

Wojciech Radziun

**OPADY ATMOSFERYCZNE NA OBSZARZE ŁODZI
I WOJEWÓDZTWA ŁÓDZKIEGO
W OKRESIE 1961-2016**

**Katedra Meteorologii i Klimatologii
Wydział Nauk Geograficznych
Uniwersytet Łódzki**



**Promotor: prof. dr hab. Joanna Wibig
Promotor pomocniczy: dr Piotr Piotrowski**

Spis treści

Wstęp	4
2. Dane i metody opracowania	13
2.1. Metody i dane zastosowane do analizy opadów atmosferycznych na obszarze województwa łódzkiego	13
2.2. Metody i dane zastosowane do oceny warunków cyrkulacyjnych	19
3. Analiza opadów atmosferycznych w województwie łódzkim	24
3.1. Charakterystyka opadów atmosferycznych w województwie łódzkim, w ujęciu sezonowym ..	27
3.2. Wieloletnia zmienność opadów atmosferycznych w województwie łódzkim	34
3.3. Charakterystyka zmienności dobowych sum opadów atmosferycznych w województwie łódzkim	41
4. Opady atmosferyczne w województwie łódzkim na tle cyrkulacji atmosferycznej	52
4.1. Sezonowe sumy opadów atmosferycznych na tle cyrkulacji atmosferycznej	52
4.2. Częstość opadów atmosferycznych w zależności od ich wielkości oraz kierunku adwekcji w poszczególnych sezonach	58
4.3. Prawdopodobieństwo warunkowe opadu atmosferycznego w zależności od cyrkulacji atmosferycznej	61
4.4. Prawdopodobieństwo warunkowe opadu atmosferycznego w różnych klasach wysokości w zależności od kierunku adwekcji w sezonach	64
5. Telekoneksje - związek makroskalowych wskaźników cyrkulacji atmosferycznej typu: NAO, EA, EA/WR, SCA, POL z opadami na obszarze województwa łódzkiego	69
6. Analiza opadów atmosferycznych na obszarze Łodzi	75
6.1. Zmiany intensywności opadu atmosferycznego podczas wybranych incydentów opadowych na obszarze aglomeracji łódzkiej	76
6.2. Rozkład przestrzenny opadów atmosferycznych na obszarze Łodzi w zależności od kierunku adwekcji	86
6.3. Rozkład przestrzenny 95-tego percentyla sum dobowych opadów atmosferycznych w półroczu chłodnym i ciepłym (2011-2016)	92
7. Podsumowanie	97
Spis literatury	103
Wykaz stron internetowych:	110
Spis rysunków	111
Spis tabel	116
Załącznik	118
Summary	123

Table of contents

Introduction	4
2. Data and methods of study	13
2.1. Methods and data applied in the analysis of precipitation in the Łódź Voivodeship	13
2.2. Methods and data applied for evaluation of atmospheric circulation conditions	19
3. Analysis of precipitation in the Łódź Voivodeship	24
3.1. Characteristics of seasonally precipitation in the Łódź Voivodeship	27
3.2. Long-term variability of precipitation in the Łódź Voivodeship	34
3.3. Characteristics of the variability of the daily total precipitation in the Łódź Voivodeship	41
4. Precipitation in the Łódź Voivodeship in relation to atmospheric circulation	52
4.1. Seasonal total precipitation in relation to atmospheric circulation	52
4.2. Frequency of precipitation in relation to classes of its height and direction of advection in seasons	58
4.3. Conditional probability of precipitation in relation to atmospheric circulation	61
4.4. Conditional probability of precipitation in relation to classes of its height and direction of advection in seasons	64
5. Teleconnections - a relationship of the indices of macroscale atmospheric circulation: NAO, EA, EA / WR, SCA, POL with precipitation in the Łódź Voivodeship	69
6. Analysis of precipitation in the Łódź area	75
6.1. Changes in precipitation intensity during selected rainfall incidents in the Łódź agglomeration area	76
6.2. Spatial distribution of precipitation in the Łódź area in relation to direction of advection	86
6.3. Spatial distribution of the 95th percentile of daily total precipitation in the cool and warm half of a year (2011-2016)	92
References	103
List of websites	110
List of figures	111
List of tables	116
Appendix	118
Summary	123

Wstęp

Opady atmosferyczne są elementem pogody bardzo zmiennym w czasie i przestrzeni. Opady o charakterze rozlewnym - długotrwałe i obejmujące duże powierzchnie mogą powodować znaczne straty materialne i społeczne, czego przykładem były powodzie w Polsce w latach 1997 i 2010, natomiast opady nawalne - krótkotrwałe i intensywne często są przyczyną podtopień (Bernas i Kolendowicz 2013). Zmienność opadów atmosferycznych jest również istotna z punktu widzenia plonowania roślin, stąd opady są jednym z najważniejszych elementów meteorologicznych (Olechnowicz - Bobrowska i in. 2005). Skutkiem współczesnego ocieplenia klimatu jest wzrost parowania potencjalnego, co w warunkach prawie niezmiennych sum opadów atmosferycznych jest przyczyną spadku klimatycznego bilansu wodnego (różnicy między sumą opadu, a parowaniem potencjalnym) (Wibig 2012). W ostatnich dziesięcioleciach XX w. stwierdzono występowanie zwiększonej liczby miesięcy suchych we wszystkich regionach Polski z wyjątkiem Pobrzeża Bałtyku oraz Pojezierzy Wschodniobałtyckich (Somorowska 2009). W Polsce coraz częściej mówi się o zagrożeniach wynikających z powodu niedoboru opadów atmosferycznych, który w skrajnych przypadkach doprowadza do zjawiska suszy. W ostatnim pięćdziesięcioleciu susze w Polsce odnotowano w latach: 1951, 1953, 1959, 1963, 1964, 1969, 1971, 1976, 1982-1984, 1988-1995, 2000-2003 (Bobiński i Meyer, 1992; Czaplak, 1996; Bąk i Łabędzki, 2002). Łabędzki (2004) określił suszę jako anomalię atmosferyczną spowodowanej okresem bezopadowym, której skutkiem jest zaburzenie bilansu wodnego danego obszaru, a w odniesieniu do rolnictwa, suszę zdefiniował jako niedobór wody wpływający niekorzystnie na wzrost, rozwój i plonowanie roślin. Autor uznał obszar środkowej Polski za jeden z najbardziej zagrożonych posuchą terenów. Piotrowski (2004), analizując okresy bezopadowe w Łodzi w latach 1903-2003, odnotował najdłuższą 45-dniową sekwencję dni bezopadowych (21.09.1949-4.11.1949), a za najbardziej narażone na posuchy uznał sezon jesienny i wiosenny. Kanecka-Geszke i Smarzyńska (2007) stwierdziły, że susza jest zjawiskiem atmosferycznym i hydrologicznym, które pojawia się okresowo i w różnych porach roku, stąd terminu jej wystąpienia, czasu trwania i nasilenia nie sposób przewidzieć. Susza atmosferyczna jest okresem, podczas którego opady atmosferyczne są znacząco niższe od normy dla danego obszaru (Wibig 2012). Zjawisko to występuje najczęściej podczas zalegania wyżu atmosferycznego, gdy wysoka temperatura powoduje spadek wilgotności względnej powietrza (za Wibig 2012). Złożoność zjawiska suszy o wymiarze fizycznym i społecznym powoduje, że do dziś nie ma jej jednoznacznej, uniwersalnej definicji, a

dodatkową trudność sprawia określenie początku i końca jej trwania (Tokarczyk 2008). Kluczowym aspektem w zapobieganiu suszy jest dokładniejsze poznanie przyczyn powstania tego niekorzystnego zjawiska, do których należą, obok temperatury powietrza, opady atmosferyczne. Na opad atmosferyczny ma wpływ wiele czynników: cyrkulacja atmosferyczna i związana z nią adwekcja różnych mas powietrza, rzeźba terenu, w tym wysokość nad poziomem morza, ekspozycja na przeważające wiatry deszczonośne i odległość od morza. W skali lokalnej na wielkość opadu atmosferycznego oddziałują takie czynniki jak: odległość od zbiornika wodnego, stopień lesistości, uprzemysłowienie i urbanizacja, które mogą modyfikować opady w mieście i w jego sąsiedztwie (Olechnowicz-Bobrowska, 1970).

Opady na obszarze Polski były analizowane w wielu opracowaniach klimatologicznych. Badaniem opadów atmosferycznych w przekroju wieloletnim zajmowała się Kaczorowska (1962). Autorka scharakteryzowała tendencje opadów w kilku okresach, w tym od początku obserwacji (1851-1878) do 1958r. Analizą rocznych sum opadów atmosferycznych na obszarze kraju zajmowali się Kożuchowski (1982) i Ewert (1984). Według Czarneckiej i Nidzgorskiej-Lencewicz (2012), w okresie 1951-2010 średnia roczna suma opadów w Polsce wyniosła 594 mm. Autorki oszacowały zróżnicowanie sum sezonowych opadów atmosferycznych na obszarze kraju. Sumy letnie opadów atmosferycznych w środkowej Polsce nie przekroczyły 220 mm, minimum wystąpiło w Wielkopolsce - poniżej 200 mm, i wzrastały w kierunku południowym do powyżej 280 mm. Częstość dni z opadem w Polsce analizowała Olechnowicz-Bobrowska (1970). Autorka zaobserwowała, że najwięcej dni z opadem odnotowano w górach (165-229 dni w roku), a najmniej w środkowej i wschodniej Polsce (134-151 dni w roku). Reżim opadowy w skali kraju był przedmiotem badań Wibig i Kożuchowskiego (1988). W pracy przeprowadzono regionalizację pluwiometryczną Polski. Według autorów opracowania na obszarze województwa łódzkiego panuje w większości reżim opadowy typu kontynentalnego i częściowo słabo kontynentalny (południowo-zachodnia część województwa). Obfitość opadów (średnią sumę opadu w dniach z opadem) w przebiegu rocznym analizował Kożuchowski (2015). Na podstawie przeprowadzonej analizy obejmującej lata 1958-2008, autor wykazał, iż średnia wysokość dobowej sumy opadu w dniach z opadem na nizinnym obszarze Polski wyniosła 3,56 mm. Zauważył, że obfitość opadu zmienia się sezonowo i waha się od 2-3 mm w styczniu, lutym i marcu do powyżej 5 mm w czerwcu, lipcu i sierpniu.

Opady atmosferyczne w skali regionalnej były badane przez Kirchenstein (2005). Autorka dokonała analizy opadów atmosferycznych w północno-zachodniej Polsce na podstawie siedmiu stacji (Szczecin, Koszalin, Łębork, Gorzów Wielkopolski, Chojnice,

Bydgoszcz i Toruń). W opracowaniu ustalono, że średnia suma roczna wyniosła 589,9 mm, a opady w przebiegu wieloletnim (1861-1996) zachowały pewną rytmiczność, na przemian były obserwowane ich spadki i wzrosty. Dla województwa warmińsko-mazurskiego Banaszkiewicz i in. (2003) dokonali analizy sumy rocznej oraz sum miesięcznych opadów atmosferycznych. Autorzy ustalili, że suma roczna w wieloleciu 1951-1995 wyniosła 599 mm, a najbardziej zróżnicowane okazały się opady w październiku, które wyniosły w 2000 roku 4,4 mm, a w 2002 roku osiągnęły poziom 134 mm, co stanowiło 314% normy wieloletniej.

W skali regionalnej Podstawczyńska (2012) analizowała liczbę dni bez opadu w regionie łódzkim. Autorka ustaliła, że w Łodzi w okresie 1904-2006 występowało przeciętnie 198 dni suchych, co stanowi 54% roku. W mniejszej skali przestrzennej Piotrowski (2004) badał okresy bezopadowe (1903-2003) na stacji pomiarowej w Łodzi. Uzyskane wyniki wskazywały, że sezon jesienny i wiosenny jest najbardziej narażony na posuchy. Sumy miesięczne opadów atmosferycznych na obszarze Łodzi w latach 1903-2003 były przedmiotem analizy Siedleckiego i Pawłaka (2004). Autorzy obliczyli średnią roczną sumę opadów, która wyniosła 578 mm, najwyższa sezonowa suma wystąpiła latem 221 mm, a najniższa zimą 105 mm. Pokazano, że w Łodzi opady charakteryzują się silnym reżimem rocznym. Opady w Łodzi były również badane przez Rzepę (2004), który dokonał analizy najwyższych dobowych, pięciodniowych i dziesięciodniowych sum opadów w latach 1903-2003. Autor wskazał, że najwyższą dobową sumę opadu zaobserwowano w lecie 1939. Wyniosła ona 103,5 mm. Najwyższa pięciodniowa suma opadu 165,2 mm wystąpiła latem 1997, a najwyższą dziesięciodniową sumę opadu 206,5 mm odnotowano latem 1957.

Powstało wiele opracowań dotyczących wpływu cyrkulacji atmosferycznej na różne elementy pogody. Jednak w literaturze jednym z najczęściej poruszanych zagadnień, obok wpływu cyrkulacji atmosferycznej na temperaturę powietrza, był wpływ cyrkulacji na opady atmosferyczne (Niedźwiedź i Łupikasa 2019). Zmienność wskaźnika nierównomierności opadów w Europie w XX wieku i jej związki ze zmiennością wskaźnika NAO badała Łupikasa (2001). Autorka wykazała, że istotne statystycznie dodatnie korelacje dominują w lecie i jesieni, natomiast ujemne wiosną i w skali roku. Wibig (2000) doszła do wniosku, że pozytywna faza NAO (Oscylacja Północnoatlantycka) sprzyja wyższym opadom atmosferycznym w północnej Europie, a ich niedoborowi w południowej części kontynentu. Na ogół, podczas dodatniej fazy NAO występuje wzrost opadów atmosferycznych, natomiast przy ujemnej jest obserwowany ich spadek (Panfil i Dragańska 2004). Kirchenstein i Baranowski (2009) stwierdzili w wielu przypadkach związek sum opadów atmosferycznych z

NAO od grudnia do marca.. Na podstawie pola geopotencjału powierzchni izobarycznej 500 hPa, Wibig (2001) wytypowała 6 makroskalowych typów cyrkulacji w Europie: oscylację północnoatlantycką (NAO), typ skandynawski (Sc), wschodnioatlantycki (EA), wschodnioeuropejski (EE), środkowoeuropejski (CE) i śródziemnomorski (Śr). Autorka zauważyła, że typy wyznaczone na podstawie wysokości geopotencjału powierzchni izobarycznej 500 hPa oddziałują silniej na opady w Polsce niż typy cyrkulacji wydzielone na podstawie rozkładu ciśnienia na poziomie morza. W opracowaniu ustalono, że najsilniejszy wpływ na opady atmosferyczne na obszarze Polski ma typ środkowoeuropejski jesienią i typ skandynawski latem. Wibig (1999) wykazała szczególnie widoczne w sezonie zimowym (grudzień-marzec) zależności występowania opadów atmosferycznych w Europie od makrotypów cyrkulacji atmosferycznej (NAO, CE, EE i EA) na poziomie 500 hPa. Piotrowski (2009) przedstawił obiektywną metodę klasyfikacji cyrkulacji atmosferycznej dla Polski, która bazowała na typach cyrkulacji Osuchowskiej-Klein (1975). Następnie badał zależności między występowaniem wydzielonych typów cyrkulacji a opadami atmosferycznymi w Polsce. Zauważył, że na rozkład sumy opadów mają wpływ układy niżowe i odległość ich centrów od badanych stacji. W środkowej Polsce najwyższe sumy opadów występowały podczas cyrkulacji cyklonalnej z napływem powietrza z sektora południowego. Mrugała (2000, 2001) dokonał analizy opadów anomalnych nad obszarem Polski w powiązaniu z typami cyrkulacji na podstawie klasyfikacji Osuchowskiej-Klein (1975, 1978, 1991, 1998). Autor zauważył, że w miesiącach o dodatniej anomalii opadowej często występuje cyrkulacja o charakterze cyklonalnym z jej największą częstością w październiku i grudniu, natomiast z najniższą w maju, czerwcu i sierpniu. Autor tę prawidłowość tłumaczył większą frekwencją opadów konwekcyjnych w sezonie letnim. Niedźwiedź (1981) wydzielił 20 typów sytuacji synoptycznych dla dorzecza górnej Wisły. Najważniejszymi kryteriami, które pozwoliło mu wyróżnić typy był kierunek adwekcji mas powietrza oraz charakter panującego układu barycznego. Niedźwiedź zaobserwował, że w poszczególnych sezonach najwyższe sumy opadów najczęściej występują podczas typów cyrkulacji: zimą - N+NE_c (północny i północno-wschodni cyklonalny), W+NW_c (zachodni i północno-zachodni cyklonalny), SE_c (południowo-wschodni cyklonalny) oraz C_c (sytuacja centralna cyklonalna) +B_c (bruzda cyklonalna), wiosną - N+NE_c (północny i północno-wschodni cyklonalny), C_c+B_c (sytuacja centralna cyklonalna i bruzda cyklonalna), latem - N+NE_c (północny i północno-wschodni cyklonalny) i S+SW_c (południowy i południowo-zachodni cyklonalny) oraz jesienią - C_c+B_c (sytuacja centralna cyklonalna i bruzda cyklonalna), N+NE_c (północny i północno-wschodni cyklonalny) i E+SE_c (wschodni i

południowo-wschodni cyklonalny). Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na intensywność opadów, które powodowały powódzie w Tatrach badali Niedźwiedź i in. (2015). Obszar badawczy objął Zakopane i Kasprowy Wierch. Autorzy opracowania zauważyli silną zależność intensywnych opadów od trzech typów cyrkulacji: Nc (północny cyklonalny), NEc (północno-wschodni cyklonalny), Bc (bruzda cyklonalna), które poruszały się po tzw. torze Vb van Bebbera znad Morza Śródziemnego. Problematykę i zagrożenia związane z jednym najbardziej opadotwórczych szlaków układów niżowych w Europie zgłębiali Degirmedzić i in. (2014). Autorzy dokonali analizy wpływu niżów wędrujących wzdłuż szlaku Vb van Bebbera na opady atmosferyczne na obszarze Polski. Najbardziej opadotwórczym fragmentem trajektorii na całym odcinku przemieszczania się układów cyklonalnych Vb okazała się środkowa część szlaku (wschodnie Węgry, zachodnia Rumunia i południowa Słowacja). W opracowaniu wskazano, że południowo-wschodnia część Polski jest najbardziej narażona na wysokie sumy opadów. Analizę wieloletniej zmienności sum opadów dobowych Krakowa w odniesieniu do sytuacji synoptycznych przeprowadził Twardosz (2000). W opracowaniu bazowano na kalendarzu sytuacji synoptycznych dla dorzecza górnej Wisły Niedźwiedzia z okresu 1874-1995 (1981). Twardosz doszedł do wniosku, że 46,1% opadów w Krakowie ma miejsce podczas adwekcji powietrza z zachodu. Autor opracowania również stwierdził, że opadom w 63% towarzyszą układy cyklonalne, a w 35,5% układy antycyklonalne. Na podstawie typów cyrkulacji Osuchowskiej-Klein i ekstremalnych opadów w Łodzi z okresu 1931-1995 Wibig i Fortuniak (1998) doszli do wniosku, że silniejszy wpływ na opady atmosferyczne ma charakter cyrkulacji, niż kierunek adwekcji mas powietrza. Według autorów opracowania najwyższe sumy dobowe opadów atmosferycznych, powyżej 10 mm, występują najczęściej podczas cyrkulacji północnej bądź północno-wschodniej cyklonalnej. Opady w Łodzi w okresie 1931-1995 były przedmiotem badań Wibig (1998). Autorka ustaliła średnią sumę roczną opadów atmosferycznych na poziomie 560,2 mm, najwyższą średnią miesięczną 83,8 mm w lipcu, a najniższą w lutym 29,3 mm. Pokazała, że sumy miesięczne opadów są silnie zależne od charakteru cyrkulacji (cyklonalna, antycyklonalna), natomiast adwekcja mas powietrza ze wschodu i z zachodu ma dużą mniejszą wagę w korelacji z opadami. Bernaś i Kolendowicz (2013) zbadali wpływ cyrkulacji atmosferycznej na ekstremalne opady w Poznaniu w latach 1920-2010. Typy cyrkulacji zostały ustalone na podstawie danych z "Katalogu der Großwetterlagen Europas (Hess Brezowsky 1977) z okresu 1920-2000. Autorzy ustalili, że ekstremalne sumy opadu występują głównie podczas dwóch sytuacji barycznych. Podczas pierwszej centrum układu niskiego ciśnienia występuje na północy Europy, a podczas drugiej nad środkową Europą

stacjonuje niż z sąsiadującymi ze wschodu i zachodu układami wysokiego ciśnienia. jest to tzw. sytuacja z układami blokadowymi. Siwek (2010) analizował ekstremalne sumy dobowe opadów atmosferycznych ≥ 100 mm w okresie 1951-2000 na Lubelszczyźnie i ich związek z cyrkulacją atmosferyczną. Autor odnotował 11 przypadków ekstremów w okresie od czerwca do września, za które był odpowiedzialny układ niskiego ciśnienia z centrum na południe lub południowy-wschód od Polski. Twardosz i Cebulka (2014) przeprowadzili analizę anomalii wysokich miesięcznych opadów atmosferycznych w polskich Karpatach w okresie (1881-2010). Z 130-letniego okresu wyłoniono ponad 200 przypadków z anomalną miesięczną sumą opadów. Zauważono, że wysokie opady najczęściej pojawiały się na pojedynczej stacji (rzadziej 2 sąsiednich spośród 16). W wyniku tego autorzy doszli do wniosku, że za wysokie opady są odpowiedzialne oprócz czynników cyrkulacyjnych również czynniki lokalne. Ekstremalne opady w centralno-wschodnich Niemczech oraz w południowej Polsce, w latach 1951-2006 były tematem badań Łupikasz i in. (2011). Autorzy odnotowali trendy wzrostowe opadów ekstremalnych we wszystkich sezonach w centralno-wschodnich Niemczech, natomiast w południowej Polsce trendy były odwrotne. Trendy istotnie statystycznie wystąpiły na obu obszarach badań tylko jesienią.

Najwyższe sumy opadów atmosferycznych związane z wiatrem przypowierzchniowym na polskim wybrzeżu Bałtyku były tematem pracy Świątek (2014). Autorka wykazała, że wiatr o kierunku zachodnim i północnym miał największy wpływ na najwyższe sumy dobowe opadów atmosferycznych na wybrzeżu. Artykuł wyeksponował wpływ przeważających wiatrów deszczonośnych oraz sąsiedztwa Bałtyku na wielkość opadów atmosferycznych na wybrzeżu. Opady atmosferyczne związane z frontami atmosferycznymi nad polskim Bałtykiem były przedmiotem badań tej samej autorki (Świątek, 2009). Analiza danych wykazała, że najwyższe średnie sumy opadów atmosferycznych na wybrzeżu formują się w obrębie frontów zokludowanych, natomiast najwyższe maksymalne opady występują podczas frontów chłodnych. W Polsce 2/3 ekstremalnych opadów atmosferycznych ma związek z frontami atmosferycznymi (Łupikasz 2010).

Związek rzeźby terenu z opadami atmosferycznymi był obiektem badań Bokwy i Skowery (2009). Autorki przeprowadziły analizę opadów z okresu 1971-2005. Dane zostały zaczerpnięte z trzech stacji położonych na obszarze aglomeracji krakowskiej (Garlica-Murowana) - teren rolniczy położony w południowej części Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej 270 m n.p.m, Kraków-Ogród Botaniczny - (dolina Wisły) centrum miasta 206 m n.p.m., Gaik-Brzezowa – (Pogórze Wielickie, teren rolniczy 302 m n.p.m.) różniące się wysokością n. p. m. oraz strukturą zabudowy. Autorki odnotowały znaczne zróżnicowanie

średnich rocznych sum opadu na wybranych stacjach, w Garlicy było to 594,1 mm, w Ogrodzie Botanicznym 659,3 mm a w Gaiku Brzezowej 747,5 mm.

