacji, gdzie opady gradu występowały najrzadziej. Maksymalna wartość średniej liczby dni z gradem wynosi tu 0,2 (marzec i maj) (ryc. 3), średnia roczna to 1,3 dnia (tab. 1). Słubice są zaraz po Kole najmniej gradowym miastem w badanym regionie.

W Toruniu opady gradu występowały najczęściej w lutym (0,4 dnia), natomiast w marcu, kwietniu i listopadzie średnia liczba dni z tym opadem wynosiła 0,3 (ryc. 3).

Wieluń i Wrocław charakteryzują się taką samą średnią roczną liczbą dni z gradem wynoszącą 2,8 dnia oraz maksymalną wartością średniej liczby dni z tym opadem wynoszącą 0,5. Mimo to w Wieluniu najbardziej gradowymi miesiącami są luty i listopad (0,5 dnia) oraz kwiecień, październik i grudzień (0,3 dnia). We Wrocławiu maksimum przypada na: styczeń, luty i grudzień (0,5 dnia), a także maj (0,3 dnia) oraz listopad (0,4 dnia). W obydwu stacjach opady gradu najrzadziej występują w miesiącach letnich (ryc. 3).

Opady gradu w Zielonej Górze pojawiały się średnio 3,9 dnia w roku, najczęściej w styczniu (0,6 dnia), lutym i grudniu (po 0,5 dnia). W większości miesięcy opady te przekraczają wartość minimum 0,3 dnia, zatem jest to miasto często nawiedzane przez opady gradu (ryc. 3).

Reasumując, opady gradu w badanych stacjach pojawiały się najczęściej w miesiącach wiosennych i zimowych, podczas gdy w porze letniej występowały sporadycznie.

## DYSKUSJA WYNIKÓW

Na obszarze Niziny Wielkopolskiej rozkład przestrzenny opadów gradu cechuje się znaczną nierównomiernością w poszczególnych miesiącach roku. Obszary o dużej częstotliwości tego zjawiska nierzadko sąsiadują z regionami, gdzie opad ten prawie nie występował w badanym wieloleciu. Jest to potwierdzenie wybitnie lokalnego charakteru tego zjawiska, co jest podkreślane w wielu opracowaniach dotyczących opadów gradu (Schmuck 1949; Koźmiński 1964, 1965, 1966, 1968). Zjawisko to cechuje się również dużym zróżnicowaniem czasowym w analizowanym wieloleciu, jako że występowały obok siebie miesiące o bardzo różniącej się częstotliwości opadów gradu, na przykład „gradowy” marzec i następujący po nim kwiecień z maksimum 0,5 dnia.

Miesiącami, w których opady gradu pojawiają się najczęściej w badanym wieloleciu 1966–1980, są marzec, styczeń i luty. Wartość maksymalna średniej liczby dni z opadem gradu w tym regionie przypada na marzec, kiedy

to w okolicach Leszna i Poznania opady gradu występowały średnio 1 dzień w miesiącu. Na ten miesiąc przypada największa liczba dni z gradem (7 dni), w badanym wieloleciu zarejestrowana w stacji Kalisz. Dla porównania, jak podaje Koźmiński (1964), maksymalna częstość występowania większych burz gradowych na terenie Polski (z lat 1946–1956) wynosiła 9,0 (lipiec).

Miesiące wiosenne jako najbardziej gradowe wskazuje Zhang (2008) dla obszaru południowo-zachodnich Chin oraz Kotinis-Zambakas (1988) dla środkowej Grecji. W większości oprców jednak za miesiące z najczęstszymi opadami gradu przyjmuje się czerwiec, lipiec i sierpień (Tuovinen, Schultz 2007, 2008, 2009). Porównując te wyniki z wynikami dotyczącymi obszaru całej Polski (Koźmiński 1964, 1968), można mówić o pewnej rozbieżności, gdyż zdecydowanie opady te występują najczęściej w miesiącach od maja do sierpnia. Te miesiące z kolei na badanym obszarze cechowały się najmniejszą częstością występowania opadów gradu, ze średnią liczbą dni z gradem nieprzekraczającą 0,3 (Zielona Góra) w sierpniu. W trzech miesiącach letnich średnia liczba dni z opadem gradu wynosiła około 0,1, a w wielu stacjach opady te nie występowały.

Obszar Niziny Wielkopolskiej jako najczęściej nawiedzany przez opady gradu w badanym wieloleciu obejmuje okolice Poznania, Leszna i Zielonej Góry. Średnia roczna liczba dni z opadem gradu (wielolecie 1966–1980) wynosiła 5,1 dnia w okolicach Leszna. Wartości najmniejsze przypadały na okolice: Koła (1 dzień), Słubiec (1,3 dnia), Piły (1,6 dnia) oraz Gorzowa Wlkp. (1,8 dnia). Dla obydwu stacji wartość maksymalna liczby dni z gradem wynosi 2, przy czym w Pile odnotowano ją w maju i czerwcu, natomiast w Kole w lutym i kwietniu. W pozostałych miesiącach opad nie występował lub wystąpił tylko raz.