Czynnikiem istotnie wpływającym na wielkość opadu atmosferycznego w skali lokalnej jest stopień urbanizacji. Opady atmosferyczne w mieście mogą być modyfikowane poprzez większe stężenie jąder kondensacji, silniejszą konwekcję, wyższą prężność pary wodnej, przegrzanie powierzchni czynnej, a także wzrost szorstkości podłoża, która może wywołać konwekcję dynamiczną (Fortuniak 2003). Analizą rozkładu pola opadu w Warszawie zajmowała się Bogucka (1998). Badania objęły okres 50-ciu lat (1946-1995). Autorka wykazała tendencję do wyższych opadów na peryferiach i niższych sum opadów w centrum miasta. Maksima opadowe zostały zaobserwowane po stronie dowietrznej, natomiast cień opadowy w centrum i po stronie zawietrznej obszaru zurbanizowanego. Wyniki były zgodne z tymi uzyskanymi przez Lorenc (1976, 1978, 1981, 1991). Twardosz (1996) zauważył, że w Krakowie wysokość opadów atmosferycznych ma związek z zanieczyszczeniem powietrza. Zanieczyszczone powietrze zawiera dużą ilość tzw. "jąder kondensacji", które są jednym z niezbędnych elementów do powstania opadu atmosferycznego. Całkowite nasycenie parą wodną, spadek temperatury poniżej punktu rosy, ale również wspomniana wyżej obecność jąder kondensacji są nieodłącznymi czynnikami, które wywołują opad. Jądra kondensacji są aerozolami, na których osadza się skroplona para wodna w postaci kropelek wody lub w procesie resublimacji kryształki lodu. Masa powietrza musi zawierać jądra kondensacji, aby opad atmosferyczny mógł wystąpić. W powietrzu całkowicie nasyconym opad nie powstanie, jeśli nie będzie ono zawierać jąder kondensacji (Tamulewicz 1997, 2001). Łupikasz (1998) dokonała analizy wielkości opadów letnich w okresie 1966-1996 na stacjach w Katowicach i Aleksandrowicach (przedpole Beskidu Śląskiego). Autorka stwierdziła, że oprócz cyrkulacji atmosferycznej, istotny wpływ na wielkość opadu wywierała rzeźba terenu. W przypadku Aleksandrowic tzw. efekt orograficzny, natomiast w przypadku Katowic wysokie opady dobowe potęgowane były przez zwiększone zanieczyszczenie powietrza (większa liczba jąder kondensacji). W literaturze zagranicznej poświęcono sporo uwagi ocenie wpływu miasta na wielkość opadu atmosferycznego. W Stanach Zjednoczonych opady atmosferyczne nad obszarem St. Louis były tematem badań m. in: Changnon'a i in. (1976, 1986), Van Den Heever'a i in. (2007). Autorzy zaobserwowali znaczący wzrost opadów w okresie letnim po stronie wschodniej miasta oraz częstsze występowanie ekstremalnych opadów dobowych powyżej 25 mm z towarzyszącymi im burzami i opadami gradu w stosunku do terenów otwartych otaczających aglomerację St. Louis. Opady atmosferyczne na obszarze Chicago były przedmiotem

zainteresowania Changnon'a (1980), który odnotował ich wzrost o 15% w centrum miasta. Rozkład przestrzenny opadów atmosferycznych w największych miastach w południowo-wschodnich Stanach Zjednoczonych: Atlanta (Georgia), Montgomery (Alabama), Nashville (Tennessee), San Antonio, Waco, Dallas (Texas) był przedmiotem zainteresowań Shepherd'a i in (2002). Wykazano, że średnia suma miesięczna opadów atmosferycznych jest wyższa o 28% po stronie zawietrznej miasta (w promieniu 30 - 60 km od metropolii), a w centrum o około 5,6% w stosunku do strony dowietrznej miasta. W Detroit, Sanderson i Gorski (1978) stwierdzili wzrost opadów po stronie zawietrznej miasta, ale tylko w sezonie letnim. Burian i Shepherd (2005) przeprowadzili badania pola opadu w Houston. Ich analiza dotyczyła lat 1940-1999. Autorzy opracowania, podczas porównania dwóch okresów badawczych (1940-1958 i 1984-1999), zaobserwowali średni wzrost opadów atmosferycznych na obszarze miasta o 25%, który postępował wraz z jego rozwojem przestrzennym. W strefie zurbanizowanej Tokio, Yonetani (1982) analizował rozkład przestrzenny opadów w sierpniu w okresie 1954-1976. Autor wyraźnie zauważył większą liczbę dni z wysokim opadem w strefie zurbanizowanej miasta, niż na jego przedmieściach. Dou i in. (2015) wykazali wpływ wysokiej zabudowy w centrum Pekinu i miejskiej wyspy ciepła na trasy przemieszczania się pola opadów burzowych. Autorzy opracowania wykazali, że podczas niedużej UHI ("urban heat island" - miejska wyspa ciepła) ($<1,25^{\circ}\text{C}$) układy burzowe nadchodzące nad Pekin "rozwidłały się" w pobliżu jego centrum, omijając chińskie "drapacze chmur". W przypadku niedużych kontrastów temperatury powietrza pomiędzy Pekinem a terenami do niego przyległymi - najniższe opady występowały w centrum oraz bezpośrednio po stronie zawietrznej miasta. Natomiast podczas występowania silnej UHI ($>1,25^{\circ}\text{C}$), w przypadku przejścia komórek burzowych, dochodziło do pojawiania się najwyższych sum opadów w najbardziej zurbanizowanych obszarach miasta. Opady na obszarze Pekinu były również analizowane przez Miao i in. (2011), którzy zaobserwowali wpływ tzw. "kanionów miejskich" na częstsze opady pochodzenia konwekcyjnego. Lin i in. (2011) przeprowadzili badania na temat związku miejskiej wyspy ciepła z polem opadów w północnym Tajwanie 17 lipca 2006 roku. Wykazali, że struktura miejska Tajpej wygenerowała suchą i gorącą "wyspę ciepła" nad miastem, która blokowała bryzę morską transportującą duże ilości pary wodnej nad obszary górskie. W wyniku tego czynnika tworzenie się układów burzowych nad miastem ulegało pewnemu opóźnieniu.

Opady atmosferyczne były już przedmiotem analizy wielu naukowców. Celem tego opracowania jest charakterystyka opadów atmosferycznych na tle cyrkulacji atmosferycznej w województwie łódzkim oraz analiza incydentów opadowych w skali lokalnej w oparciu o

sieć punktów pomiarowych na obszarze aglomeracji łódzkiej. Poprzednie analizy opadów na tym obszarze będą poszerzone i zaktualizowane o dane opadowe z początku XXI wieku. Główne cele prezentowanej rozprawy doktorskiej zostaną osiągnięte poprzez realizację następujących celów szczegółowych:

- analizę czasowo-przestrzenną opadów atmosferycznych w województwie łódzkim oraz ocenę wpływu cyrkulacji atmosferycznej na ich występowanie
- analizę przebiegu zmian intensywności opadu atmosferycznego w czasie jego trwania na terenie aglomeracji łódzkiej
- określenie najbardziej deszczonośnych kierunków adwekcji mas powietrza w skali lokalnej-
wydzielenie obszarów zagrożonych wysokimi opadami atmosferycznymi na terenie województwa łódzkiego oraz aglomeracji łódzkiej

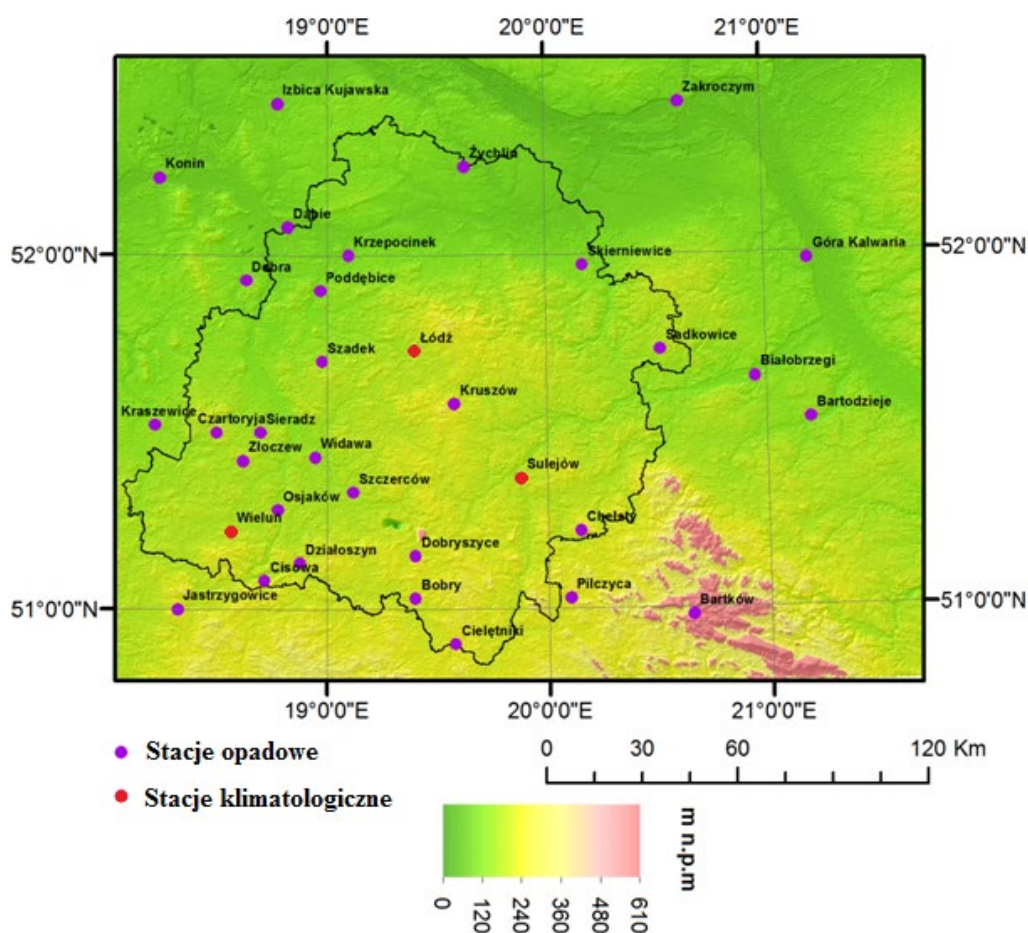
Praca uzupełni dotychczasową wiedzę na temat zmienności opadów atmosferycznych o zdarzenia z początku XXI wieku. Wykorzystane będą dłuższe serie pomiarowe z środkowej Polski oraz krótkie serie pomiarowe z aglomeracji łódzkiej i jej najbliższych okolic charakteryzujące się dużą rozdzielczością czasową (5 minut). Zbadanie przebiegu incydentów opadowych na obszarze aglomeracji łódzkiej jest próbą ukazania specyfiki obszaru zurbanizowanego, który może mieć bezpośredni wpływ na wielkość opadu atmosferycznego.

W pierwszej części pracy, w rozdziałach 3-5 przedstawiono klimatologiczną charakterystykę opadów atmosferycznych na obszarze województwa łódzkiego w latach 1961-2015. Do tego celu wykorzystano dane z 22 stacji meteorologicznych IMGW - PIB (rys. 1). W drugiej części opracowania, w rozdziale 6.1 podjęto próbę analizy opadów atmosferycznych w skali lokalnej podczas wybranych incydentów opadowych w ciepłym półroczu (IV-IX) z lat 2014-2016 na terenie aglomeracji łódzkiej na podstawie danych z 7 punktów pomiarowych (rys. 3). Tematem rozdziału 6.2 jest ocena wpływu najbardziej deszczonośnych kierunków adwekcji mas powietrza na wielkość opadu atmosferycznego z 10 punktów pomiarowych położonych na obszarze miasta w chłodnym (X-III) i ciepłym półroczu (IV-IX), w okresie 2011-2016 (rys. 4). Dane opadowe z obszaru aglomeracji łódzkiej pochodziły częściowo z punktów pomiarowych należących do Łódzkiej Spółki Infrastrukturalnej oraz częściowo z projektu badawczego Katedry Meteorologii i Klimatologii UŁ.

2. Dane i metody opracowania

2.1. Metody i dane zastosowane do analizy opadów atmosferycznych na obszarze województwa łódzkiego

O reżimie opadowym każdego miejsca decyduje szereg uwarunkowań środowiskowych, do najważniejszych zaliczają się: położenie geograficzne, odległość od mórz i oceanów, ukształtowanie powierzchni, wyniesienie obszaru nad poziom morza, a także pokrycie i użytkowanie terenu (Kotowski i in. 2010). Województwo łódzkie należy do Pasa Nizin Środkowopolskich (Kondracki 2002), pomimo tego rzeźba terenu jest dość urozmaicona. Deniwelacja terenu osiąga blisko 200 m. Najniżej położone są północne krańce województwa - ok. 99 m n.p.m., (północna część województwa - okolice Żychlina), a najwyższej ok. 280 m n.p.m. (płn-wsch. część Łodzi) - centralna część województwa łódzkiego (rys. 1).



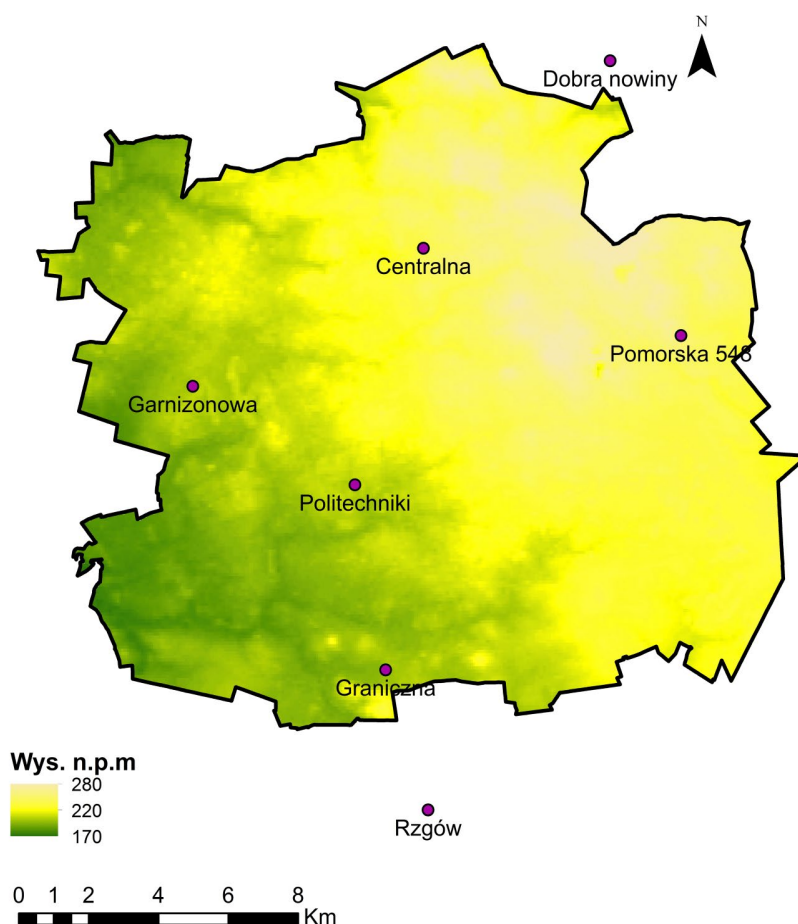
Rys. 1. Lokalizacja punktów pomiarowych na obszarze województwa łódzkiego i terenach sąsiednich
Fig. 1. Location of measurement points in the Łódź Voivodeship and neighbouring areas

Analizę opadów atmosferycznych na obszarze województwa łódzkiego wykonano wykorzystując głównie sumy dobowe opadów atmosferycznych ze stacji opadowych, klimatologicznych oraz synoptycznych IMGW- PIB (rys. 1), które pozyskano ze strony internetowej [1]. Nawias kwadratowy z cyfrą w opracowaniu oznacza odwołanie do strony internetowej, której adres umieszczono na końcu, w spisie publikacji. Baza danych, wykorzystana w pracy, obejmuje sumy dobowe opadów atmosferycznych z okresu 1961-2015 z 22 miejscowości, z terenu województwa łódzkiego: Bobry (Bob), Chelsty (Che), Dobryszyc (Dob), Kruszów (Kru), Krzepocinek (Krz), Osjaków (Osj), Sadkowice (Sad), Szadek (Sza), Widawa (Wid), Złoczew (Zło), Skierniewice (Ski), Sieradz (Sie), Poddębice (Pod), Szczerców (Szc), Żychlin (Życ), Sulejów (Sul), Łódź (Łód), Wieluń (Wie), Czarzoryja (Cza), Cielętniki (Cie), Cisowa (Cis) i Działoszyn (Dzi) (rys. 1). Pozostałych 12 punktów pomiarowych zlokalizowanych jest poza województwem łódzkim (Dobra, Dąbie, Konin, Izbica Kujawska, Zakroczym, Góra Kalwaria, Białobrzegi, Bartodzieje, Pilezyca, Bartków, Jastrzygowice i Kraszewice). Ich uwzględnienie w analizie wynikało z konieczności uzyskania dokładniejszej interpolacji (rys. 1).

Dane opadowe posłużyły również do analizy opadów w mniejszej skali przestrzennej. W tym celu wykorzystano pomiary z punktów pomiarowych zlokalizowanych na obszarze aglomeracji łódzkiej oraz jej okolic. Dane te pochodzą z dwóch źródeł. Pierwszym są punkty pomiarowe należące do Łódzkiej Spółki Infrastrukturalnej (ŁSI): Garnizonowa (Gar), Krzemieniecka (Krze), Politechniki (Pol), Traktorowa (Tra), Centralna (Cen), Pomorska 246 (Pom246), Pomorska 548 (Pom548), Sanitariuszek (San), Zygmunta (Zyg) (rys. 2 i 4). Dane opadowe wykorzystywane są przez ŁSI do monitorowania zagrożenia podtopieniami na obszarze Łodzi. Oprócz nich wykorzystano również dane pochodzące z sieci pomiarowej zorganizowanej przez Katedrę Meteorologii i Klimatologii Uniwersytetu Łódzkiego - Dobra Nowiny (DbN) i Rzgów (Rzg) (rys. 2).

W celu dokonania szczegółowej charakterystyki warunków opadowych w różnych skalach przestrzenno-czasowych wykorzystano takie statystyki jak: suma roczna, sumy sezonowe, odchylenie standardowe średnich sezonowych sum opadów atmosferycznych, absolutne maksima sum dobowych opadów atmosferycznych w poszczególnych porach roku, udział procentowy dni z opadem, wartości współczynników trendu sum sezonowych i 95-ty percentyl sum sezonowych. Ujęcie graficzne przestrzennej zmienności warunków opadowych zostało opracowane w oparciu o interpolację metodą tzw. naturalnego sąsiedztwa "natural neighbour". Interpolacja została przeprowadzona w programie ArcGIS 10.2 "Interpolacja przestrzenna, to procedura szacowania wartości cechy w nieoprobowanych punktach na

obszarze objętym istniejącymi pomiarami” (za Ogryzkiem 2018). Metoda naturalnego sąsiedztwa jest jedną z metod, która wykorzystuje nieregularne rozmieszczenie danych. Wadą tej metody jest brak możliwości ekstrapolowania danych poza granice obszaru ich występowania, co zawęża obszar mapy (Goldsztein i Skrzypek 2004). Metoda ta uwzględnia tylko powierzchnię między skrajnymi punktami pomiarowymi (Dąbrowska i in. 2015). Aby poradzić sobie z tym problemem do interpolacji wykorzystano także dane z punktów pomiarowych zlokalizowanych w bliskim sąsiedztwie obszaru badań. Przy wyborze "metody naturalnego sąsiedztwa" (natural neighbour) kierowano się przejrzystością i realizmnością powstałych map. Metoda naturalnego sąsiedztwa została opracowana przez Sibsona (1980, 1981).



Rys. 2. Lokalizacja punktów pomiarowych wykorzystanych do analizy zmian intensywności incydentów opadowych w ciepłym półroczu lat 2014-2016 na obszarze aglomeracji łódzkiej oraz w jej okolicach

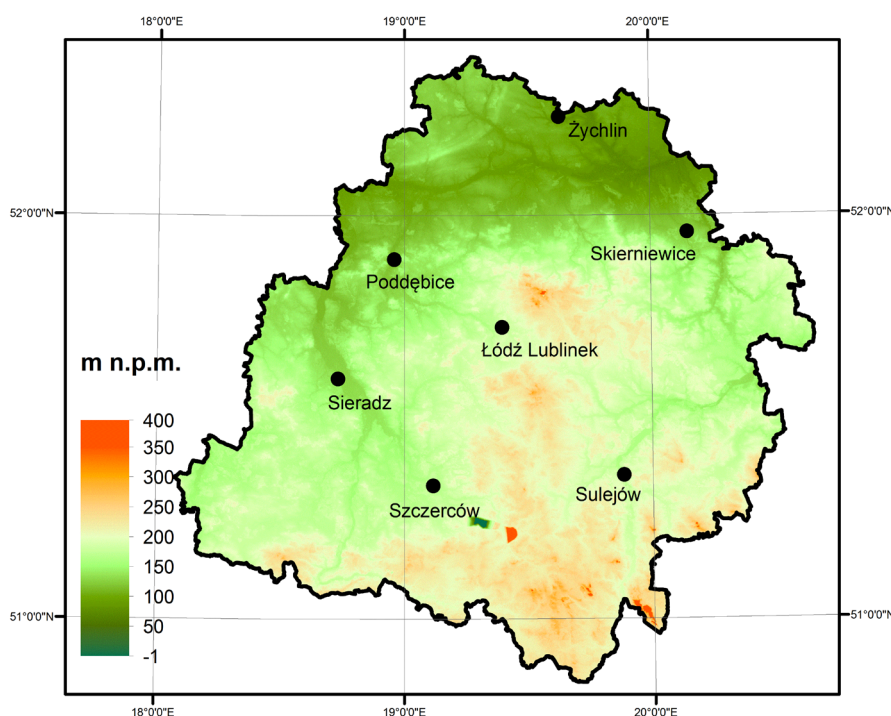
Fig. 2. Location of measurement points used to analyze changes in the intensity of precipitation incidents in the warm half-year of 2014-2016 in the area of the Łódź agglomeration and its vicinity

Do oceny warunków opadowych, niebezpiecznych z punktu widzenia lokalnych podtopień, wykorzystano wskaźnik zwany warstwą opadu. Dane do obliczenia

warstw opadów podczas wybranych incydentów opadowych na obszarze aglomeracji łódzkiej pochodzą z siedmiu deszczomierzy, które w sposób automatyczny rejestrują opad atmosferyczny z częstotliwością co 5 min. Pięć spośród siedmiu posterunków opadowych znajduje się na terenie Łodzi: Garnizonowa (Gar), Graniczna (Gra), Politechniki (Pol), Centralna (Cen), Pomorska (Pom). Pozostałe dwa są zlokalizowane poza granicami administracyjnymi Łodzi: są to punkty pomiarowe w Rzgowie (Rzg) oraz w Dobra Nowiny (DbN) (rys. 2). W opracowaniu wykorzystano tylko dane z półroczu ciepłego (od kwietnia do września). Rozkłady skumulowanych warstw opadów obliczono według metody zaproponowanej przez Barszcza (2012). Procedura obliczeniowa tego wskaźnika polega na obliczeniu w pierwszej kolejności sum 5-cio minutowych, które są następnie dodawane w kolejnych przedziałach co 5 minut i dzielone przez całkowitą sumę opadu podczas zdarzenia opadowego. Aby uzyskać skumulowany czas postępowano analogicznie jak z sumami opadów. Czas sumowany był co 5 minut, a następnie dzielony przez całkowity czas trwania zdarzenia opadowego. Bezwymiarowe skumulowane wartości zostały zamienione na wartości procentowe. Wyznaczone skumulowane wartości warstwy opadu w odniesieniu do całkowitego czasu jego trwania przedstawiono według podziału na jednostki co 5% (od 0% do 100%) czasu trwania opadu. Kolejnym etapem było obliczenie tzw. znormalizowanych rozkładów warstw opadów dla każdej stacji osobno za pomocą mediany. Inaczej mówiąc normalizacja wyników polegała na zestawieniu wszystkich zdarzeń i uzyskaniu mediany opadów dla danej stacji w poszczególnych krokach czasowych. Czyli dla przykładu, brano pod uwagę wszystkie wartości procentowe warstwy opadu z krokiem czasowym co 5% dla wszystkich zdarzeń opadowych dla danej stacji i obliczano na podstawie tego medianę. Następnie postępowano tak samo dla kroku 10%, 15% itd., tworząc jeden pełny przebieg znormalizowanego rozkładu warstwy opadu w czasie. Ostatnim etapem było wyznaczenie jednego tzw. syntetycznego znormalizowanego rozkładu warstw opadu na podstawie wszystkich 184 zdarzeń opadowych na podstawie mediany ze wszystkich ujętych stacji. Do analizy wytypowano 30 przypadków, co dla wszystkich stacji licząc osobno dało łącznie 184 incydenty opadowe (tab. 1). Minimalną wysokość opadu braną podczas selekcji incydentów opadowych ustalono na 1 mm. Odrzucane były te incydenty opadowe, podczas których przerwa pomiędzy opadem w danym zdarzeniu opadowym przekraczała 1 godzinę. Jeśli przerwa pomiędzy opadem wyniosła powyżej 1 godziny, wówczas klasyfikowano tą sytuację jako dwa osobne incydenty opadowe.

Aby zbadać przebieg zmian intensywności opadów atmosferycznych ze względu na charakter ich powstania, wykorzystano dane z lotniskowych depeš obserwacji

meteorologicznych tzw. METAR-ów (Meteorological Aerodrome Report) ze stacji Łódź-Lublinek oraz dokonano przeglądu map synoptycznych IMGW-PIB ze strony internetowej [2], w celu określenia sytuacji synoptycznej oraz rodzaju frontu atmosferycznego. Opady rozróżniono w oparciu o ich genezę i ze względu na rodzaj chmur, z których powstały. Ze względu na genezę opadów atmosferycznych wydzielono opady z chmur warstwowych oraz chmury Cumulonimbus. Jest to nieco uproszczony podział ze względu na dostępność danych. Opady z chmur warstwowych występują zazwyczaj podczas przechodzenia frontu ciepłego oraz okluzji dając długotrwałe opady deszczu o charakterze rozlewnym. Zalicza się do nich również opady z chmury Stratocumulus. Opady z chmury Cumulonimbus przynoszą intensywne, aczkolwiek krótkotrwałe opady deszczu i najczęściej występują podczas przejścia frontu chłodnego, okluzji, podczas swobodnej konwekcji termicznej, jak i również wzdłuż linii zbieżności prądów powietrznych (konwekcji dynamicznej). Przy zaliczaniu opadów z tego rodzaju chmury do wydzielonej grupy opadów, brano również pod uwagę obecność wyładowań atmosferycznych.



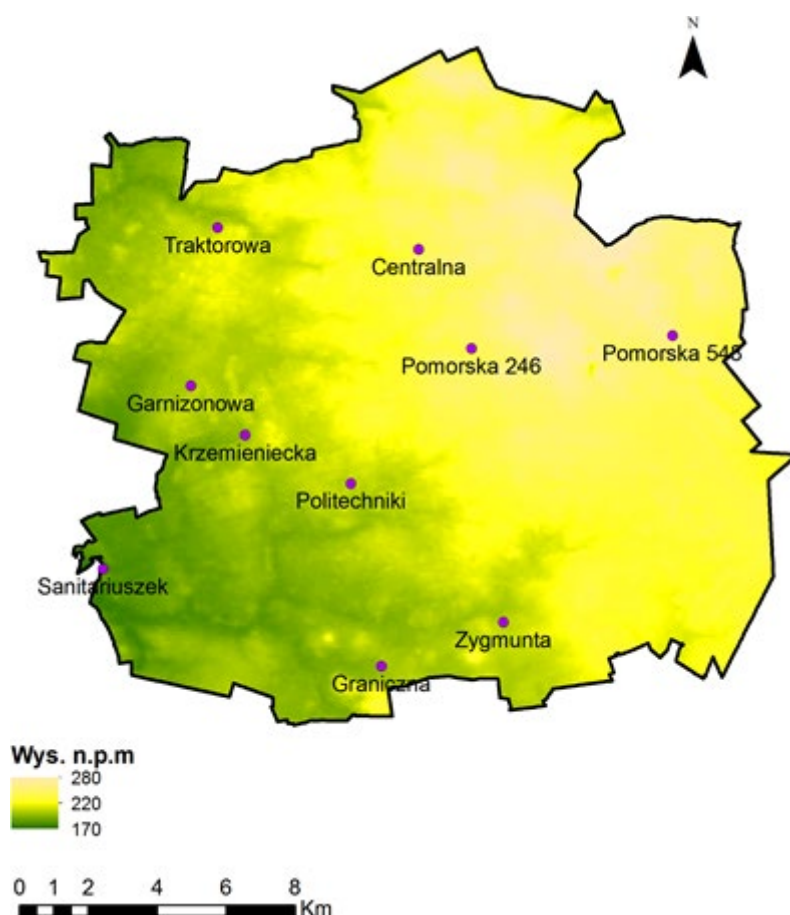
Rys. 3. Lokalizacja punktów pomiarowych na obszarze województwa łódzkiego wykorzystanych do analizy związku makroskalowych wskaźników cyrkulacji atmosferycznej z opadami (1961-2015)
 Fig. 3. The location of measurement points in the area of the Łódź Voivodeship used to analyze the relationship between macroscale atmospheric circulation indices and precipitation (1961-2015)

Do analizy rozkładu przestrzennego opadów atmosferycznych na obszarze Łodzi zastosowano dane pochodzące z deszczomierzy korytkowych automatycznie rejestrujących

opad z częstotliwością co 5 min. Wyniki są automatycznie przekazywane drogą internetową. Punkty pomiarowe na terenie miasta obejmują 10 wybranych posterunków opadowych przy ulicach: Centralna, Garnizonowa, Krzemienieckiego, Politechniki, Pomorska 246, Pomorska 548, Sanitariuszek, Zygmunta oraz Traktorowa (rys. 4). Aby uzyskać mapy rozkładu procentowego opadów atmosferycznych oraz 95-tego percentyla sum dobowych opadów atmosferycznych zastosowano metodę odwrotnej odległości w programie Surfer (Inverse Distance to a Power). W tej metodzie wpływ punktów pomiarowych na dokładność uzyskanych, interpolowanych wyników maleje wraz z odległością podniesioną do potęgi. Im większa wartość potęgi, tym mniejsza dokładność wraz odległością od punktów pomiarowych i w konsekwencji może wystąpić tzw. "efekt wolicz oczu" ("bull's eye") (Szubert 2003). "Efekt wolicz oczu" tzw. "bull's eye" polega na nierzeczywistym nagromadzeniu izolinii wokół ekstremalnych wartości, w wyniku tego mogą powstać mało prawdopodobne powierzchnie izolinii (Goldsztein i Skrzypek 2004). W celu zniwelowania powyższego mankamentu zastosowano wykładnik potęgi $=2$ i na niedużych przestrzeniach (obszar Łodzi w tym 10 punktów pomiarowych) uzyskano wizualnie poprawne mapy rozkładu udziału procentowego opadu atmosferycznego oraz 95-tego percentyla sum dobowych opadów atmosferycznych dla półrocza chłodnego i ciepłego.

Wykorzystano kalendarz cyrkulacji atmosferycznej opracowany przez Piotrowskiego (Jędruszkiewicz i Piotrowski 2012). Na tej podstawie wyznaczono najczęstsze kierunki adwekcji (NW, W i SW), podczas których obserwowano opady atmosferyczne. Sposób obliczenia kierunku adwekcji został omówiony w podrozdziale 2.2. Wybrane kierunki adwekcji zostały zastosowane w analizie 95-tego percentyla sum dobowych opadu atmosferycznego w ciepłym (kwiecień - wrzesień) i chłodnym półroczu (październik - marzec) oraz przedstawienia przebiegu udziału procentowego opadu atmosferycznego na obszarze Łodzi. Udział procentowy opadu atmosferycznego został obliczony na podstawie 30 incydentów opadowych. Selekcja objęła incydenty opadowe z półrocza ciepłego (od kwietnia do września) o sumie co najmniej 1 mm i czasie trwania opadu 60 min liczonym od momentu jego rozpoczęcia. W celu określenia rozkładu przestrzennego opadów atmosferycznych w czasie, dla każdego punktu pomiarowego obliczono udział procentowy sumy opadów na wszystkich stacjach podczas wyżej wymienionych kierunków adwekcji (NW, W i SW) dla 5 - minutowego kroku czasowego (rys. 46, 47, 48). Łącznie wyselekcjonowano 90 przypadków. Następnie suma opadu była uśredniana w każdym kroku czasowym i dla wybranego kierunku adwekcji. Wyniki z wszystkich punktów pomiarowych interpolowano metodą "Inverse Distance to The Power" (metodą odwrotnych odległości) w programie Surfer, dzięki czemu

otrzymano 13 map, które zobrazowały zmienność przestrzennego rozkładu opadu w czasie trwania opadu atmosferycznego na obszarze Łodzi podczas wybranych kierunków adwekcji i incydentów opadowych (rys. 46, 47, 48).



Rys. 4. Lokalizacja punktów pomiarowych na obszarze Łodzi wykorzystanych do analizy udziału procentowego opadów atmosferycznych oraz 95-tego percentyla sum dobowych opadu (2011-2016)
Fig. 4. The location of measurement points in the area of Łódź used to analyze the percentage share of atmospheric precipitation and the 95th percentile of daily total precipitation (2011-2016)

2.2. Metody i dane zastosowane do oceny warunków cyrkulacyjnych

Charakterystykę opadów atmosferycznych na tle cyrkulacji atmosferycznej przeprowadzono na podstawie kalendarza cyrkulacji atmosferycznej Piotrowskiego (Jędruszkiewicz i Piotrowski 2012). Kalendarz ten został opracowany w oparciu o automatyczną metodę klasyfikacji cyrkulacji atmosferycznej Jenkinsona i Collisona (1977). Wartości wysokości powierzchni izobarycznej 850 hPa z 32 symetrycznie rozmieszczonych punktów posłużyły do obliczenia wskaźników cyrkulacji atmosferycznej: kierunku wiatru geostroficznego i wirowości wiatru geostroficznego (z ang. shear vorticity). W oparciu o wymienione wskaźniki możliwe było określenie kierunku adwekcji i charakteru cyrkulacji

atmosferycznej, co z kolei pozwoliło na wyróżnienie 16 typów cyrkulacji atmosferycznej. Wymienione 32 punkty są rozmieszczone w ten sposób, iż środek siatki, którą tworzą punkty, jest centralnie ulokowany nad Łodzią (52.51N, 19.39E) (rys. 3). Wartości wysokości powierzchni izobarycznej 850 hPa pochodzą z bazy NCEP-NCAR Reanalysis1. (Kalnay i in., 1996).

Główny kierunek napływu mas powietrza wyznaczono jako kierunek wiatru geostroficznego określany na podstawie składowych wiatru geostroficznego:

$$\text{dir} = \arctan(W/S) \quad (2),$$

gdzie:

W - składowa strefowa wiatru geostroficznego,

S - składowa południkowa wiatru geostroficznego.

Wirowość wiatru geostroficznego określa charakter cyrkulacji atmosferycznej. Ujemne wartości wypadkowej wirowości wiatru geostroficznego świadczą o charakterze antycyklonalnym cyrkulacji atmosferycznej, a dodatnie o charakterze cyklonalnym (Piotrowski 2009). Wskaźnik ten określany jest wzorem:

$$V = VW + VS \quad (3),$$

gdzie:

VW - składowa strefowa wirowości ścięcia,

VS - składowa południkowa wirowości ścięcia.

W oparciu o składową strefową i południkową wiatru geostroficznego (wzór 2) można określić kierunek adwekcji, natomiast w oparciu o wirowość wiatru geostroficznego (wzór 3) - charakter cyrkulacji atmosferycznej (cyklonalnego lub antycyklonalnego). Połączenie tych dwóch wskaźników cyrkulacyjnych pozwoliło wyróżnić 16 typów cyrkulacji atmosferycznych: Nc (północny cyklonalny), NEc (północno-wschodni cyklonalny), Ec (wschodni cyklonalny), SEc (południowo-wschodni cyklonalny), Sc (południowy cyklonalny), SWc (południowo-zachodni cyklonalny), Wc (zachodni cyklonalny), NWc (północno-zachodni cyklonalny), Na (północny antycyklonalny), NEa (północno-wschodni antycyklonalny), Ea (wschodni antycyklonalny), SEa (południowo-wschodni antycyklonalny), Sa (południowy antycyklonalny), SWa (południowo-zachodni antycyklonalny), Wa (zachodni antycyklonalny), NWa (północno-zachodni antycyklonalny) (Jędruszkiewicz i Piotrowski 2012). Do analizy danych opadowych w skali województwa łódzkiego wykorzystano kalendarz dobowych typów cyrkulacji atmosferycznej. W przypadku analizy kierunku adwekcji nad obszarem aglomeracji łódzkiej wykorzystano tylko kierunek

wiatru geostroficznego wyznaczony dla 4 terminów w ciągu doby (00:00, 06:00, 12:00, 18:00). Dany kierunek z określonego terminu był ekstrapolowany na 3 godziny przed i po tym terminie. Do analizy związków makrotypów cyrkulacji z opadami atmosferycznymi na obszarze województwa łódzkiego wykorzystano odpowiednio indeksy: NAO (Oscylacja Północnoatlantycka), EA (Wschodnioatlantycka), EA/WR (Wschodnioatlantycka/Zachodniorosyjska), SCA (Skandynawska), POL (Polarna). Sumy miesięczne opadów atmosferycznych z okresu 1961-2015 zostały obliczone na podstawie sum dobowych w siedmiu punktach pomiarowych IMGW-PIB znajdujących się w granicach województwa łódzkiego: Żychlin, Poddębice, Skierniewice, Łódź-Lublinek, Sieradz, Szczerców oraz Sulejów (rys. 2). Do analizy korelacyjnej pomiędzy opadami atmosferycznymi a wybranymi wskaźnikami makroskalowymi wykorzystano średnie miesięczne wartości wskaźników makrocyrkulacyjnych pochodzących z bazy danych NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) CPC (Climate Prediction Center) zamieszczonych na stronie internetowej [3].

Na podstawie procedury RPCA (the Rotated Principal Component Analysis) opracowanej przez Barnston'a i Livezey'a (1987) określono wskaźniki makroskalowe [4]. Metoda ta bazuje na składowych głównych pola geopotencjału powierzchni izobarycznej 500 hPa. Dane zostały zaczerpnięte z bazy NMC (The National Meteorological Center). Obszarem bazowym była północna półkula szerokości geograficznej 20-80°N. Lata 1950-2000 były okresem bazowym do obliczenia współczynników równań poszczególnych indeksów. W pierwszym etapie znormalizowano miesięczne wartości geopotencjału za pomocą średniej i odchylenia standardowego wartości z trzech miesięcy w roku scentrowanych na danym miesiącu. Kolejno wyznaczono dziesięć niezrotowanych składowych głównych, następnie dokonano rotacji typu Varimax (Rotated Principal Component Analysis). Indeksy obliczono wykorzystując techniki najmniejszych kwadratów (Wibig 2019).

Oscylacja Północnoatlantycka związana jest z dwoma układami barycznymi na Atlantyku, Niżem Islandzkim oraz Wyżem Azorskim. Duży poziomy gradient ciśnienia pomiędzy Niżem Islandzkim, w którym średnie ciśnienie jest niższe od normy wieloletniej, a Wyżem Azorskim, w którym ciśnienie jest wyższe od średniej wieloletniej nazywany jest pozytywną fazą NAO. Podczas tej fazy, szczególnie w chłodnym półroczu, występuje napływ stosunkowo ciepłych i wilgotnych mas powietrza znad Atlantyku w rejon północnej Europy (Tomczyk 2015). W przypadku negatywnej fazy NAO, różnica ciśnienia pomiędzy Niżem Islandzkim a Wyżem Azorskim słabnie, następuje zanik cyrkulacji strefowej, która jest zastępowana przez przepływ południkowy. Podczas takiej sytuacji dochodzi do ocieplenia

(przy adwekcji powietrza z południa) lub ochłodzenia (przy adwekcji powietrza z północy), bądź sytuacji blokadowej (Wibig 2019). Indeks NAO jest liczony na kilka sposobów (Rogers 1984; Hurrell 1995; Hurrell i in. 2003; Jones i in. 1997; Barnston i Livezey 1987; Li i Wang 2003). Do jednej grupy można zaliczyć indeksy wykorzystujące ciśnienie na poziomie morza, które różnią się lokalizacją punktów pomiarowych oraz charakteryzują się innymi okresami bazowymi: Indeks Jonesa (1951-1980) - Reykjavik (stacja północna) i Gibraltar (stacja południowa), Indeks Rogersa (1874-1980) - Akureyri (stacja północna) i Ponta Delgada (stacja południowa), Stacyjny indeks Hurrella (1864-1983) - Stykkishölmur i Reykjaviku na Islandii oraz Lizbony lub Ponta Delgada. Do obliczenia indeksu Hurrella wykorzystano z kolei metodę składowych głównych pola ciśnienia na północnym Atlantyku 20-80°N i 90°W - 40°E. Indeks NAO opracowany przez Li oraz Wang (1958-2000) jest oparty na ciśnieniu na poziomie morza między równoleżnikami 35°N i 65°N oraz południkami 80°W i 30°E. Zbiór danych gridowych NCEP/NCAR został wykorzystany do obliczenia NAO, który wykorzystuje składowe główne pola geopotencjału powierzchni izobarycznej 500 hPa z obszaru 20-80° N (Wibig 2019). W literaturze naukowej do analizy różnorodnych powiązań przyczynowo-skutkowych najczęściej wykorzystywany jest wskaźnik NAO. Wibig (2000) przeprowadziła analizę wpływu NAO na temperaturę powietrza i opady atmosferyczne w Europie. Autorka odnotowała wraz ze wzrostem wartości indeksu NAO wzrost temperatury powietrza w północnej Europie, Azji i Ameryce Północnej z wyłączeniem obszaru arktycznego Kanady, odpowiednio w tym samym czasie w południowej Europie, północnej Afryce i na obszarze kanadyjskiej Arktyki zaobserwowano temperatury powietrza poniżej normy. Korelacja opadów atmosferycznych ze wskaźnikiem NAO wykazała, iż podczas pozytywnej fazy NAO opady powyżej normy występują w północnej Europie, z kolei w tym samym czasie w południowej części Starego Kontynentu zaobserwowano ich spadek. Bednorz (2009) badała wpływ NAO na wysokość pokrywy śnieżnej w Europie. Autorka zauważyła, że największa ujemna korelacja -0,7 i -0,8 została odnotowana odpowiednio w północno-wschodniej Polsce i północno-wschodnich Niemczech. Bednorz i Wibig (2008) stwierdziły, że wpływ NAO na wysokość pokrywy śnieżnej we wschodniej części Europy jest ograniczony do początku i końca zimy. Adamczyk (2007) analizował korelacje między wielkością zachmurzenia, a indeksem NAO na obszarze Polski, a Matuszko i in. (2002) badali te same współzależności dla Krakowa. Bryś i Bryś (2002) analizowali wpływ NAO na zmienność warunków wilgotnościowych, radiacyjnych dynamicznych i ewaporacyjnych we Wrocławiu-Swojcu.

Oscylacja Wschodnioatlantycka (EA) jest bardzo podobna do NAO. Te same ośrodki baryczne co w przypadku NAO są nieznacznie przesunięte w kierunku południowym w porównaniu do NAO. Pozytywna faza EA objawia się opadami atmosferycznymi powyżej normy w północnej Europie i ich deficytem w południowej części Starego Kontynentu [5].

Wskaźnikiem cyrkulacji atmosferycznej kształtującym w dużej mierze pogodę w Europie jest Cyrkulacja Skandynawska, która w pozytywnej fazie wyróżnia się silnie rozbudowanym układem wysokiego ciśnienia na Półwyspem Skandynawskim i drugim słabszym układem o przeciwnym znaku w południowo-zachodniej Europie (Wibig 2001). Pozytywna faza objawia się podwyższonymi opadami atmosferycznymi w środkowej i południowej części Europy i ich niedoborem nad Skandynawią [6].

Oscylacja Wschodnioatlantycka/Zachodniorosyjska (EA/WR) podczas fazy dodatniej charakteryzuje się układami niskiego ciśnienia rozbudowanymi nad północną częścią Morza Kaspijskiego i północnym Atlantykiem oraz ośrodkami wysokiego ciśnienia z centrami nad zachodnią Europą (w pobliżu Wysp Brytyjskich) oraz w północnych Chinach. W wyniku powyższej lokalizacji układów barycznych w centralnej Europie odnotowuje się niedobór opadów atmosferycznych, a we wschodnich Chinach ich nadmiar [7].

Podczas pozytywnej fazy cyrkulacji Polarnej (POL) stały układ wysokiego ciśnienia występujący nad Arktyką ulega osłabieniu, czego wynikiem jest wzmocnienie wiru polarnego, a podwyższone ciśnienie odnotowuje się nad obszarem centralnej Europy. Powyższa sytuacja sprzyja występowaniu opadów powyżej normy w północnej Skandynawii (Claud i in. 2007).

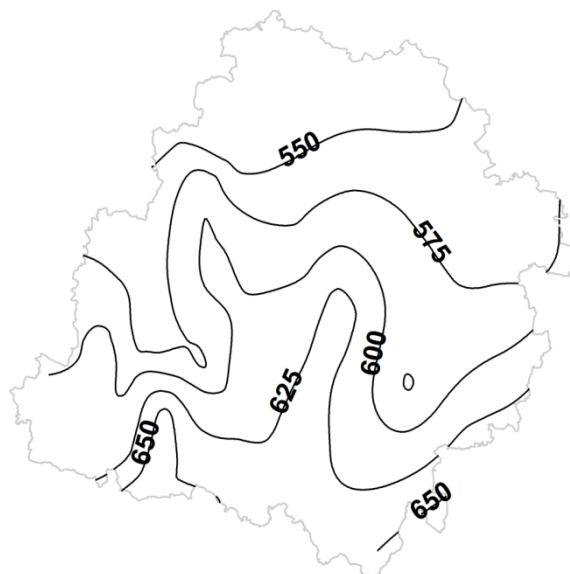
3. Analiza opadów atmosferycznych w województwie łódzkim

Na terenie województwa łódzkiego obserwuje się zróżnicowanie ilości wody opadowej, pomimo niedużej powierzchni obszaru badań (Kłysik 1993). Średnia suma roczna opadów atmosferycznych waha się od 550 mm w północnej części do 650 mm na południu (rys. 5). Podobny wynik uzyskała Podstawczyńska (2010), która stwierdziła, że najwyższe sumy roczne opadów atmosferycznych przekraczające 600 mm występują w południowej i południowo-wschodniej części województwa, zaś najniższe wartości opadu obserwuje się na północy i północnym-wschodzie. Z danych uzyskanych przez Wibig i Radziuna (2019) wynika, że średnia roczna suma opadów w okresie 1961-2015 wyniosła 582 mm z najwyższymi sumami w części południowej województwa łódzkiego i ich spadkiem w kierunku północnym. Najwyższe opady atmosferyczne cechują lato, dwukrotnie niższe sumy występują zimą, która jest porą o najniższej sumie opadów w roku. Kożuchowski i in. (1990), dokonując analizy średnich 30-letnich opadów rocznych, wykazali, że na większości obszaru środkowej Polski opad wynosi od 575 do 625 mm z najwyższą średnią 650 mm w Osjakowie, który jest położony w dolinie Warty. Romer (1949) obszar Polski Środkowej zaliczył do klimatu Wielkich Dolin, który cechuje się mało zróżnicowanymi zmianami parametrów meteorologicznych (za Podstawczyńską 2010). W okresie 1961-2015 średnia suma roczna opadów atmosferycznych w województwie łódzkim wyniosła 603,6 mm (tab. 1). Najwyższą średnią sumę roczną opadu, wynoszącą 672 mm, zaobserwowano w Cisowej, najniższa zaś 525,5 mm wystąpiła w Żychlinie. Warto również dodać, że wysokie średnie sumy roczne przekraczające 600 mm zaobserwowano w pozostałych punktach pomiarowych południowej części omawianego obszaru, mianowicie w Osjakowie (663,8 mm), Cielętnikach (643 mm), Działoszynie (640 mm), Szczercowie (637 mm), Dobryszycach (634,2 mm) i Bobrach (630,1 mm) (tab. 1). W 2010 r. wystąpiła najwyższa średnia obszarowa suma roczna opadów atmosferycznych w województwie łódzkim i wyniosła 844,2 mm (tab. 1), najniższa zaś jej wartość 430 mm została odnotowana w 2015 r. (tab. 1). W Osjakowie w 1981 r. odnotowano najwyższą wartość sumy rocznej opadów atmosferycznych 1006,5 mm, najniższy zaś opad roczny cechował punkt pomiarowy w Żychlinie z sumą 178,6 mm w 1992 r. (tab. 1). Najwyższa średnia suma miesięczna opadu, wynosząca 95,5 mm, wystąpiła w lipcu w Cisowej, wysoką sumą wyróżniły się również Działoszyn 93,3 mm oraz Osjaków 90,3 mm. Różnica pomiędzy najwyższą średnią miesięczną, a najniższą wyniosła 71,5 mm. Najniższa średnia miesięczna suma opadu (24,0 mm) wystąpiła w lutym w Sulejowie, niskie wartości odnotowano także w Żychlinie 25,0 mm i w Krzepocinku 25,3 mm (tab. 2).