Istotne jest, iż na częstość i rozmieszczenie przestrzenne opadów gradu na danym obszarze wpływają nie tylko czynniki atmosferyczne, na przykład rodzaj napływających mas powietrza, ale także: orografia, pokrycie terenu, warunki wodne i glebowe (Koźmiński 1964, 1965, 1968). Można zatem doszukiwać się pewnego związku między większą częstością tych opadów w rejonie Kalisza i Leszna a ich położeniem geograficznym w obrębie wysoczyzn Kaliskiej i Leszczyńskiej. Mała częstość występowania opadów gradu w okolicach: Koła, Słubiec, Piły i Gorzowa Wlkp. może być związana z ich położeniem poza obszarem wysoczyznowym, w obrębie szerokich dolin rzecznych. Podobne obserwacje poczynili między innymi Zhang (2007), Kotinis-Zambakas (1988) i Sioutas (2007). Na obszarze Chin największą częstością opadów gradu odznacza się centralna część Płaskowyżu Tybetańskiego, a w przypadku Grecji jej górzysta, północna część.

Podsumowując, należałoby podkreślić, iż zasób literatury dotyczącej zjawiska, jakim są opady gradu, jest dosyć skąpy. Większość polskich opracowań ogranicza się do lat 1946–1980. Zatem niezbędne jest uzupełnienie dostępnej literatury o dalsze próby poszukiwania zależności między tym rodzajem opadów

a innymi komponentami środowiska. Brakuje opracowań dotyczących zmienności czasowej omawianego zjawiska.

## LITERATURA

- Battan L., 1974: *Doppler radar observations of hailstorm*. Journ. of Applied Meteorology 14.
- Farat R., 2004: *Atlas klimatu województwa wielkopolskiego*, Inst. Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Poznań, 117, 120.
- Haman K., 1966: *Graficzny sposób obliczania profili prędkości prądów pionowych i jego zastosowanie do prognozy gradu*. Przegl. Geofiz., 11, 2.
- Kennedy P., Detwiler A., 2003: *A Case Study of the Origin of Hail in a Multicell Thunderstorm Using In Situ Aircraft and Polarimetric Radar Data*. Journ. of Applied Meteorology, 42.
- Koeppel C.E., Delong G.C., 1958: *Weather and Climate*. McGraw-Hill, New York.
- Kopiński Z., 1971: *Gradobicia w powiecie sochaczewskim w latach 1960–1970*. Gazeta Obserwatora PIHM, 9(285).
- Kostin S., 1956: *Podstawy meteorologii*. PWN, Warszawa.
- Kotinis-Zambakas S.R., 1988: *Average spatial patterns of hail days in Greece*. Journ. of Climate, 2.
- Koźmiński C., 1964: *Geograficzne rozmieszczenie większych burz gradowych zanotowanych na obszarze Polski w latach 1946–1956*. Przegl. Geograf., 36, 1.
- Koźmiński C., 1965: *Próba wydzielenia obszarów źródłowych tworzenia się termicznych burz gradowych na terenie woj. Kieleckiego*. Przegl. Geograf., 37, 3.
- Koźmiński C., 1966: *Wstępne wyniki pomiarów natężenia opadów gradu na kilku stacjach meteorologicznych w Polsce*. Przegl. Geofiz., 11, 2.
- Koźmiński C., 1966: *Występowanie opadów gradu na terenie powiatu buskiego w zależności od warunków fizjograficznych*. Czas. Geogr., 37.
- Koźmiński C., 1968: *Studia nad opadami gradu i wyrządzanymi przez nie szkodami w zbożach na terenie Wągrowa Małopolskiej*. Wyższa Szkoła Rolnicza, Szczecin.
- Krygowski B., 1961: *Geografia fizyczna Niziny Wielkopolskiej. Część I – Geomorfologia*, PTPN, PWN, Poznań, 4–10.
- Molga M., 1986: *Meteorologia rolnicza: podręcznik dla studentów akademii rolniczych*. PWRiL, Warszawa.
- Paul A., 1980: *Hailstorms in southern Saskatchewan*. Journ. of Applied Meteorology, 19.
- Petterssen S., 1964: *Zarys meteorologii*. PWN, Warszawa.
- Roczniki Meteorologiczne. 1966–1980*: PIHM/IMGW, Warszawa.
- Schmuck A., 1949: *Burze gradowe*, Czas. Geogr. 20, 1–4.
- Sioutas M.V., 2007: *Hail frequency and intensity in northern Greece*. 4th European Conference on Severe Storms, Włochy.
- Tamulewicz J., 1997: *Wielka encyklopedia geografii świata – Pogoda i klimat*. Wyd. Kurpisz, Poznań, 149–180.
- Tuovinen J.P., 2007: *A climatology of large hail in Finland (1930–2006)*. 4th European Conference on Severe Storms, Włochy.
- Tuovinen J.P., Schultz D., 2008: *Climatology of Severe Hail in Finland: 1930–2006*. Monthly Weather Review, 137.
- Tuovinen J.P., Schultz D., 2009: *Building a database of severe weather phenomena: Severe hail in Finland*. 5th European Conference on Severe Storms, Niemcy.
- Waldvogel A., 1979: *Criteria for the detection of hail cells*. Journ. of Applied Meteorology, 18.
- Woś A., 1994: *Klimat Niziny Wielkopolskiej*. Wyd. Nauk. UAM, Poznań.
- Woś A., 1999: *Klimat Polski*. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa, 77–135.

- Woś A., 1999: *Meteorologia dla geografów*. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Zhang C., Zhang Q., 2007: *Climatology of hail in China: 1961–2005*. Journ. of Applied Meteorology and Climatology, 47.
- Zienkiewicz W., Michna E., 1995: *Częstotliwość występowania gradów w województwie lubelskim w zależności od warunków fizjograficznych*. Annal UMCS, B, 10.