Tab. 1. Sumy roczne oraz średnia suma roczna opadów atmosferycznych [mm] na wybranych punktach pomiarowych w województwie łódzkim w okresie 1961-2015

Tab. 1. Annual total and average annual precipitation [mm] at selected measurement points in the Łódź Voivodeship in the period 1961-2015

Rok	Bobry	Chelsty	Dobroszyce	Kruszów	Krzepocinek	Osjaków	Sadkowiec	Szadek	Widawa	Złoczew	Skiermiewice	Sieradz	Podgłębice	Szczerców	Żychlin	Sulejów	Łódź	Wielun	Czartoryja	Cieletniki	Cisowa	Działoszyn	Średnia
1961	680,5	581,0	648,7	649,8	705,2	628,4	599,3	625,8	573,6	616,1	543,7	603,4	544,3	686,7	710,6	491,6	603,7	601,8	617,7	621,3	638,4	597,2	616,8
1962	643,1	725,5	645,0	652,5	608,3	565,8	640,8	591,3	617,7	597,5	600,2	522,0	508,8	759,1	589,8	657,5	674,5	620,7	626,9	741,3	627,6	650,9	630,3
1963	461,1	572,4	485,5	521,3	516,7	582,7	479,9	522,4	555,3	537,2	519,1	498,9	487,3	541,9	430,7	504,3	469,1	618,9	555,9	521,8	535,2	547,4	521,1
1964	568,6	627,3	667,3	539,5	491,0	610,7	527,7	484,3	396,5	548,7	510,5	437,2	415,4	571,7	479,6	524,4	523,7	513,3	580,4	617,8	538,5	563,1	533,3
1965	592,7	691,7	539,2	652,5	624,3	524,6	520,1	552,4	512,6	631,1	530,8	509,6	554,8	606,4	626,6	636,8	548,3	604,3	660,7	632,8	573,6	616,2	588,3
1966	743,2	830,3	770,5	765,5	733,8	713,8	774,3	785,5	635,8	733,9	774,5	659,5	739,8	780,5	680,3	791,8	807,1	547,5	664,8	884,6	781,9	797,7	744,4
1967	611,0	670,8	682,8	689,0	701,0	712,7	645,4	716,8	531,8	593,7	723,9	627,9	662,9	726,2	735,5	669,4	730,9	752,3	653,2	621,3	716,3	731,3	677,6
1968	605,3	696,5	617,2	588,8	546,2	656,2	470,7	555,0	590,5	564,5	500,9	541,8	559,4	660,4	462,9	530,3	557,6	745,9	677,9	677,8	656,7	689,2	596,9
1969	503,2	508,8	564,6	423,2	465,3	550,8	383,4	485,4	462,0	448,1	457,8	501,3	473,5	-	447,5	447,2	426,9	690,6	522,3	440,1	520,5	534,9	488,4
1970	656,7	897,2	797,6	773,1	696,5	851,4	747,3	848,2	602,6	673,5	766,3	759,5	707,8	706,0	876,0	725,5	632,1	559,3	751,8	830,3	753,6	781,6	745,2
1971	597,0	539,6	663,5	654,9	465,1	672,1	460,0	620,2	522,1	573,4	601,6	666,3	647,7	-	587,6	520,4	553,6	731,0	714,7	622,1	703,1	780,7	614,1
1972	584,4	813,9	671,7	644,8	531,8	538,5	712,5	518,3	380,4	508,3	602,5	529,4	562,3	515,0	591,6	687,3	571,7	690,8	547,1	616	614,8	546,2	589,1
1973	529,3	581,1	640,0	579,9	559,3	910,5	519,0	576,6	451,2	638,6	483,1	551,9	571,6	578,0	540,1	446,4	602,4	627,7	637,7	630,1	559,2	635,4	584,1
1974	774,9	964,4	927,5	818,4	564,5	964,5	767,8	763,4	906,3	850,9	750,1	730,6	721,7	788,6	627,7	724,3	748,5	582,1	730,6	846,6	845,2	888,7	785,8
1975	512,0	603,9	679,7	659,1	456,5	593,9	439,3	526,8	608,4	588,5	588,8	488,9	553,5	541,0	382,3	502,1	554,7	925,5	470,7	643,5	626,8	624,6	578,7
1976	497,7	466,8	621,6	549,6	506,6	715,9	519,9	525,7	541,4	529,5	474,2	531,9	558,4	628,1	518,4	475,7	522,2	567,6	614,9	527,7	590,2	557,2	547,3
1977	724,9	687,0	693,9	746,8	802,5	737,8	671,1	953,8	757,0	754,9	721,9	764,3	840,0	769,2	825,3	665,0	673,9	557,8	809,4	753,9	788,7	809,3	750,4
1978	580,8	652,5	653,6	748,9	491,5	672,5	693,4	578,2	622,9	568,7	552,7	569,4	638,1	587,2	618,3	596,2	623,8	682,7	694,9	664,8	769,4	705,6	634,8
1979	601,6	548,1	571,6	716,5	541,4	740,3	502,6	642,8	-	505,5	509,7	606,6	549,5	588,5	533,7	487,0	611,8	632,1	559,4	642,6	693,3	751,4	597,0
1980	601,3	738,0	639,1	731,1	616,8	696,6	671,3	702,7	671,8	596,1	592,2	561,1	672,0	647,2	589,2	578,1	704,8	600,5	618,9	596,4	702,4	598,6	642,1
1981	699,6	774,0	785,5	784,2	542,5	1006,5	547,1	747,6	745,4	787,7	680,0	680,0	747,8	799,0	636,8	647,7	678,2	570,4	792,8	731,2	972,3	854,4	736,9
1982	436,8	505,6	502,6	477,3	414,3	611,3	408,6	479,3	458,4	533,7	453,4	431,2	547,8	477,5	408,8	375,1	435,6	759,7	423,6	457,8	574,7	536,9	486,8
1983	477,4	497,0	454,3	677,6	403,0	580,3	447,5	473,9	495,4	486,9	442,9	244,3	507,6	540,6	508,9	427,1	445,1	470,6	472,8	530,0	574,2	490,2	483,1
1984	491,1	499,0	483,1	612,8	483,8	648,4	468,4	569,5	524,2	561,0	527,5	501,4	558,3	551,2	485,9	467,8	518,3	431,9	511,6	505,3	646,5	620,4	530,2
1985	661,8	657,7	639,9	808,8	631,3	855,9	506,0	597,7	678,0	688,7	527,0	546,5	625,6	767,4	550,8	658,6	706,6	492,1	690,9	686,3	847,5	774,8	663,6
1986	539,0	468,6	582,0	578,7	432,2	673,6	502,6	527,6	592,9	572,6	511,5	492,1	604,7	637,4	568,9	477,5	553,7	684,5	583,1	570,8	728,3	579,8	566,5
1987	567,5	484,3	586,9	647,9	532,6	678,8	564,5	571,6	632,6	593,2	530,0	517,2	661,0	600,6	605,8	514,4	579,7	551,4	589,9	693,3	786,6	698,4	599,5
1988	586,6	529,7	586,6	629,7	537,9	706,5	448,2	576,7	615,3	586,5	498,5	483,1	651,2	735,1	390,8	516,5	614,6	579,0	563,1	489,8	684	582,3	572,4
1989	511,3	556,9	446,6	459,5	375,1	483,4	506,4	443,3	430,6	415,0	444,9	382,2	445,6	443,5	415,0	498,7	490,8	537,0	405,6	531,4	527,4	412,1	461,8
1990	561,8	599,8	487,2	573,1	480,1	564,8	485,3	479,4	450,1	504,6	500,3	521,9	573,1	555,3	474,4	524,0	519,3	368,2	516,2	587,7	622,8	505,9	519,8
1991	541,0	431,9	581,6	453,8	460,8	494,0	540,8	558,8	498,9	512,4	423,3	464,3	583,5	567,0	440,6	423,6	450,5	501,7	535,0	527,9	618,8	534,7	506,6
1992	597,5	524,6	507,5	521,6	391,9	495,1	509,5	484,9	453,9	489,4	412,3	485,2	457,7	494,3	178,6	481,0	467,3	480,7	465,1	641,2	576,5	443,4	476,8
1993	599,3	547,4	550,7	577,6	614,5	648,7	448,6	724,1	562,6	627,5	525,2	585,9	609,8	675,7	522,9	505,3	620,8	436,5	662,3	615,2	672,8	513,1	583,8
1994	795,1	659,2	684,7	612,7	537,4	630,0	620,9	620,0	576,3	620,2	636,4	560,0	567,8	719,0	473,4	633,2	551,6	571,0	626,8	744,7	754,5	625,4	628,2
1995	627,2	475,7	513,5	517,0	576,1	678,3	542,7	613,0	544,0	531,7	546,7	575,0	700,1	538,6	407,0	488,1	483,4	604,2	629,9	590,6	721,9	578,7	567,4
1996	728,2	686,9	625,4	540,8	523,1	663,9	653,6	593,8	569,0	531,2	561,2	606,2	516,6	579,7	451,6	589,8	514,7	545,5	548,6	809,7	670,1	598,4	595,8
1997	841,9	701,9	746,9	691,9	598,0	813,8	546,6	671,0	832,0	742,7	596,3	708,9	686,5	862,2	478,5	711,3	696,8	588,3	719,4	760,8	882,5	809,9	713,1
1998	799,9	675,2	654,8	742,3	590,7	734,0	616,7	665,1	674,8	648,9	576,9	596,4	638,9	733,0	390,6	623,7	692,9	862,3	640,9	678,1	713,3	740	667,2
1999	631,1	626,5	622,1	588,5	534,7	675,8	519,3	671,9	571,3	644,9	500,1	563,0	703,6	570,6	345,3	560,5	584,5	658,4	658,0	615,6	666,1	594,7	595,8
2000	868,2	655,1	796,6	739,0	624,9	767,6	576,0	694,3	713,4	698,4	540,8	592,8	645,7	735,8	527,2	681,6	704,7	609,3	733,3	825,8	791,4	727,3	693,1
2001	851,9	762,4	783,0	790,5	681,5	785,2	610,7	812,7	719,9	741,8	561,6	788,9	807,9	742,2	581,7	724,6	720,7	734,7	766,5	826	786,5	715,3	740,7
2002	731,8	675,0	610,7	752,7	508,8	524,5	479,2	592,2	534,0	499,7	515,7	589,2	684,2	537,0	481,8	736,4	676,8	835,8	459,8	709,8	562,8	558,2	602,6
2003	501,5	533,6	493,6	559,2	352,5	469,2	464,0	486,8	442,4	416,5	415,8	427,4	448,0	517,9	470,4	446,3	540,0	504,0	430,6	526	494,1	466,2	473,0
2004	605,5	586,0	573,3	559,8	488,6	587,7	542,3	590,4	519,0	548,4	499,4	548,9	574,9	597,4	485,5	501,1	556,2	514,3	539,1	656	601,1	612,1	558,5
2005	598,5	592,4	605,2	587,9	438,8	635,2	489,1	567,9	525,0	527,9	546,6	507,1	566,9	558,9	475,4	487,0	504,4	546,8	546,4	583,7	674	643,3	554,9
2006	574,8	520,6	575,8	528,4	413,9	576,6	510,7	521,5	560,6	520,3	503,2	450,3	490,6	598,1	424,1	489,1	488,9	559,6	565,2	476,1	559,8	555,2	521,1
2007	716,9	599,3	728,1	705,9	634,0	769,7	545,3	656,5	714,5	691,7	559,5	647,9	672,1	689,3	538,2	567,8	682,6	568,6	687,0	728,9	755,6	756,5	664,4
2008	620,9	622,4	594,9	591,0	457,0	554,2	510,7	557,9	529,4	548,1	532,4	445,9	553,8	586,5	481,5	565,1	555,4	654,1	522,2	688,7	563,6	601,2	560,8
2009	771,4	675,7	728,4	759,7	542,5	720,1	589,4	742,8	635,5	732,4	667,7	590,0	638,0	794,6	638,3	716,3	677,8	532,6	745,1	690,9	675,8	757,6	682,8
2010	903,1	978,5	849,5	819,2	789,																		



Rys.5. Średnia suma roczna opadów atmosferycznych [mm] w okresie 1961-2015 w województwie łódzkim

Fig. 5. Average annual precipitation [mm] in the period 1961-2015 in the Łódź Voivodeship

Tab. 2. Średnie miesięczne sumy opadów atmosferycznych [mm] na wybranych punktach pomiarowych w województwie łódzkim w okresie 1961-2015

Tab. 2. Average monthly precipitation [mm] at selected measurement points in the Łódź Voivodeship in the period 1961-2015

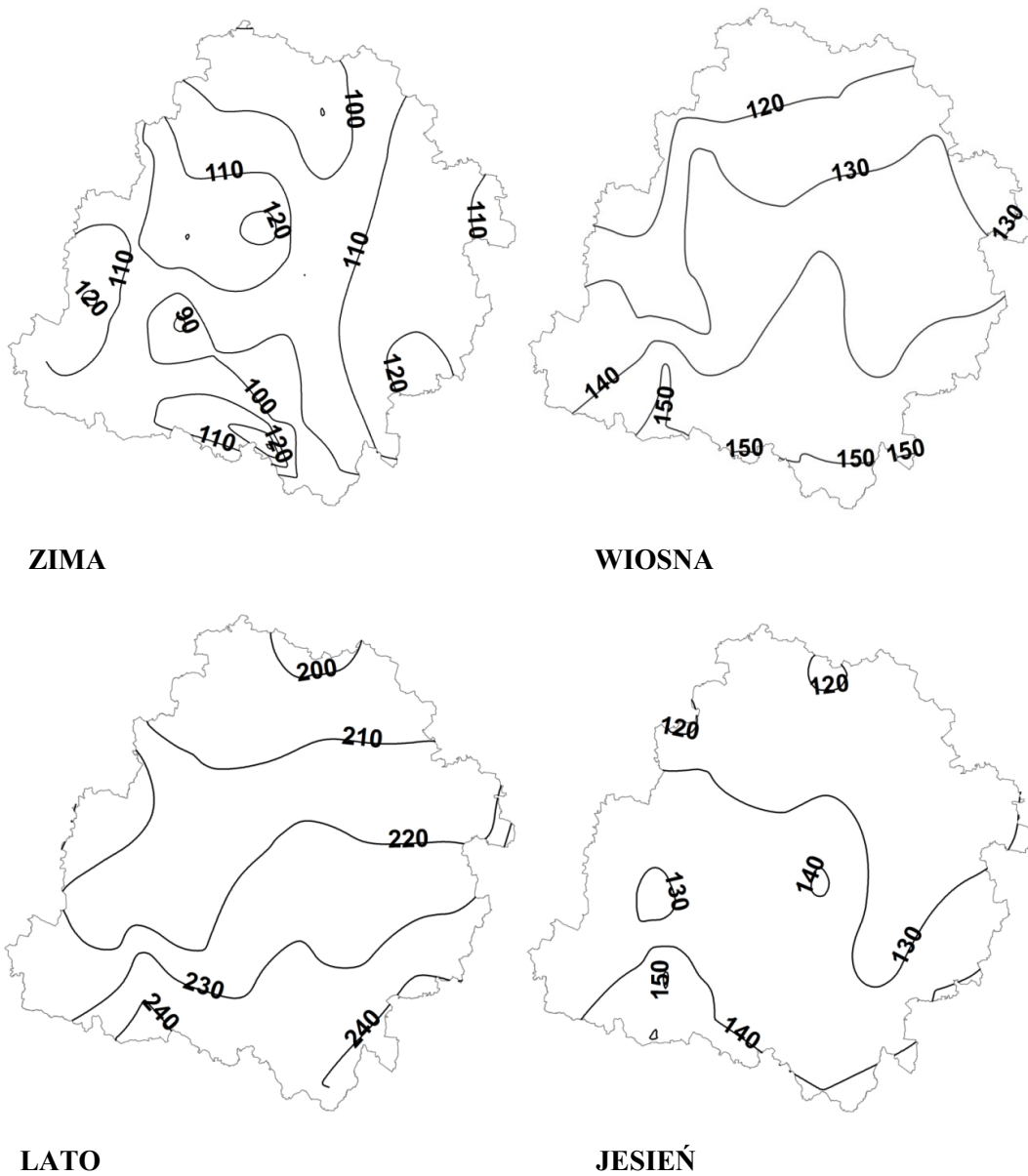
Miesiące	Bobry	Chelsty	Dobryszycy	Kruszów	Krzepocinek	Osjaków	Sadkowice	Szadek	Widawa	Złoczew	Skierbiewice	Sieradz	Poddębice	Szczerców	Żychlin	Sulejów	Łódź	Wieluń	Czartoryja	Cielętniki	Cisowa	Działoszyn
1	36,7	32,2	36,3	39,9	27,7	38,9	28,3	37,2	33,3	35,2	27,2	29,8	37,0	35,8	28,1	28,1	32,4	35,5	38,6	37,8	42,0	37,4
2	30,7	28,5	32,2	33,4	25,3	34,3	27,9	32,3	28,7	30,5	26,2	26,9	31,6	32,2	25,0	24,0	29,9	31,0	32,7	32,9	36,7	33,6
3	36,5	35,2	36,4	38,7	29,8	38,9	29,2	38,0	31,6	34,1	30,1	30,2	35,4	34,9	29,6	30,7	34,1	35,7	37,3	37,6	40,3	37,4
4	43,2	41,9	42,2	40,2	30,9	39,8	37,7	35,8	33,6	36,1	38,4	33,4	35,3	36,4	32,3	36,6	35,5	37,3	36,8	45,4	40,9	39,7
5	65,4	68,6	66,5	61,5	57,3	68,0	59,2	60,1	57,7	57,9	59,4	58,4	62,2	62,6	52,4	62,9	59,3	68,0	60,2	69,6	71,3	68,4
6	74,9	78,8	77,0	69,1	67,4	72,0	68,7	68,6	64,5	65,9	68,7	65,3	70,4	66,8	66,1	74,2	68,3	71,3	69,3	78,8	75,1	75,7
7	86,9	88,3	84,4	88,9	74,9	90,5	80,9	80,9	80,4	80,9	77,5	83,7	79,1	85,2	68,6	82,1	81,6	85,0	84,7	87,7	95,5	93,3
8	69,7	73,8	69,9	66,0	61,2	71,6	66,0	65,1	64,7	61,8	62,2	60,9	62,1	64,7	60,4	67,0	64,0	64,5	62,5	71,9	72,2	70,9
9	49,5	54,8	47,2	48,5	43,6	54,5	47,7	50,0	48,3	45,9	46,3	45,2	47,6	50,1	45,6	46,4	47,0	48,8	50,2	54,4	57,0	51,5
10	39,4	39,5	39,5	39,0	32,7	43,3	35,7	40,0	38,1	38,3	34,7	35,1	36,4	38,9	31,8	35,8	37,1	38,5	40,2	41,1	42,7	42,1
11	44,6	43,2	44,4	48,2	39,9	49,9	41,8	46,8	43,2	46,2	40,4	41,1	45,2	44,9	39,5	39,6	45,0	46,0	48,1	44,9	50,9	47,6
12	38,8	36,8	42,3	46,4	34,2	46,2	33,5	43,9	37,9	43,2	33,2	36,0	41,7	41,6	35,8	32,7	40,3	40,3	46,3	40,9	47,3	42,4

3.1. Charakterystyka opadów atmosferycznych w województwie łódzkim, w ujęciu sezonowym

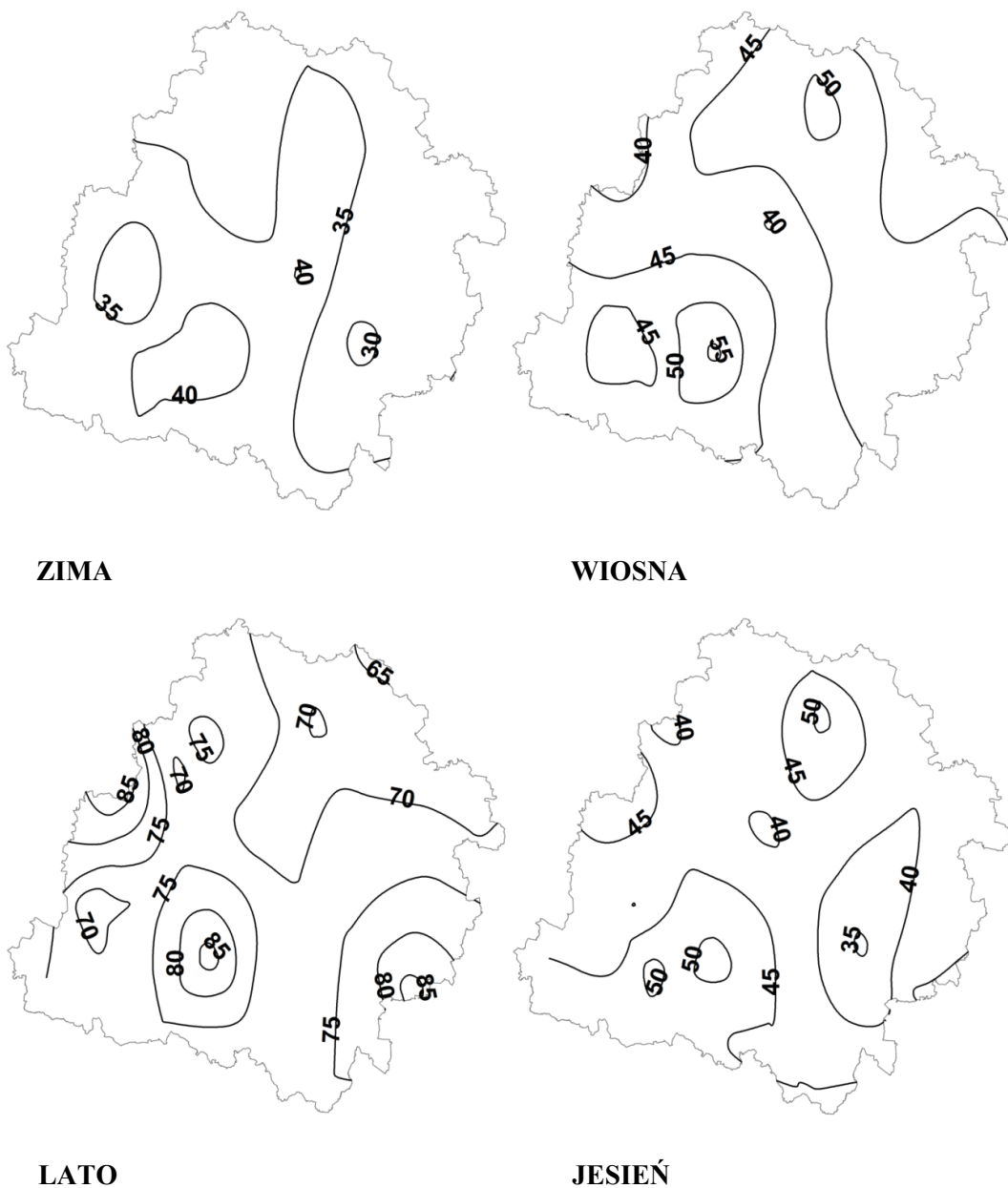
Na obszarze województwa łódzkiego najwyższe sumy opadów atmosferycznych występują latem i wahają się od 200 do 240 mm (rys. 6). Wskazuje to na kontynentalny charakter reżimu opadowego ze średnią wartością 218,6 mm w sezonie letnim i z najwyższymi opadami w lipcu 82,6 mm (Wibig i Radziun 2019). Najniższe sumy obserwuje się zimą w przedziale 90-120 mm i są one dwukrotnie niższe niż latem (rys. 6), co znajduje potwierdzenie w średniej sumie 100,2 mm w całym województwie uzyskanej przez Wibig i Radziuna (2019). Wyniki są zbieżne także z analizą opadów miesięcznych w Łodzi w okresie 1903-2003 przeprowadzoną przez Siedleckiego i Pawlaka (2004). Autorzy zaobserwowali najwyższą sumę latem 221 mm, z maksimum w lipcu 91,4 mm oraz najniższe wartości zimą na poziomie 105 mm z minimalnymi sumami w lutym 32 mm i styczniu 34,9 mm. Wiosną i jesienią sumy opadu są do siebie zbliżone i wahają się od 120 do 150 mm (rys. 6). We wszystkich sezonach ujawnia się tendencja wzrostu opadów z północy na południe (rys. 6). Potwierdzają to dane prezentowane przez Dubaniewicza (1974) oraz Wibig i Radziuna (2019).

W województwie łódzkim najwyższe odchylenie standardowe średnich wieloletnich sezonowych sum opadów atmosferycznych dla województwa w okresie 1961-2015 odnotowano latem i wynosiło ono 65 - 85 mm (rys. 7). Lipiec charakteryzował się najwyższą zmiennością, z odchyleniem standardowym równym 52 mm (Podstawczyńska 2010). Latem średnie sumy opadów atmosferycznych na obszarze województwa łódzkiego są najbardziej zróżnicowane spośród wszystkich sezonów. Różnica pomiędzy najniższą sumą opadów (200 mm) na północy, a najwyższą na południu (240 mm) wynosi 40 mm (rys. 6). Najniższe odchylenie standardowe wystąpiło zimą i wahało się w przedziale 30-40 mm. Odchylenie standardowe rzędu 40-55 mm odnotowano wiosną i 35-50 mm jesienią (rys. 7).

Najniższe wartości 95-tego percentyla sumy opadów atmosferycznych zimą wahają się w przedziale 135-185 mm. Najwyższe wartości i największe zróżnicowanie 95-tego percentyla sumy opadów atmosferycznych cechuje sezon letni z maksymalną wartością sięgającą 395 mm w zachodniej i wschodniej części województwa. Najniższe wartości 95-tego percentyla, wynoszące 305 mm są charakterystyczne dla północnej części badanego obszaru. Wiosną i jesienią zauważa się tendencję wzrostową 95-tego percentyla sum opadów sezonowych z północy na południe (rys. 8).

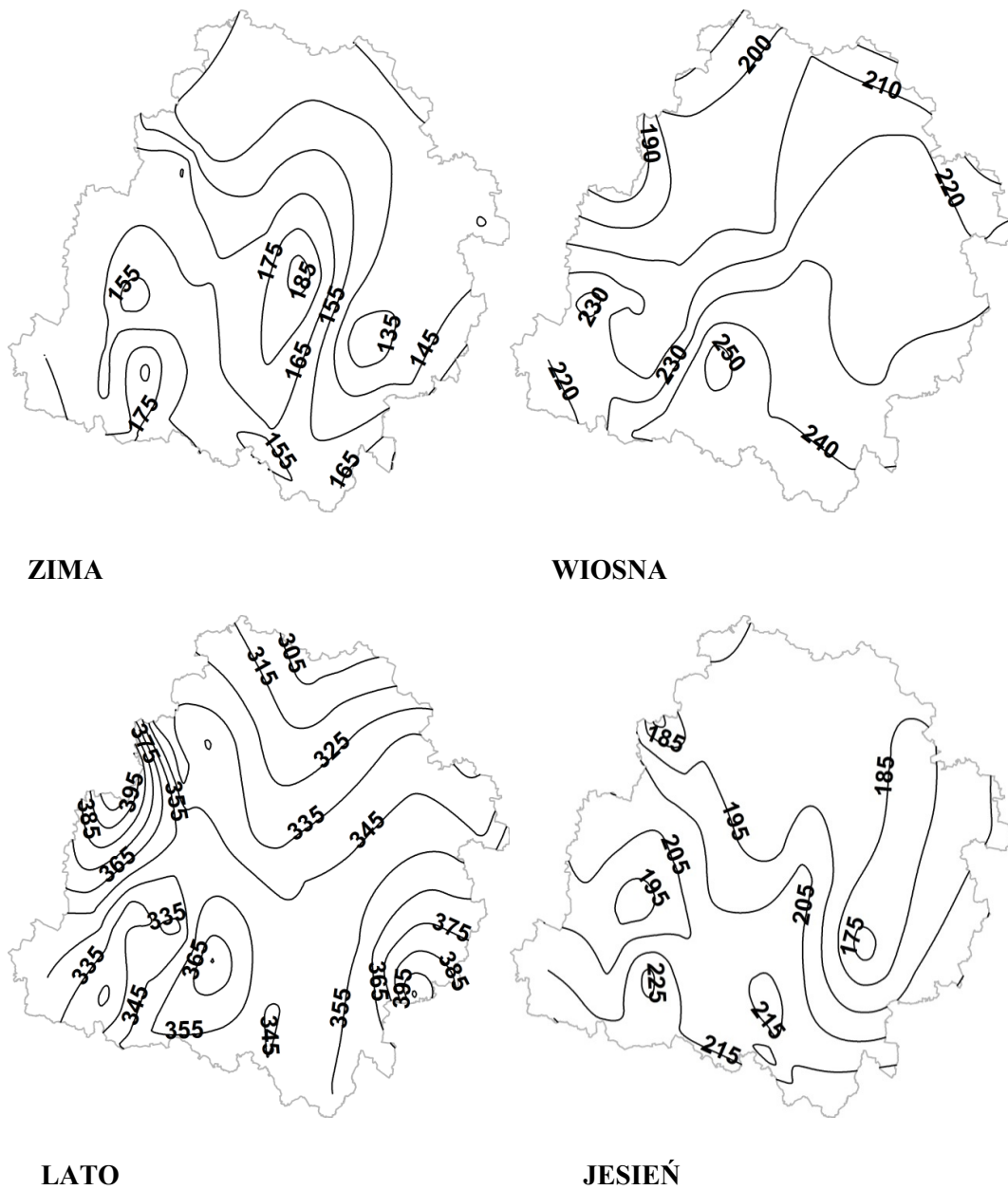


Rys. 6. Średnie sezonowe sumy opadów atmosferycznych w mm w woj. łódzkim (1961-2015)
 Fig. 6. Average seasonal precipitation [mm] in the Łódź Voivodeship (1961-2015)



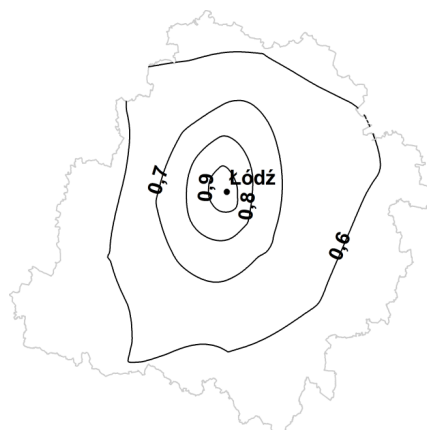
Rys. 7. Odchylenie standardowe [mm] średnich sezonowych sum opadów atmosferycznych w woj. łódzkim (1961-2015)

Fig. 7. Standard deviation [mm] of average seasonal precipitation in the Łódź Voivodeship (1961-2015)



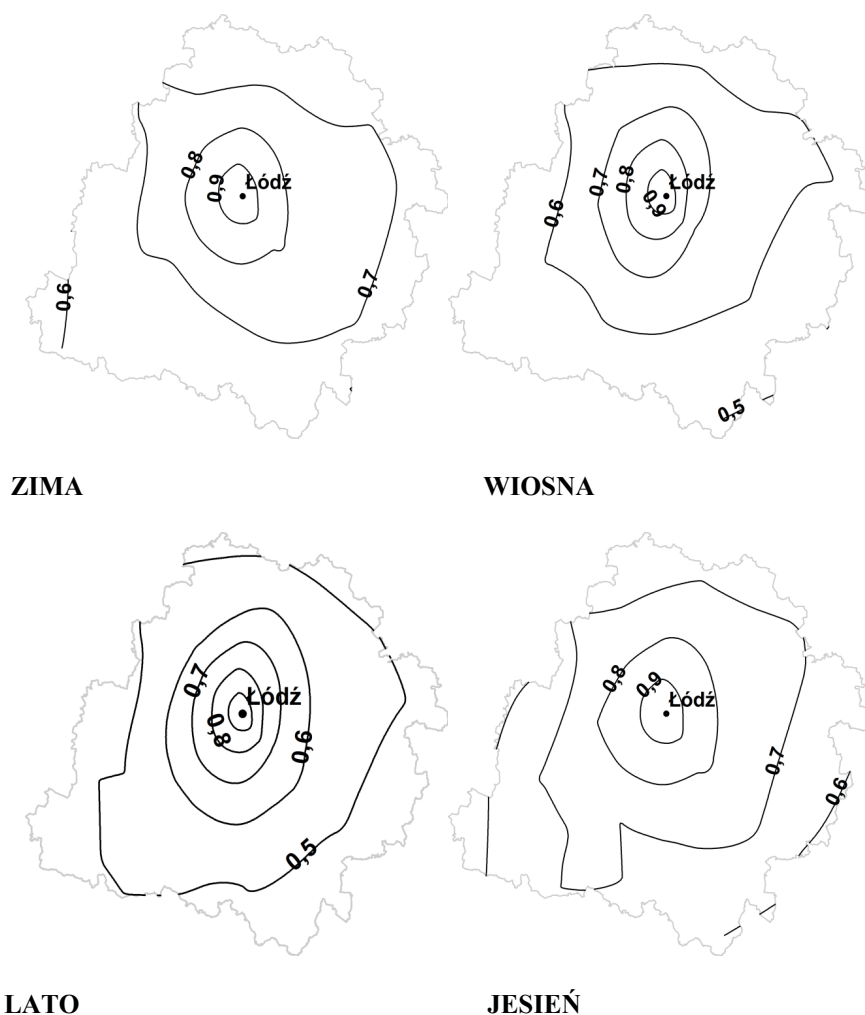
Rys. 8. Rozkład przestrzenny 95-tego percentyla [mm] sezonowych sum opadów atmosferycznych z lat 1961-2015

Fig. 8. Spatial distribution of the 95th percentile [mm] of seasonal precipitation (1961-2015)



Rys. 9. Wartości współczynnika korelacji pomiędzy sumami rocznych opadów atmosferycznych Łodzi, a pozostałymi punktami pomiarowymi na obszarze województwa łódzkiego

Fig. 9. Values of the correlation coefficient between total annual precipitation in Łódź and other measurement points in the Łódź Voivodeship



Rys. 10. Wartości współczynnika korelacji pomiędzy sezonowych sumami opadów atmosferycznych Łodzi, a pozostałymi punktami pomiarowymi na obszarze województwa łódzkiego

Fig. 10. Values of the correlation coefficient between seasonal total precipitation in Łódź and other measurement points in the Łódź Voivodeship

W celu weryfikacji sum opadów atmosferycznych na analizowanych punktach pomiarowych oraz analizy ich współzmienności przestrzennej, przeprowadzono analizę korelacyjną średnich sum rocznych i sezonowych opadów atmosferycznych pomiędzy stacjami. Istotność statystyczna korelacji Pearsona została zweryfikowana na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ dla szeregu składającego się z $n=55$ lat (1961-2015) w oparciu o dane z 22 punktów pomiarowych w województwie łódzkim (rys. 1). Współczynnik korelacji Pearsona (r) był istotnie statystyczny dla wartości powyżej 0,27 i poniżej -0,27. Występowała silna, dodatnia korelacja opadów atmosferycznych w Łodzi z pozostałymi punktami pomiarowymi na obszarze województwa w przypadku sum rocznych jak i sezonowych i wszystkie wyniki były istotnie statystycznie (rys. 9, 10). Wraz ze wzrostem odległości od stacji Łódź - Lublinek współczynnik korelacji malał. Współzmiennność sumy rocznej opadów atmosferycznych w Łodzi z pozostałymi punktami pomiarowymi w województwie łódzkim wahała się od 0,9 w centralnej części województwa do 0,6 na obszarze peryferyjnym badanego obszaru (rys. 9). Korelacja opadów zimą i jesienią w Łodzi z opadami w pozostałych punktach pomiarowych w województwie łódzkim oscylowała w przedziale od 0,9 w centrum do 0,6 na terenie peryferyjnym (rys. 10). Zimą najsilniejsza korelacja 0,94 wystąpiła pomiędzy stacjami Czaratoria i Złoczew, najsłabsza natomiast 0,54 pomiędzy stacjami Żychlin i Widawą (tab. 3). Jesienią pomiędzy Wieluniem a Działoszynem wystąpiła najsilniejsza współzmiennność sięgająca 0,93 (tab. 3). Najsłabsza korelacja sum opadów atmosferycznych w sezonie jesiennym wyniosła 0,41 pomiędzy Żychlinem a Bobrami (tab. 3). Współzmiennność sum wiosennych i letnich pomiędzy Łodzią a pozostałymi stacjami oscylowała na poziomie 0,9-0,5 (rys. 11). Wiosną najsilniejszą korelację, wynoszącą 0,89, odnotowano pomiędzy Cisową, a Działoszynem (tab. 4). Najsłabszą korelację wiosną 0,42 odnotowano pomiędzy Żychlinem, a Sulejowem (tab. 4). Latem najwyższa współzmiennność opadów cechowała Złoczew i Czaratoria, gdzie współczynnik korelacji wyniósł 0,91. Najniższa korelacja (0,43) wystąpiła między opadami w Cielętnikach i Szczercowie (tab. 3). Reasumując korelacja opadów atmosferycznych pomiędzy stacjami w województwie łódzkim w większości przypadków była silna, współczynnik korelacji Pearsona przekraczał 0,6, wartości z przedziału 0,4-0,6, cechujące korelacje umiarkowaną, są nieliczne.

Tab. 3. Korelacja pomiędzy sumami opadów atmosferycznych zima(biały kolor)//lato(szary kolor) na poszczególnych stacjach w okresie 1961-2015

Tab. 3. Correlation between winter (white cells)//summer (grey cells) total precipitation at individual stations in the period 1961-2015

	Bob	Che	Dob	Kru	Krz	Osj	Sad	Sza	Wid	Zlo	Ski	Sie	Pod	Szc	Życ	Sul	Łód	Wie	Cza	Cie	Cis	Dzi
Bob		0,67	0,82	0,69	0,67	0,71	0,61	0,67	0,71	0,74	0,60	0,70	0,59	0,71	0,51	0,80	0,74	0,80	0,72	0,83	0,73	0,75
Che	0,87		0,72	0,60	0,58	0,62	0,79	0,65	0,58	0,65	0,68	0,63	0,49	0,54	0,56	0,86	0,64	0,69	0,59	0,71	0,61	0,57
Dob	0,88	0,82		0,73	0,62	0,69	0,69	0,68	0,74	0,75	0,72	0,69	0,60	0,65	0,61	0,79	0,77	0,80	0,72	0,71	0,71	0,68
Kru	0,76	0,80	0,81		0,66	0,62	0,60	0,69	0,64	0,74	0,67	0,63	0,65	0,64	0,65	0,74	0,82	0,70	0,74	0,58	0,66	0,65
Krz	0,68	0,69	0,74	0,84		0,65	0,64	0,81	0,67	0,73	0,61	0,74	0,81	0,59	0,73	0,65	0,73	0,65	0,74	0,57	0,65	0,61
Osj	0,82	0,73	0,88	0,83	0,74		0,52	0,73	0,79	0,88	0,62	0,72	0,70	0,69	0,52	0,62	0,75	0,82	0,82	0,60	0,85	0,85
Sad	0,75	0,78	0,71	0,76	0,69	0,71		0,66	0,55	0,57	0,82	0,61	0,57	0,55	0,67	0,81	0,64	0,60	0,53	0,65	0,58	0,56
Sza	0,87	0,81	0,88	0,86	0,84	0,88	0,79		0,77	0,80	0,73	0,83	0,83	0,67	0,68	0,71	0,75	0,72	0,83	0,60	0,69	0,66
Wid	0,76	0,68	0,65	0,65	0,52	0,69	0,61	0,77		0,87	0,65	0,67	0,75	0,74	0,57	0,66	0,75	0,81	0,80	0,58	0,83	0,73
Zlo	0,77	0,75	0,82	0,84	0,80	0,90	0,74	0,88	0,68		0,65	0,77	0,76	0,74	0,57	0,72	0,78	0,85	0,91	0,65	0,84	0,78
Ski	0,77	0,82	0,78	0,84	0,77	0,76	0,84	0,84	0,68	0,74		0,68	0,63	0,53	0,70	0,77	0,71	0,67	0,64	0,52	0,66	0,65
Sie	0,79	0,77	0,84	0,81	0,79	0,83	0,70	0,90	0,68	0,87	0,79		0,75	0,51	0,56	0,69	0,63	0,73	0,79	0,59	0,67	0,68
Pod	0,79	0,75	0,81	0,86	0,86	0,84	0,78	0,90	0,72	0,86	0,86	0,82		0,54	0,59	0,58	0,73	0,66	0,73	0,49	0,75	0,69
Szc	0,70	0,68	0,68	0,76	0,81	0,78	0,69	0,84	0,70	0,80	0,71	0,77	0,81		0,55	0,66	0,71	0,66	0,71	0,59	0,71	0,63
Życ	0,57	0,63	0,62	0,76	0,71	0,66	0,62	0,75	0,56	0,73	0,73	0,71	0,73	0,61		0,66	0,65	0,53	0,60	0,43	0,52	0,46
Sul	0,82	0,86	0,80	0,87	0,86	0,73	0,76	0,83	0,64	0,75	0,85	0,77	0,85	0,73	0,70		0,72	0,75	0,69	0,75	0,70	0,64
Łód	0,82	0,80	0,80	0,89	0,87	0,82	0,80	0,88	0,68	0,79	0,87	0,79	0,91	0,78	0,66	0,90		0,76	0,76	0,65	0,76	0,77
Wie	0,83	0,74	0,87	0,79	0,79	0,88	0,66	0,87	0,65	0,90	0,70	0,89	0,80	0,76	0,64	0,75	0,77		0,83	0,68	0,85	0,81
Cza	0,84	0,77	0,89	0,86	0,81	0,90	0,73	0,94	0,73	0,94	0,79	0,92	0,87	0,80	0,75	0,79	0,83	0,93		0,59	0,78	0,74
Cie	0,89	0,83	0,88	0,81	0,70	0,86	0,71	0,84	0,67	0,83	0,78	0,82	0,79	0,70	0,64	0,79	0,80	0,88	0,86		0,67	0,66
Cis	0,89	0,75	0,87	0,84	0,78	0,88	0,72	0,89	0,76	0,85	0,78	0,84	0,86	0,78	0,61	0,81	0,87	0,85	0,92	0,87		0,89
Dzi	0,87	0,81	0,89	0,80	0,71	0,90	0,76	0,87	0,73	0,91	0,78	0,86	0,82	0,76	0,66	0,75	0,77	0,92	0,91	0,93	0,87	

Tab. 4. Korelacja pomiędzy sumami opadów atmosferycznych wiosna(biały kolor)/jesień (szary kolor) na wybranych punktach pomiarowych w województwie łódzkim (1961-2015)

Tab. 4. Correlation between spring(white cells)/autumn(grey cells) total precipitation at selected measuring points in the Lodz Voivodeship (1961-2015)

	Bob	Che	Dob	Kru	Krz	Osj	Sad	Sza	Wid	Zlo	Ski	Sie	Pod	Szc	Życ	Sul	Łód	Wie	Cza	Cie	Cis	Dzi
Bob		0,74	0,78	0,71	0,56	0,63	0,70	0,63	0,71	0,69	0,67	0,70	0,67	0,68	0,41	0,82	0,70	0,67	0,60	0,88	0,77	0,76
Che	0,79		0,78	0,78	0,64	0,71	0,81	0,66	0,71	0,73	0,79	0,68	0,61	0,63	0,50	0,87	0,74	0,73	0,63	0,81	0,67	0,76
Dob	0,87	0,83		0,80	0,56	0,79	0,69	0,64	0,79	0,77	0,69	0,73	0,67	0,71	0,49	0,81	0,71	0,79	0,66	0,86	0,79	0,85
Kru	0,83	0,74	0,80		0,80	0,84	0,80	0,82	0,81	0,77	0,83	0,87	0,83	0,73	0,69	0,86	0,92	0,83	0,77	0,77	0,84	0,86
Krz	0,64	0,70	0,69	0,71		0,72	0,62	0,90	0,69	0,77	0,75	0,86	0,84	0,69	0,83	0,72	0,84	0,74	0,80	0,59	0,74	0,75
Osj	0,70	0,67	0,70	0,65	0,67		0,63	0,80	0,77	0,83	0,69	0,85	0,79	0,72	0,65	0,70	0,78	0,90	0,83	0,68	0,88	0,90
Sad	0,73	0,70	0,74	0,78	0,63	0,58		0,62	0,72	0,61	0,84	0,67	0,64	0,55	0,55	0,84	0,75	0,62	0,60	0,76	0,64	0,71
Sza	0,75	0,76	0,78	0,71	0,81	0,74	0,68		0,72	0,81	0,75	0,89	0,88	0,66	0,80	0,72	0,84	0,79	0,81	0,66	0,81	0,84
Wid	0,76	0,71	0,75	0,69	0,66	0,71	0,65	0,80		0,78	0,71	0,74	0,73	0,76	0,54	0,77	0,75	0,77	0,74	0,72	0,77	0,82
Zlo	0,73	0,71	0,76	0,70	0,75	0,81	0,70	0,84	0,79		0,72	0,87	0,74	0,76	0,63	0,76	0,77	0,90	0,90	0,68	0,83	0,89
Ski	0,68	0,66	0,70	0,80	0,70	0,59	0,86	0,67	0,60	0,62		0,75	0,78	0,63	0,72	0,84	0,82	0,70	0,73	0,72	0,70	0,76
Sie	0,71	0,63	0,73	0,67	0,73	0,65	0,62	0,82	0,73	0,81	0,56		0,87	0,71	0,76	0,77	0,86	0,88	0,87	0,72	0,89	0,90
Pod	0,69	0,70	0,67	0,74	0,85	0,72	0,63	0,81	0,69	0,77	0,70	0,81		0,69	0,78	0,72	0,80	0,78	0,78	0,70	0,83	0,82
Szc	0,75	0,71	0,74	0,73	0,69	0,74	0,73	0,70	0,67	0,76	0,69	0,59	0,71		0,57	0,71	0,75	0,76	0,69	0,66	0,77	0,77
Życ	0,48	0,45	0,53	0,66	0,66	0,50	0,57	0,58	0,44	0,53	0,69	0,48	0,56	0,43		0,61	0,71	0,63	0,73	0,51	0,65	0,67
Sul	0,78	0,86	0,78	0,72	0,71	0,57	0,69	0,70	0,68	0,62	0,68	0,61	0,67	0,65	0,42		0,85	0,76	0,70	0,85	0,73	0,81
Łód	0,81	0,82	0,82	0,83	0,77	0,69	0,79	0,79	0,74	0,77	0,76	0,68	0,76	0,77	0,66	0,77		0,81	0,76	0,72	0,80	0,80
Wie	0,74	0,66	0,71	0,65	0,69	0,83	0,65	0,80	0,79	0,88	0,59	0,78	0,72	0,67	0,52	0,58	0,72		0,87	0,72	0,88	0,93
Cza	0,67	0,60	0,71	0,66	0,73	0,77	0,64	0,85	0,77	0,88	0,57	0,81	0,75	0,66	0,56	0,59	0,71	0,85		0,59	0,80	0,85
Cie	0,87	0,84	0,83	0,73	0,61	0,70	0,64	0,70	0,75	0,70	0,60	0,58	0,58	0,71	0,47	0,77	0,78	0,73	0,61		0,79	0,79
Cis	0,80	0,66	0,73	0,68	0,66	0,84	0,63	0,77	0,80	0,81	0,56	0,72	0,71	0,72	0,46	0,62	0,71	0,86	0,83	0,76		0,92
Dzi	0,80	0,72	0,80	0,72	0,72	0,86	0,66	0,77	0,78	0,81	0,67	0,74	0,71	0,73	0,55	0,67	0,74	0,87	0,77	0,78	0,89	

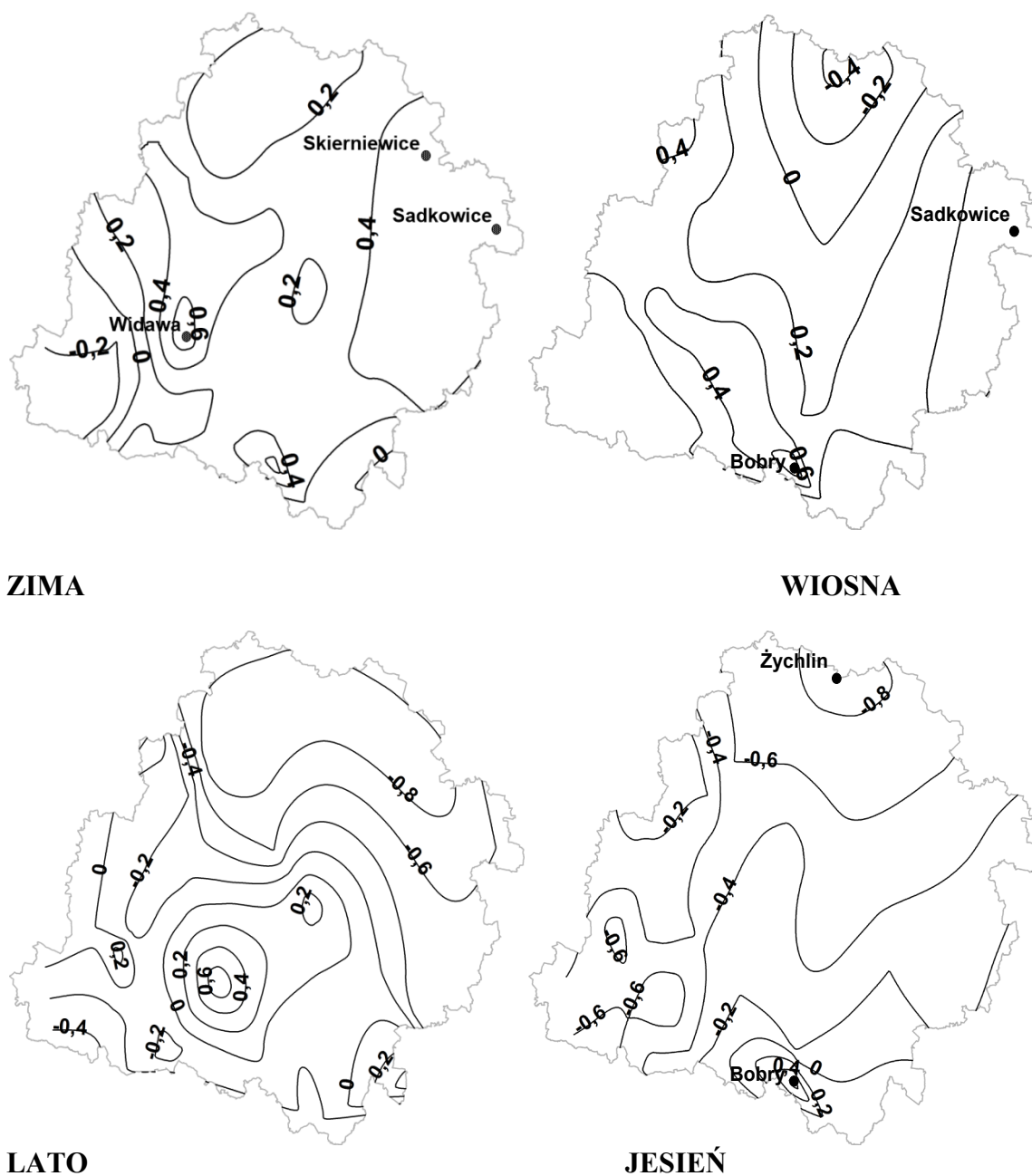
3.2. Wieloletnia zmienność opadów atmosferycznych w województwie łódzkim

W celu sprawdzenia istotności statystycznej trendów sum rocznych i sezonowych opadów atmosferycznych w województwie łódzkim wykorzystano test nieparametryczny Mann-Kendalla z przyjętym poziomem ufności 0,05 (tab. 5).

W zimie, na znacznej części badanego obszaru wystąpiły dodatnie wartości współczynnika trendu. Opady wzrastały w tempie od 0,2 do 0,6 mm rocznie. W pozostałych sezonach, w północnej części województwa zaobserwowano spadki opadów atmosferycznych, które wyniosły od -0,2 mm wiosną do -0,8 mm latem i jesienią (rys. 11). W południowej części badanego obszaru we wszystkich sezonach odnotowano trend wzrostowy opadów rzędu 0,2 - 0,6 mm na rok (rys. 11).

Polska Środkowa nie wyróżnia się dużą zmiennością opadów atmosferycznych (Kozuchowski 1986). Obszar ten jest położony na wododziale zlewni Wisły i Warty i narażony jest na niedobór wody. Okresy z opadami atmosferycznymi poniżej normy, potęgują deficyt wody (Kozuchowski i in. 1990). Sumy roczne opadów w środkowej Polsce cechują się najmniejszym współczynnikiem zmienności (13%), zdefiniowanym jako stosunek odchylenia standardowego do średniej sumy rocznej opadu (Kaczorowska 1962). Na przykładzie dorzecza Pilicy i Warty Kozuchowski (1982) zauważył, że początek lat 80-tych cechował się serią niskich sum opadów, która była poprzedzona okresem o sumach względnie wysokich. Lata 50-te zaliczył do suchych z najgłębszym minimum w 1959 r. (za Kozuchowskim i in. 1990). Odchylenie procentowe od średniej wieloletniej sumy rocznej (1961-2015) przeciętnie wahało się w granicach od -50% do 50% (rys. 12). Nieznacznym odstępstwem od tej normy są opady występujące w Żychlinie, w północnej części badanego obszaru, których wartości odchyżeń wyniosły od -66% w 1992 r. do 67% w 1970 r. (rys. 12), (zał., tab. 10). Na wszystkich stacjach wyraźnie zaznaczył się okres z niedoborem opadów, trwający od początku lat 80-tych do połowy lat 90-tych (rys. 12). Trendy rocznych sum opadów w województwie łódzkim wahały się od -2,31 mm/rok w Żychlinie do 2,16 mm/rok w Bobrach i na żadnej ze stacji nie były istotne statystycznie (tab. 5). Na ponad połowie wszystkich stacji (55%) odnotowano trendy ujemne rocznych sum opadów atmosferycznych (tab. 5). Według Stachowskiego i Markiewicz (2011) województwo łódzkie jest obszarem o największych potrzebach wodnych, jako całość należy do II strefy największych potrzeb retencji z jej północno-zachodnią częścią (powiat kutnowski), którą zaklasyfikowaną do I strefy, co świadczy o większych deficytach opadów atmosferycznych na tym terenie w porównaniu z pozostałą częścią województwa łódzkiego. Analiza Żmudzkiej (2009) potwierdza wzrost

temperatury powietrza i spadek opadów atmosferycznych w latach 80-tych i pierwszej połowie lat 90-tych. Konsekwencją tego stanu były dotkliwe i długotrwałe susze.



Rys. 11. Wartości współczynnika trendu mm/rok sezonowych sum opadów atmosferycznych w okresie 1961-2015 • punkty pomiarowe z trendem istotnym statystycznie
 Fig. 11. Values of the trend coefficient mm / year of seasonal total precipitation in the period 1961-2015 • measurement points with a significantly statistical trend

Tab.5 Trendy sezonowych sum opadów [mm/rok] w punktach pomiarowych na obszarze województwa łódzkiego w latach 1961-2015

Tab. 5. Trends of annual and seasonal total precipitation at selected measurement points in the Lodz Voivodeship (1961-2015)

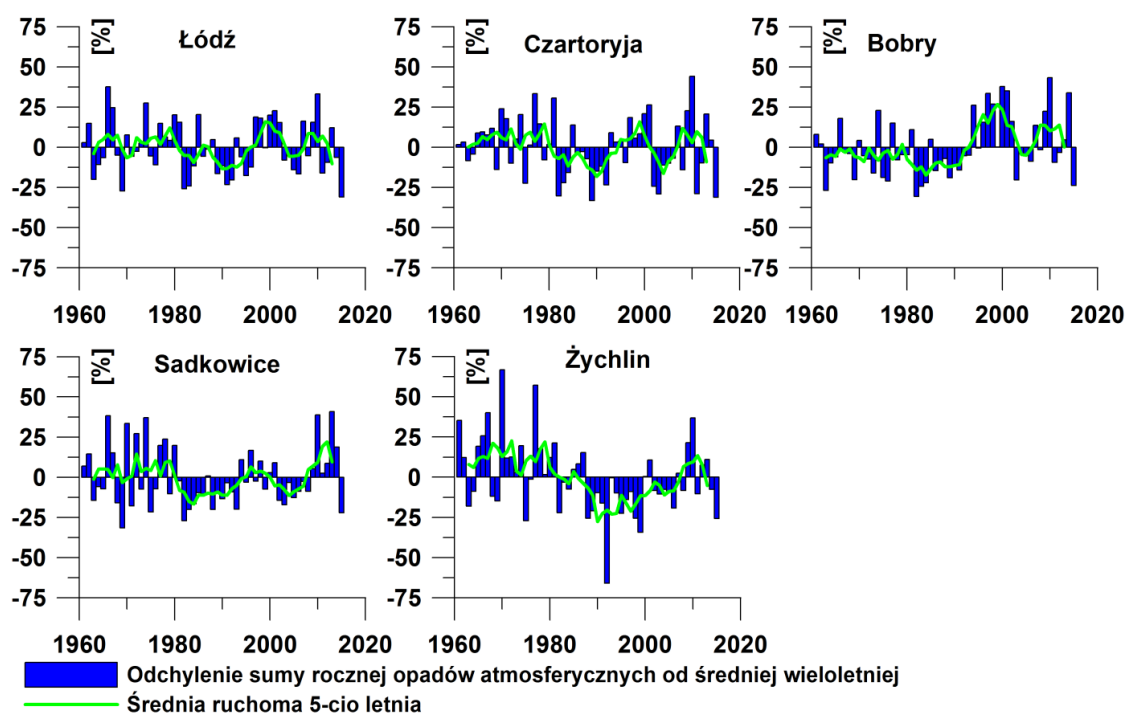
Nazwa stacji	Rok	Zima	Wiosna	Lato	Jesień
Bobry	2,16	0,67	0,81	0,02	0,65
Chełsty	-0,46	0,49	0,12	-0,63	-0,44
Dobryczyce	0,01	0,3	0,18	-0,18	-0,29
Kruszów	0,01	0,06	0,22	0,32	-0,59
Krzepocinek	-1,62	-0,01	0	-0,99	-0,62
Osjaków	-0,81	0,09	0,03	-0,09	-0,83
Sadkowice	0,05	0,56	0,4	-0,61	-0,3
Szadek	-0,03	0,48	0,26	-0,29	-0,48
Widawa	1,16	0,82	0,5	0,23	-0,4
Złoczew	-0,29	-0,23	0,1	0,29	-0,46
Skierniewice	-0,76	0,57	0,28	-0,98	-0,63
Sieradz	0,01	0,06	0,36	-0,26	-0,33
Poddębice	0,25	0,36	0,3	-0,22	-0,19
Szczerców	1,39	0,23	0,32	0,76	-0,21
Żychlin	-2,31	0,14	-0,5	-1,03	-0,92
Sulejów	0,5	0,46	0,39	-0,14	-0,2
Łódź	-0,37	0,49	0,1	-0,62	-0,34
Wieluń	-1,16	-0,28	0,04	-0,27	-0,65
Czartoryja	-0,69	-0,07	0,08	-0,05	-0,65
Cielętniki	-0,07	0,14	-0,03	-0,27	0,1
Cisowa	0,17	0,35	0,21	-0,1	-0,28
Działoszyn	-0,53	0,03	0,14	-0,26	-0,44

Szarym kolorem zaznaczono trendy istotnie statystycznie

Zima charakteryzuje się pewnym stałym rytmem, po roku z niedoborem opadów występuje zazwyczaj rok (lub 2-3) z ich nadmiarem (rys. 13). Odchylenia procentowe opadów zimą wahają się od -87% w Żychlinie (1995/96) do 134% w Działoszynie (2005/06) (zał., tab. 11). Podczas zimy 2005/06 wysokie odchylenia od średniej wieloletniej, przekraczające 100%, wystąpiły jeszcze na 6 stacjach: w Bobrach (126%), Cielętnikach (120%), Osjakowie (116%), Widawie (112%), Cisowej (104%) i Dobryszycach (101%) (zał. tab. 11). Żychlin wyróżnia się dłuższym okresem ze średnimi sumami opadów zimowych powyżej normy w okresie od 1975/76 do 1987/88 oraz dłuższym okresem z niedoborem opadów od 1978/79 do 2000/01 (rys. 13). Trendy sum opadów atmosferycznych w zimie, w województwie łódzkim wahały się od -0,28 mm/rok w Wieluniu do 0,82 mm/rok w Widawie (tab. 5). Istotne statystycznie trendy w sezonie zimowym odnotowano: w Sadkowicach (0,56 mm/rok), Widawie (0,82 mm/rok) i Skierniewicach (0,57 mm/rok) (rys. 12). W znacznej

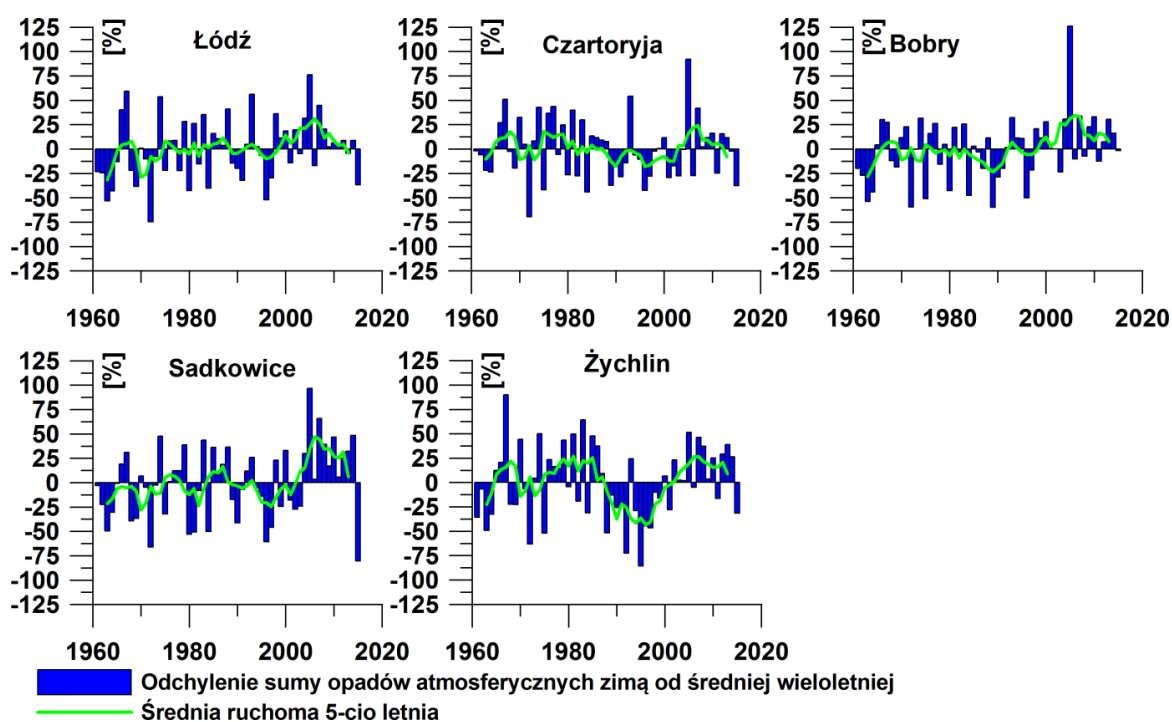
większości (82%) odnotowano trendy dodatnie (tab. 5). Odchylenia procentowe od średniej wieloletniej zimą są dwukrotnie wyższe od odchylen od średniej wieloletniej sumy rocznej (rys 13, 14). Wiosną dłuższy okres z deficytem opadów atmosferycznych trwał od początku lat 60-tych do początku lat 90-tych (rys. 14). Największe odchylenie procentowe ujemne od średniej wieloletniej sumy wiosną odnotowano w Widawie z wartością -76,1% w 1964 r. (zał., tab. 12). Nie wystąpiły większe różnice pomiędzy stacjami (rys.14). Podczas wiosny w 2010 r. odnotowano najwyższe odchylenie dodatnie od średniej wieloletniej sumy opadów atmosferycznych o wartości 145% w Krzepocinku. Wówczas wysokimi odchyleniami powyżej średniej cechowały się również stacje w Cisowej (122%), Widawie (116%) i Działoszynie (114%) (zał. tab. 12). W sezonie wiosennym trend sum opadów atmosferycznych wahał się od -0,5 mm/rok w Żychlinie do 0,81 mm/rok w Bobrach (tab. 5). Wiosną istotne statystycznie trendy odnotowano w Bobrach (0,81 mm/rok) i Sadkowicach (0,4 mm/rok) (rys. 11). Na większości stacji (86%) wystąpiły trendy dodatnie (tab. 5).

Latem wartości odchylen od średniej wieloletniej są do siebie zbliżone na wszystkich stacjach. Widoczny jest okres z opadami poniżej normy od początku lat 80-tych do początku lat 90-tych (rys. 15). Największą ujemną wartość odchylenia procentowego od średniej wieloletniej latem (-73%) odnotowano w 1992 r. w Skierniewicach (zał. tab. 13). Piotrowski (2004) wykazał, że w Łodzi największe niedobory opadów atmosferycznych wiosną i latem występowały w dwóch okresach: w latach 30-tych i 40-tych oraz od 1981r. do połowy lat 90-tych. Latem opady atmosferyczne powyżej normy obserwowano od końca lat 60-tych do początku lat 80-tych. Maksymalne odchylenie od średniej sumy sezonowej w lecie odnotowano w Wieluniu na poziomie 115% w 1997 r., ale również w tym samym roku na innych stacjach w południowej części województwa łódzkiego zaobserwowano znaczne odchylenia powyżej średniej wieloletniej: w Widawie (107%), Cisowej (98%) i Działoszynie (93%) (zał. tab. 13). W lecie 1997 r. Polskę nawiedziła tzw. "powódź tysiąclecia", której najdotkliwsze skutki objęły południową część kraju. Latem trendy sum opadów atmosferycznych wahały się od -1,03 (Żychlin) do 0,76 mm/rok (Szczerców) (tab. 5). W większości punktów pomiarowych (77%) trendy były ujemne i na żadnej ze stacji nie były istotne statystycznie (tab. 5).



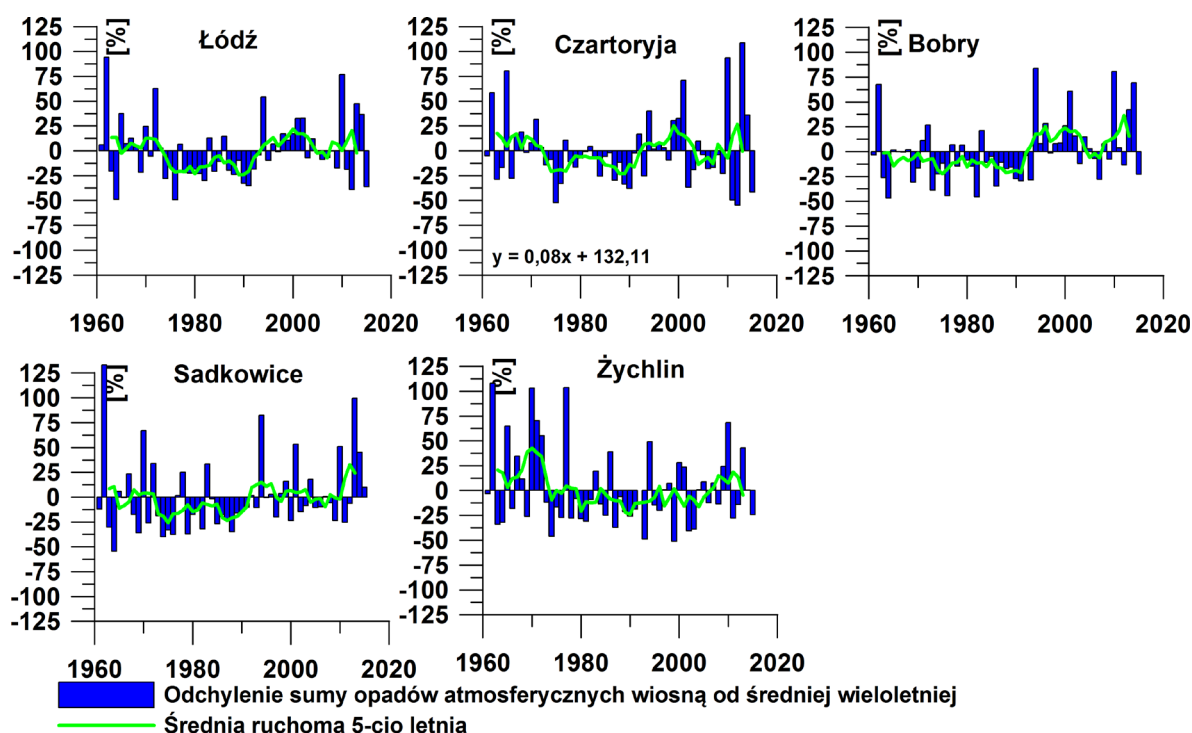
Rys. 12. Procentowe odchylenie sumy rocznej opadów atmosferycznych od średniej wieloletniej (1961-2015) na wybranych stacjach

Fig. 12. Percentage deviation from the long-term average (1961-2015) of the annual total precipitation for selected stations



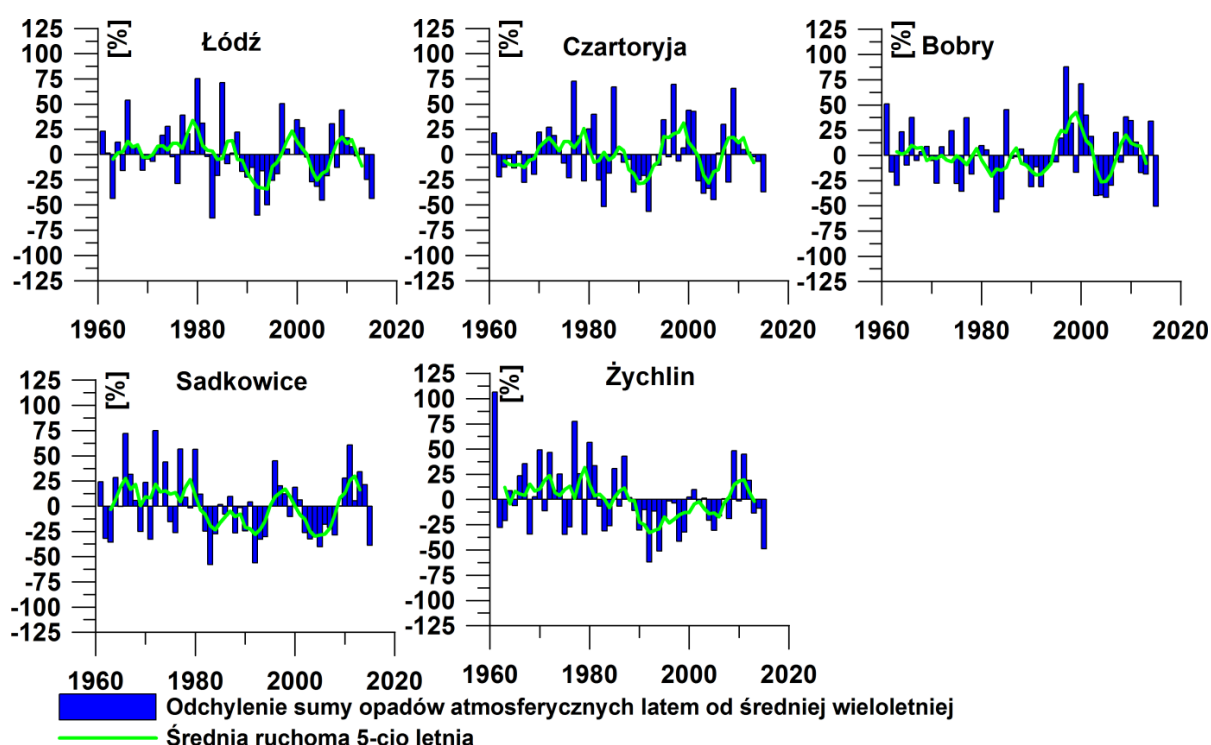
Rys. 13. Procentowe odchylenie od średniej wieloletniej (1961-2015) sum opadów atmosferycznych zimą na wybranych punktach pomiarowych

Fig. 13. Percentage deviation from the long-term average (1961-2015) of total precipitation in winter for selected measurement points



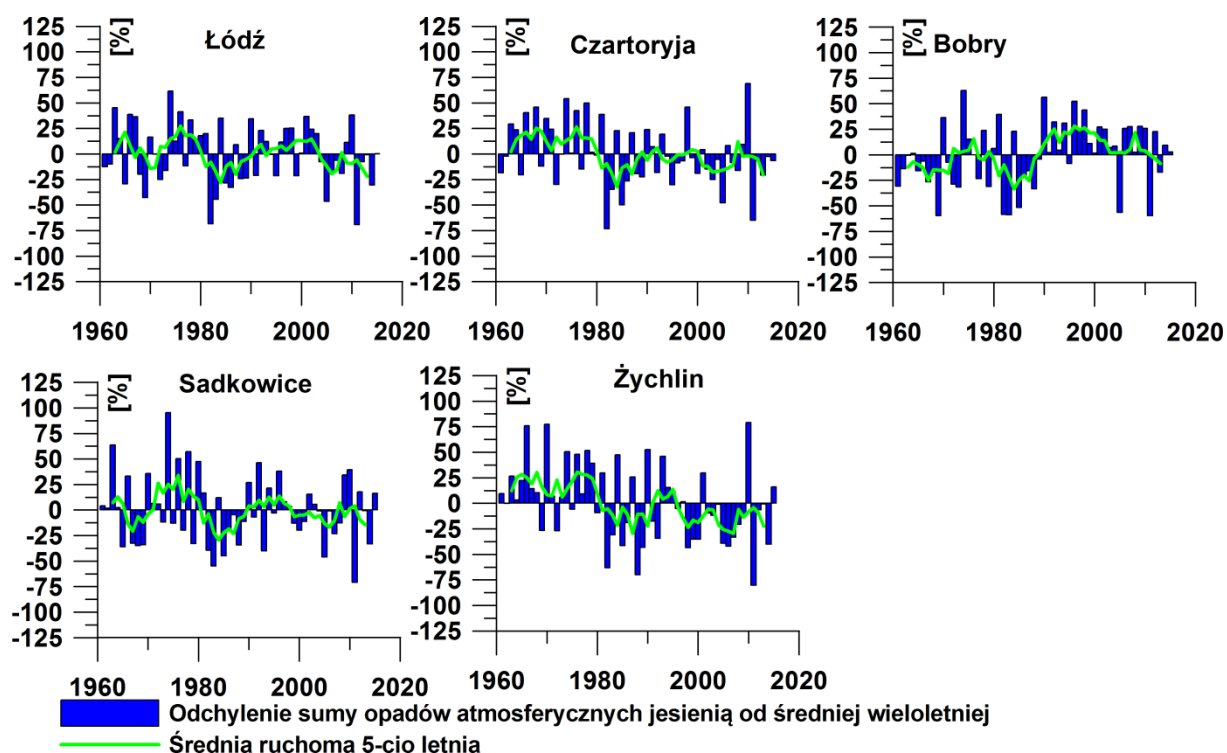
Rys. 14. Procentowe odchylenie od średniej wieloletniej (1961-2015) sum opadów atmosferycznych wiosną na wybranych punktach pomiarowych

Fig. 14. Percentage deviation from the long-term average (1961-2015) of total precipitation in spring for selected measurement points



Rys. 15. Procentowe odchylenie od średniej wieloletniej (1961-2015) sum opadów atmosferycznych latem dla wybranych punktach pomiarowych

Fig. 15. Percentage deviation from the long-term average (1961-2015) of total precipitation in summer selected for selected measurement points



Rys. 16. Procentowe odchylenie od średniej wieloletniej (1961-2015) sum opadów atmosferycznych jesienią dla wybranych punktów pomiarowych

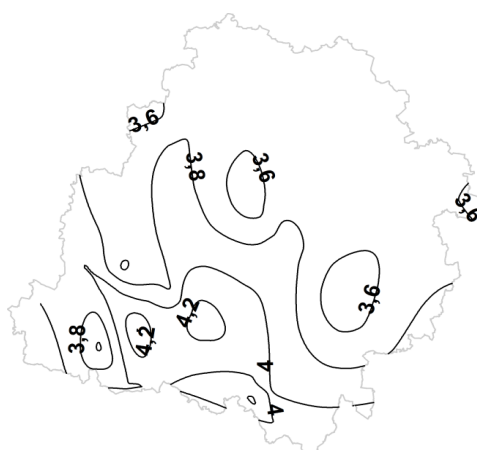
Fig. 16. Percentage deviation from the long-term average (1961-2015) of total precipitation in autumn for selected measurement points

Jesień charakteryzuje się cyklicznymi dekadowymi odchyleniami opadów atmosferycznych od średniej wieloletniej. Odchylenia dodatnie i ujemne występują w tym sezonie naprzemiennie (rys. 16). Według Piotrowskiego (2004) wiosna i jesień są okresami, kiedy najczęściej może wystąpić posucha. W latach 70-tych odchylenia opadów były dodatnie, natomiast lata 80-te, to okres z deficytem opadów, a lata 90-te cechowały się opadami przeważnie powyżej normy (rys. 16). Jesienią najwyższe odchylenie od średniej wieloletniej sumy opadów atmosferycznych 116% wystąpiło w Widawie w 1974r. Jednocześnie, w tym samym roku odnotowano wysokie odchylenia w Osjakowie (111%) i Wieluniu (110%) (zał. tab.14). Największe odchylenie ujemne od średniej wieloletniej sumy opadów jesienią wyniosło -81% w Skierniewicach w 2011r. W tym roku niskimi wartościami również cechowały się stacje w Chełstach (-78%) i Kruszowie (-77%) (zał. tab. 14). Trendy sum opadów jesienią w województwie łódzkim wahały się od -0,92 mm/rok (Żychlin) do 0,65 mm/rok (Bobry) i były one istotne statystycznie (tab. 5, rys. 11). Na większości stacji (91%) odnotowano trendy ujemne (tab. 5). Analiza Stachowskiego i Markiewicza (2011) potwierdza, że w północnej części województwa łódzkiego występują znaczne niedobory opadów atmosferycznych. Na przykładzie powiatu kutnowskiego leżącego w północnej części

województwa łódzkiego) autorzy wykazali że w wieloleciu 1948-2008 wystąpiły niedobory rzędu 150-200 mm w latach suchych i 90-160 mm w latach zaliczanych do średnich. W niektórych przypadkach, podczas okresu wegetacyjnego w latach mokrych występował deficyt opadowy od kilkunastu do kilkudziesięciu mm.

3.3. Charakterystyka zmienności dobowych sum opadów atmosferycznych w województwie łódzkim

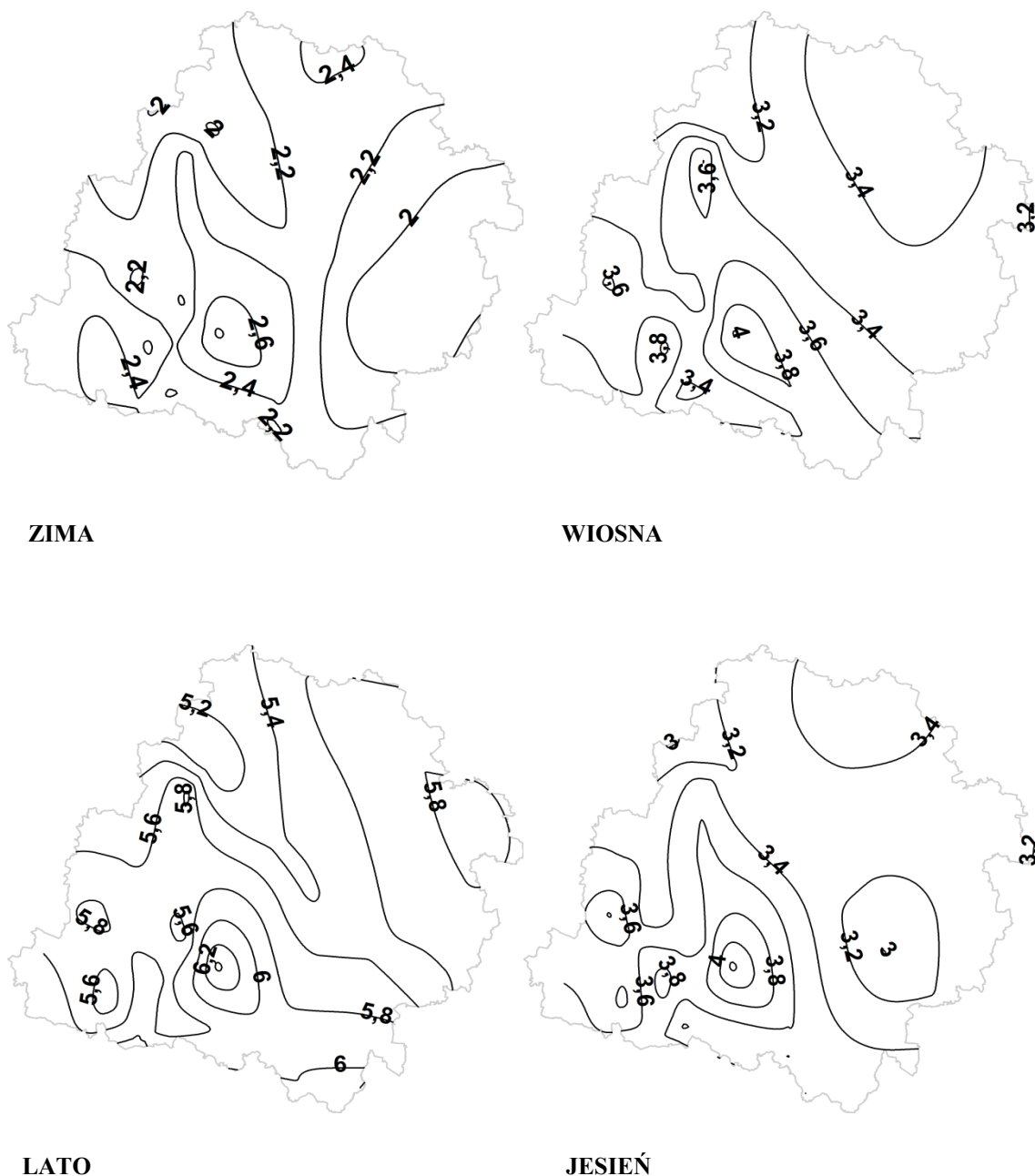
Obfitość opadu, inaczej zwana średnią wydajnością opadu, jest wskaźnikiem opisującym średnią sumę opadu przypadającą na dzień z opadem, czyli po wyeliminowaniu dni bezopadowych (Twardosz 2000). Kożuchowski (2011) obfitość opadu definiuje jako średnią wydajność dnia opadowego, opisując ją jako iloraz sumy opadu i liczby dni z opadem w danym miesiącu. Średnia wartość dobowej sumy opadu atmosferycznego przypadającej na dzień z opadem w skali roku waha się od 3,6 mm w północnej części województwa łódzkiego do 4,2 mm w jego części południowej (rys. 17). Średnia obfitość opadu w Polsce wynosi od 3 do 4 mm na dobę (Kożuchowski 2011), czyli wskaźnik ten województwie łódzkim notuje się miejscami nieznacznie powyżej średniej. W sezonach, średnia wydajność opadu jest najwyższa latem i waha się od 5,2 mm do 6,2 mm w ciągu doby. Wyraźnie obserwuje się największą obfitość opadu w południowej części badanego obszaru, najmniejszą zaś w części północnej we wszystkich sezonach (rys. 18). Zimą średnia wydajność opadu jest dwukrotnie niższa niż latem, rzędu 2,0-2,6 mm na dobę. Wiosną i jesienią średnie sumy dobowe opadów są bardzo podobne z najwyższymi wartościami nieznacznie przekraczającymi 4 mm w południowej części omawianego obszaru (rys. 18).



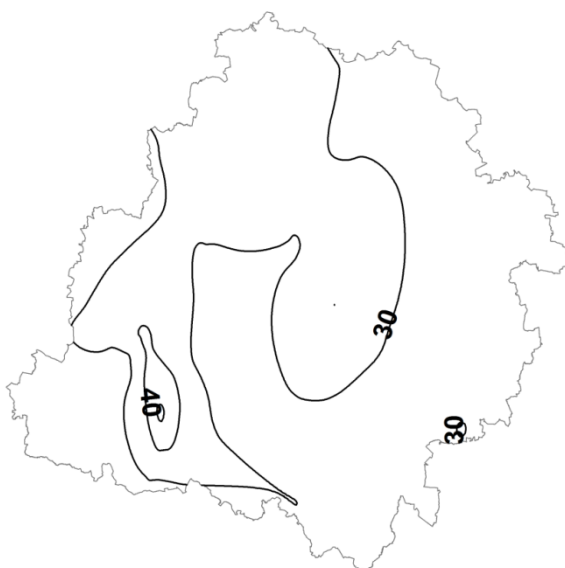
Rys. 17. Średnia obfitość opadu [mm] w województwie łódzkim w latach (1961-2015)

Fig. 17. Average precipitation abundance [mm] in the Łódź Voivodeship during the period (1961-2015)

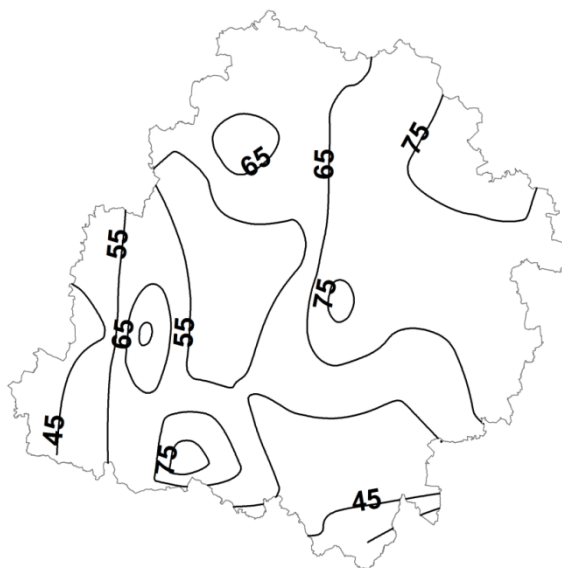
Absolutne maksima opadów dobowych w badanym okresie najmniej zróżnicowane są podczas pory zimowej, wahają się od 30 do 40 mm i są najniższe spośród wszystkich sezonów (rys. 19). Częste opady typu konwekcyjnego latem powodują, że najwyższe sumy dobowe w tym okresie i cechują się dużą nieregularnością (rys. 19). Na obszarze Polski najwyższe sumy opadów najczęściej występują w lipcu (Kožuchowski i Wibig 1988). Maksymalne wartości (105 mm) wystąpiły w północno-zachodniej części badanego obszaru (rys. 19).



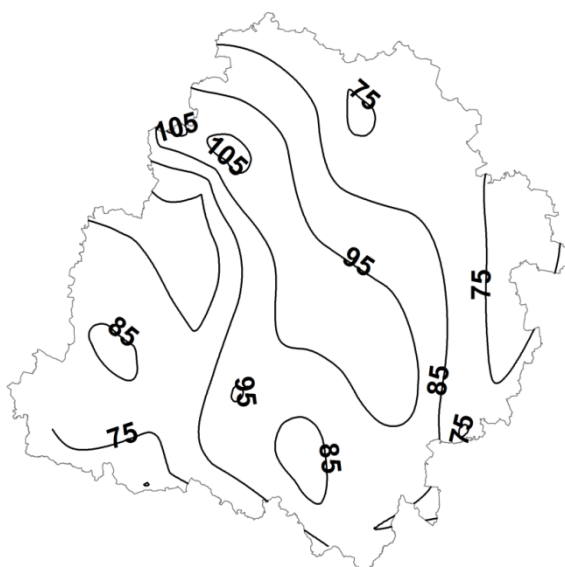
Rys.18. Średnia sezonowa obfitość opadu [mm] w województwie łódzkim w latach (1961-2015)
Fig. 18. Average seasonal precipitation abundance [mm] in the Łódź Voivodeship in the period (1961-2015)



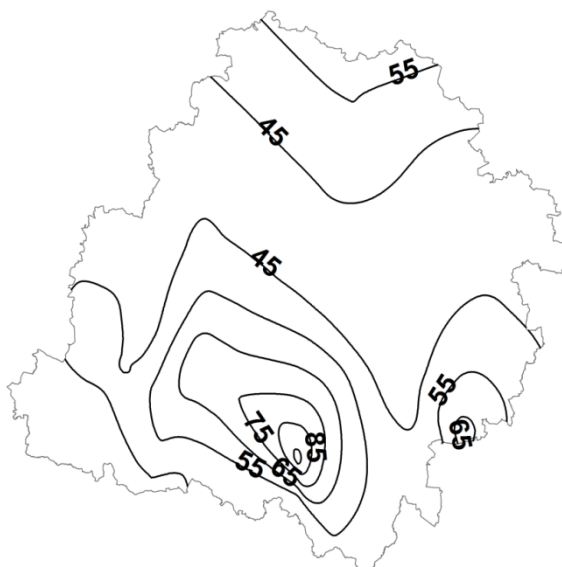
ZIMA



WIOSNA



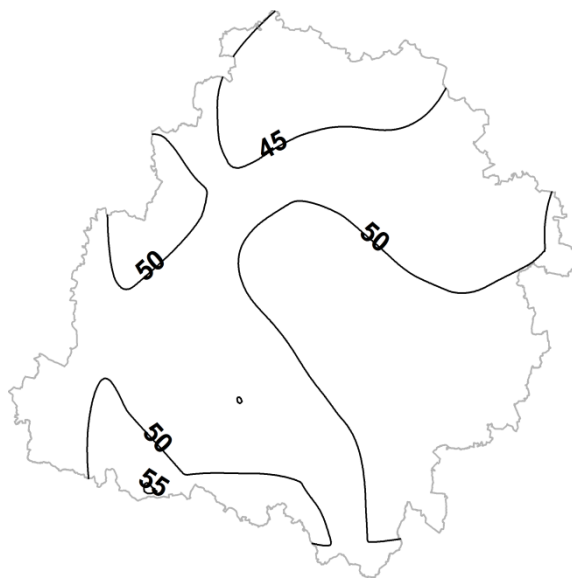
LATO



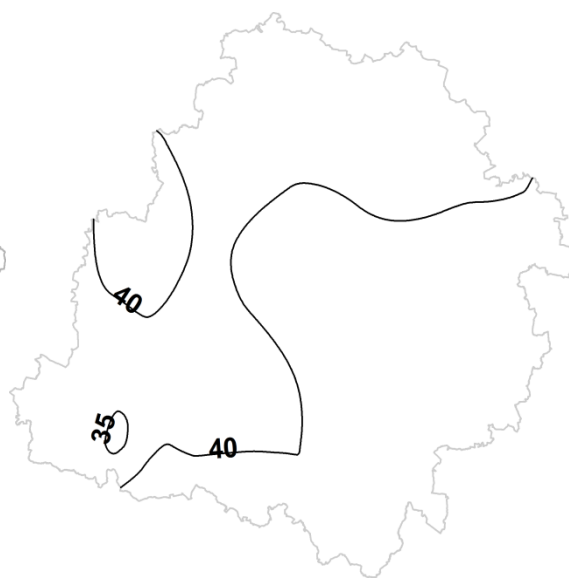
JESIEŃ

Rys. 19. Absolutne maksima opadów dobowych [mm] w poszczególnych porach roku w województwie łódzkim (1961-2015)

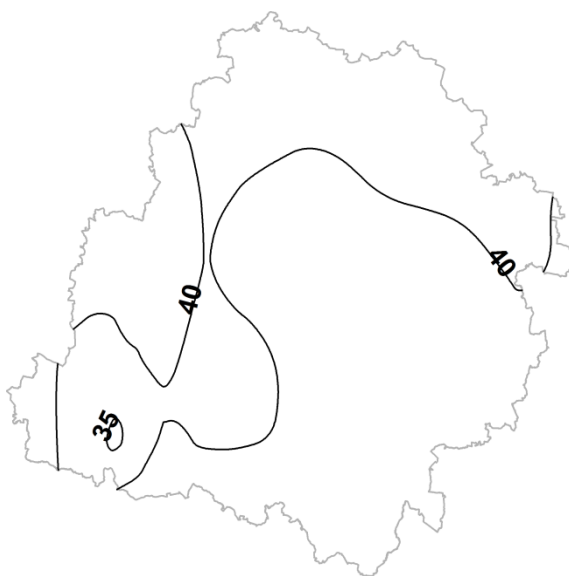
Fig. 19. Absolute maximum daily precipitation [mm] in seasons in the Łódź Voivodeship (1961-2015)



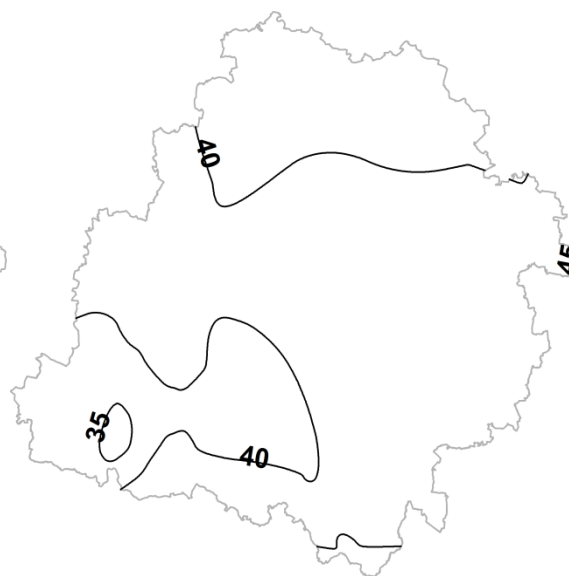
ZIMA



WIOSNA



LATO



JESIEŃ

Rys. 20. Udział procentowy dni z opadem [%] w poszczególnych porach roku w woj. łódzkim (1961-2015)

Fig. 20. Percentage share of days with precipitation [%] in seasons in the Łódź Voivodeship (1961-2015)

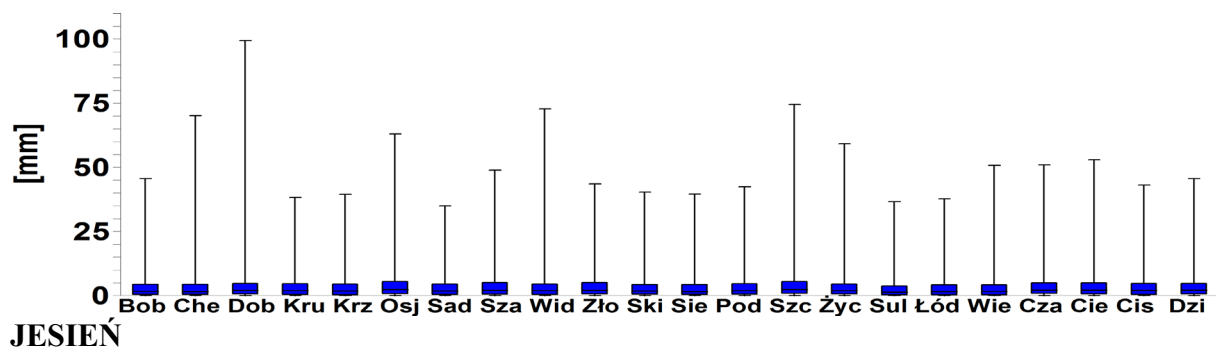
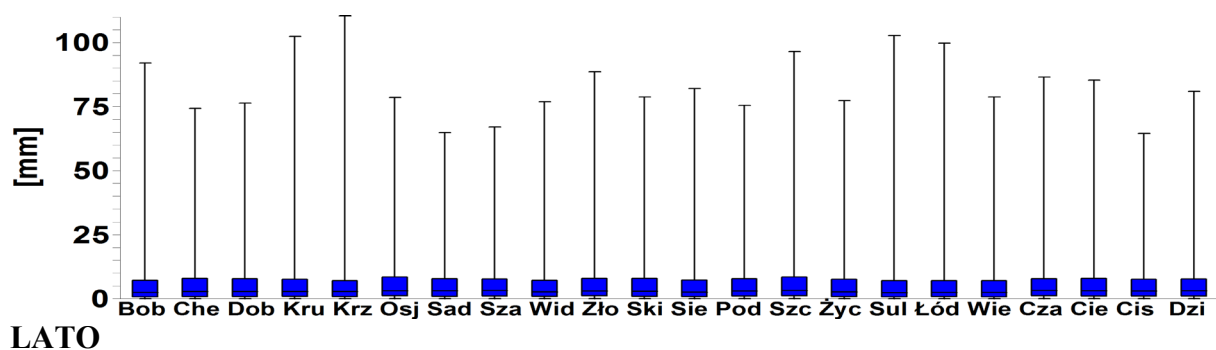
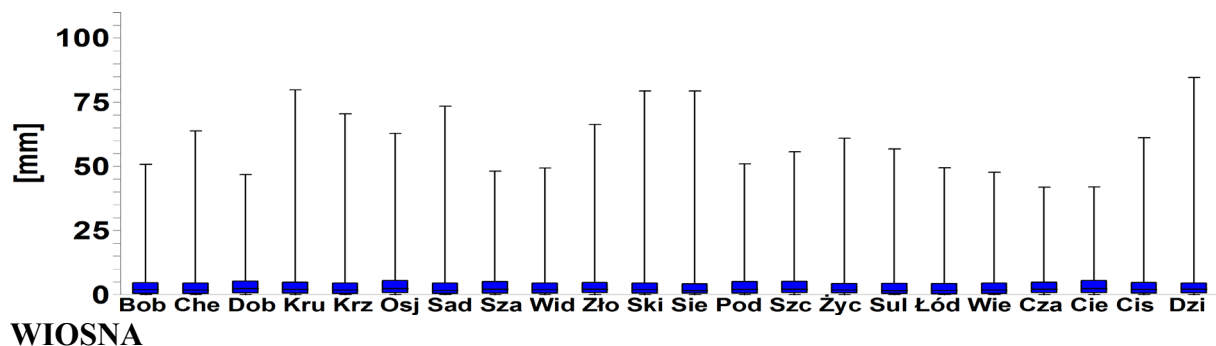
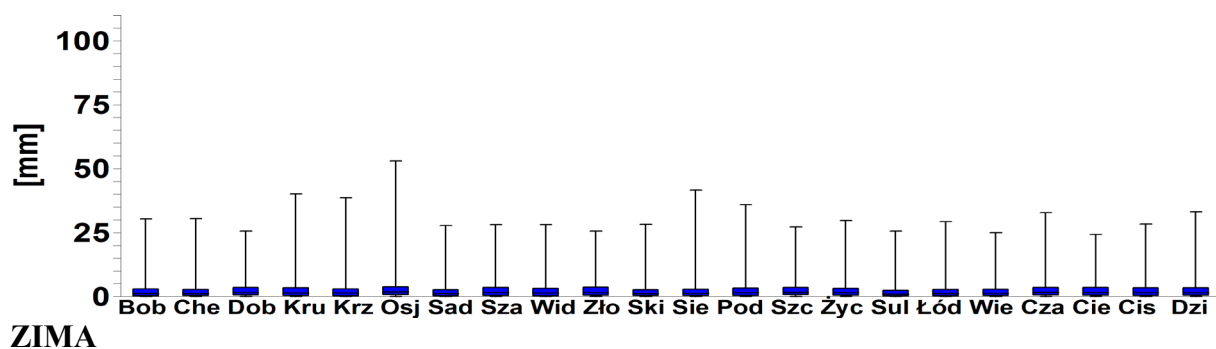
Na obszarze województwa łódzkiego średni udział dni z opadem wynosi 40% w ciągu roku, co przekłada się na 142,6 dni rocznie (Wibig i Radziun 2019). Udział dni z opadem waha się w przedziale 35-40% w okresie od wiosny do jesieni (rys. 20). Najwyższy udział jest charakterystyczny w porze zimowej - z maksymalną wartością 55% w południowej części

badanego obszaru (rys. 20). Wynika to z częstej adwekcji wilgotnych mas powietrza znad Atlantyku o tej porze roku.

Średnie sumy dobowe latem są najwyższe spośród wszystkich sezonów i dwukrotnie wyższe niż zimą (rys. 21). Latem najwyższe wartości trzeciego kwartyła wynoszące ok. 10 mm w ciągu doby wystąpiły w Osjakowie, Chełstach, Dobryszycach i Szczercowie. Wydaje się, że sumy dobowe są nieznacznie wyższe w punktach pomiarowych położonych w południowej części województwa łódzkiego i jest to najbardziej zauważalne latem. Jednocześnie lato cechuje największe spośród wszystkich sezonów zróżnicowanie sum dobowych opadów atmosferycznych (rys. 21). Mediana latem nie przekroczyła 5 mm w ciągu doby, a zimą oscylowała na poziomie 2 mm na dobę (rys. 21). Kwartył trzeci opadów dobowych latem nie przekroczył 10 mm, a zimą zaobserwowano jego wartość na poziomie poniżej 3-4 mm na dobę (rys. 21). Zimą odnotowano najniższe ze wszystkich sezonów sumy dobowe z najniższymi wartościami w Sadkowicach, Chełstach i Sulejowie (rys. 21). Wiosną i jesienią sumy dobowe są zbliżone i cechują się najmniejszym zróżnicowaniem pomiędzy punktami pomiarowymi. Kwartył trzeci sum dobowych opadów atmosferycznych wiosną i jesienią wynosił około 5 mm, a mediana około 2-3 mm w ciągu doby (rys. 21). Maksymalne sumy dobowe ok. 110 mm na dobę wystąpiły latem w Krzepocinku, a w Kruszwie i Sulejowie ok. 100 mm w ciągu doby (rys. 21).

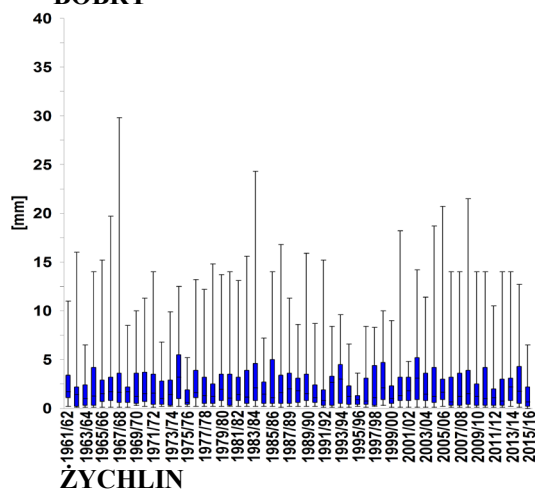
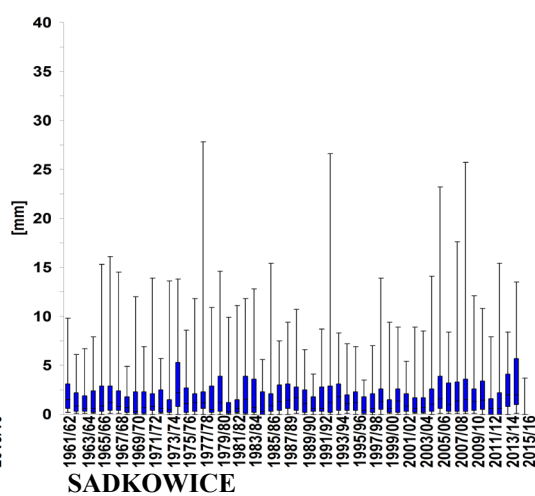
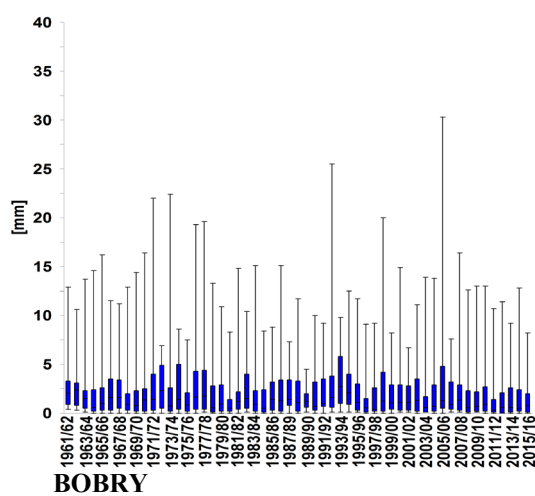
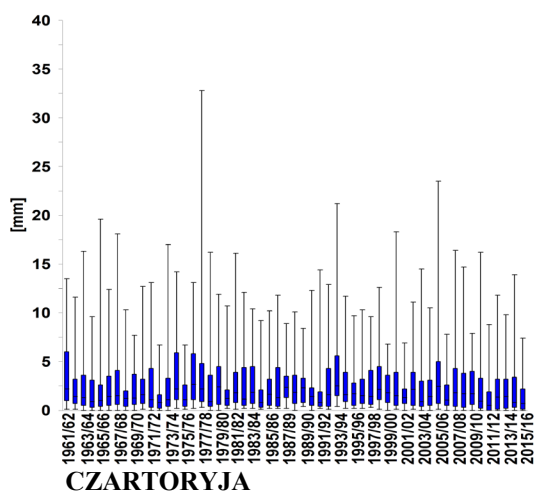
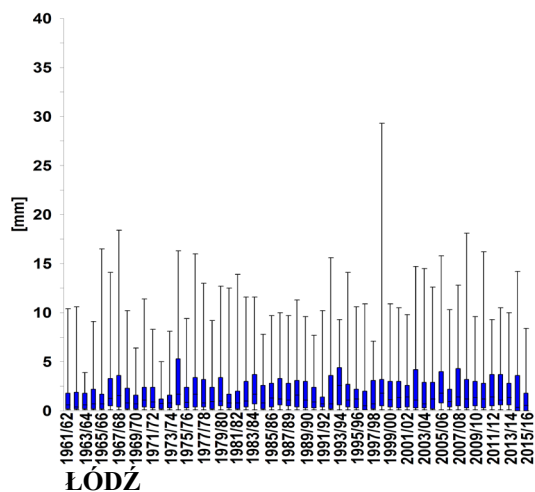
W województwie łódzkim zimą występuje najmniejsze spośród wszystkich sezonów zróżnicowanie opadów atmosferycznych, świadczy o tym najniższa wartość rozstępu kwartyłowego (rys. 22). W omawianym wieloleciu kwartył trzeci wahał się od 2,5 mm do 7,5 mm (rys. 22). Brak wyraźnych różnic w zmienności opadów atmosferycznych pomiędzy uwzględnionymi stacjami, potwierdza równomierny rozkład sum dobowych opadów atmosferycznych w przestrzeni o tej porze roku (rys. 22).

Najniższym zróżnicowaniem opadów atmosferycznych w okresie wiosennym wyróżnia się Łódź, zaś największym Żychlin (rys. 23). W województwie łódzkim trzeci kwartył sum dobowych opadu nie przekroczył 5 mm. Wiosną wartości maksymalne na wszystkich stacjach były zdecydowanie wyższe niż zimą z rekordem 73 mm i 61 mm odpowiednio na stacjach w Sadkowicach i Żychlinie (w 1962 r.). Wysokie sumy dobowe (ok. 50 mm) zaobserwowano w Łodzi (w 2015 r.) oraz Bobrach (w 2010 r.) (rys. 23). Najwyższe wartości rozstępu kwartyłowego, około 10 mm, odnotowano w Czartoryi w 2014 r. (rys. 23).



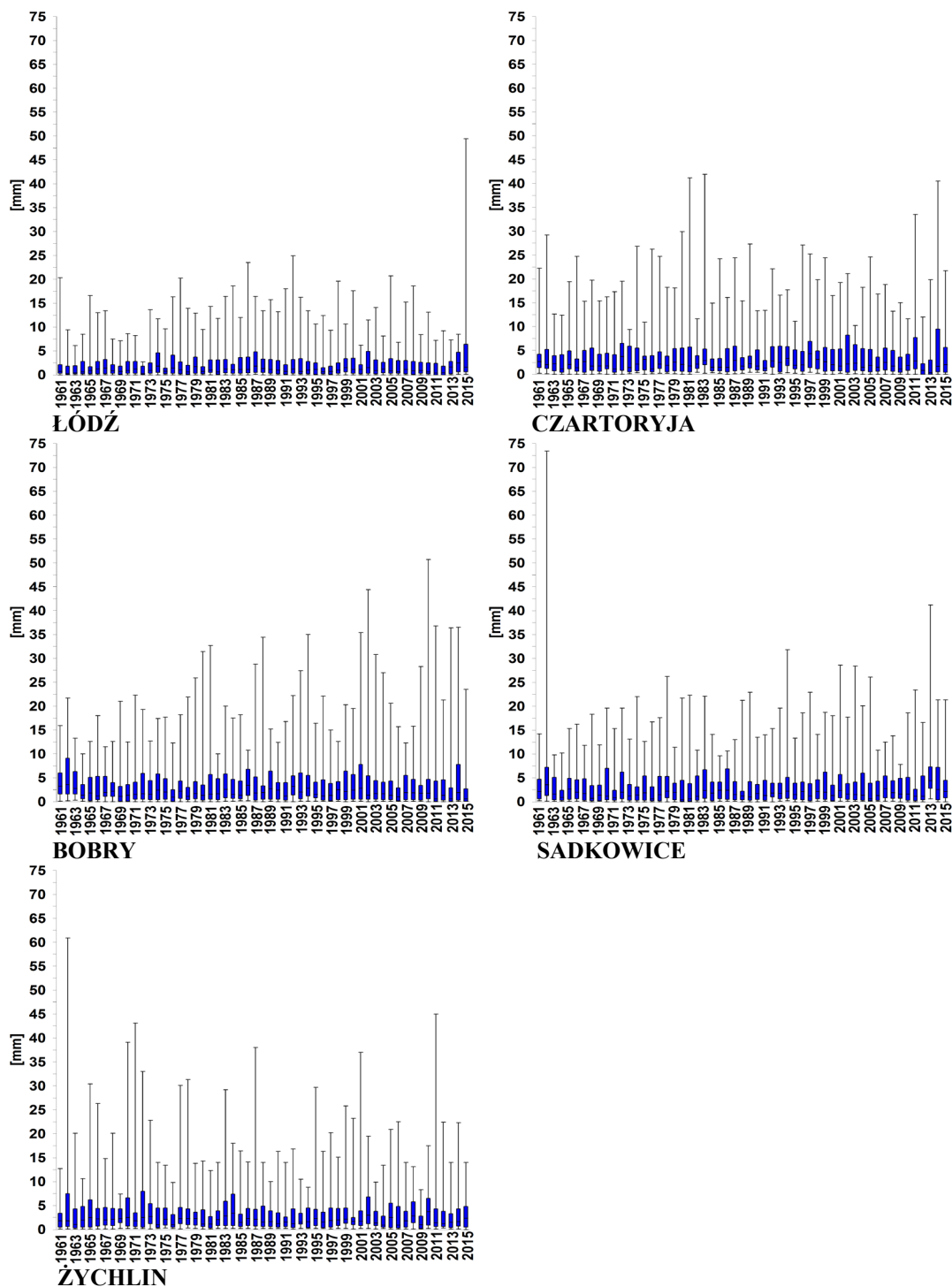
Rys. 21. Kwartyły dobowych sum opadów atmosferycznych w sezonach w województwie łódzkim (1961-2015)

Fig. 21. Quartiles of daily total precipitation in seasons in the Łódź Voivodeship (1961-2015)



Rys. 22. Kwartyle dobowych sum opadów atmosferycznych zimą (1961-2015)

Fig. 22. Quartiles of daily total precipitation in winter (1961-2015)



Rys. 23. Kwartyły dobowych sum opadów atmosferycznych wiosną (1961-2015)

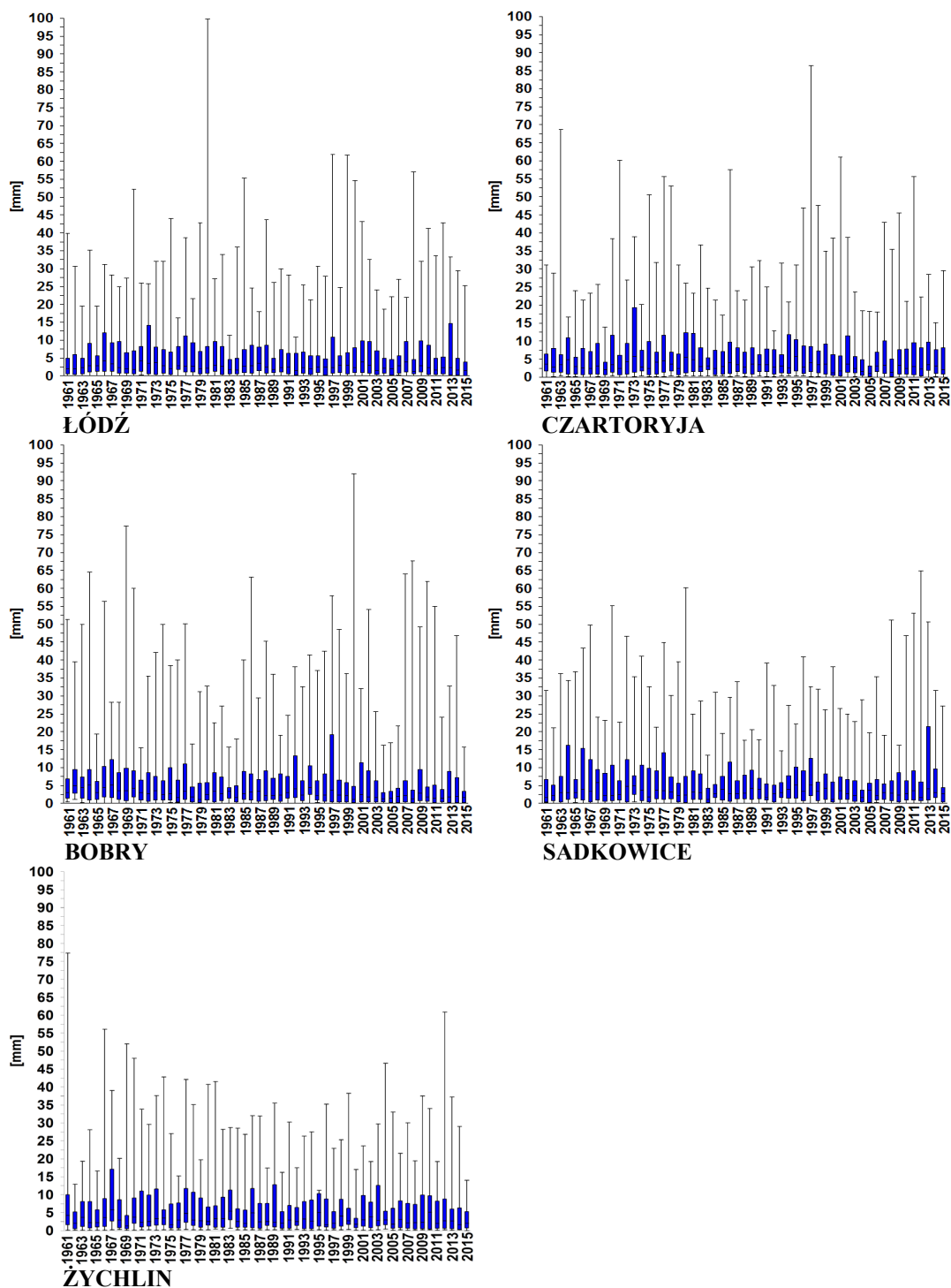
Fig. 23. Quartiles of daily total precipitation in spring (1961-2015)

Latem zmienność opadów atmosferycznych w czasie i przestrzeni jest największa spośród wszystkich pór roku, występuje największy rozrzut wartości, co potwierdza analiza Wibig i Radziuna (2019). Autorzy pokazali, że w lipcu występuje najwyższa suma dobową, mediana i rozstęp kwartyłowy w ciągu roku. Szczególnie dobrze jest to widoczne na stacjach w Czarzoryi, Sadowicach oraz Żychlinie. Najwyższy rozstęp kwartyłowy, wynoszący 25

mm, wystąpił w Sadkowicach w 2013 r., świadczy to o dużej zmienności opadów atmosferycznych o tej porze roku (rys. 24). Kwartyl trzeci wahał się od 2,5 mm do 25 mm (rys. 24). Bardzo wysokie maksymalne sumy dobowe, dochodzące do 100 mm wystąpiły w Łodzi w 1980 r. oraz do 90 mm w Bobrach (w 2000 r.) (rys. 24). Plenzler i Farat (1981) stwierdzili, że opadom tego typu, ulewnym i nawalnym, najczęściej towarzyszy jeden z trzech układów barycznych: zatoka niskiego ciśnienia, siodło baryczne bądź płytki niż (za Rzepą 2004). Podczas wspomnianych maksimów dobowych, Polska była pod wpływem zatoki niskiego ciśnienia.

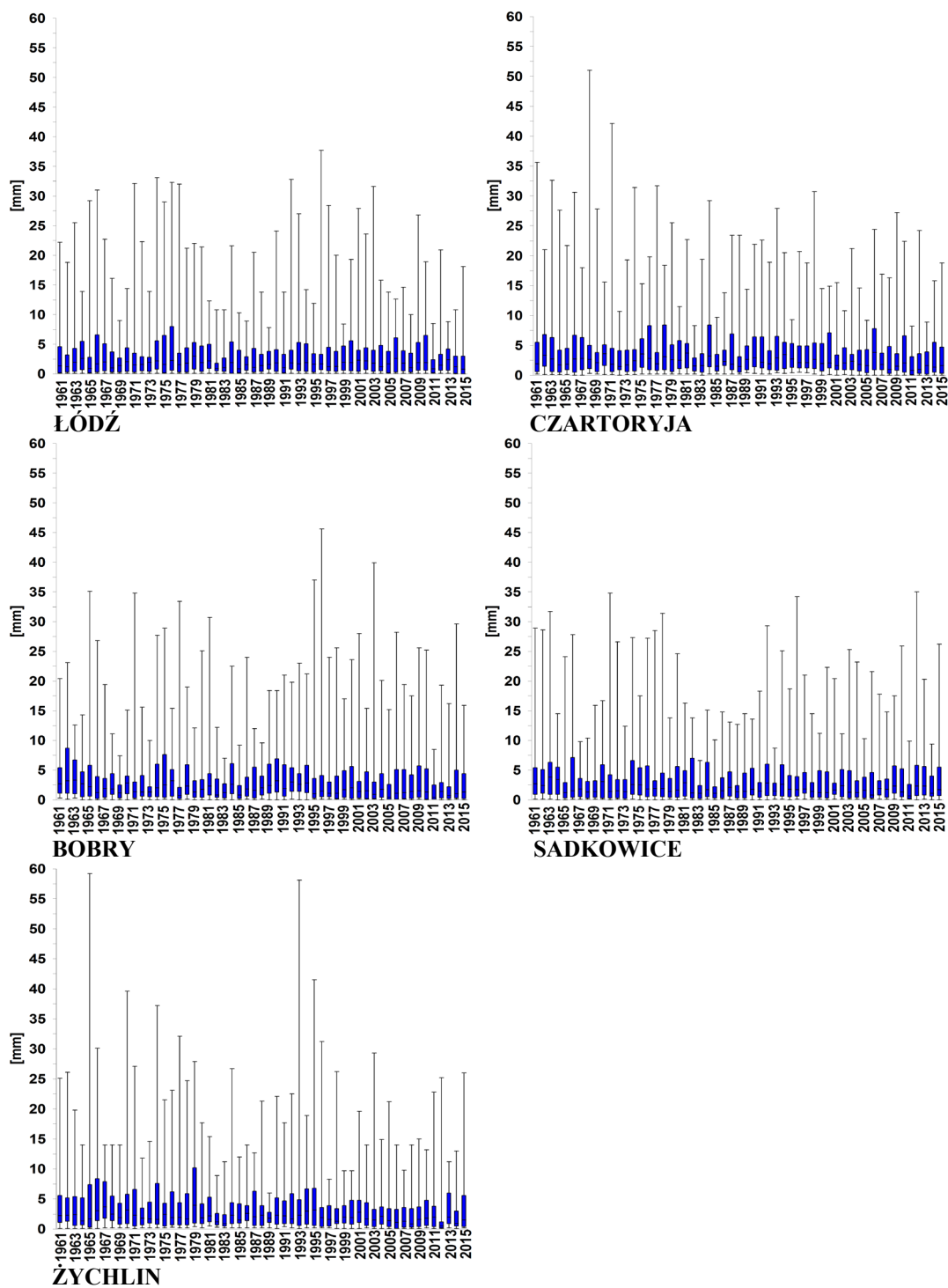
Jesienią sumy dobowe oraz ich zróżnicowanie są mniejsze niż latem i przyjmują wartości podobne do obserwowanych wiosną (rys. 23, 24, 25). W porównaniu do zdecydowanej przewagi opadów letnich nad zimowymi, opady jesieni są zbliżone do opadów wiosny (Kozuchowski i Wibig 1988). Według Chomicza (1971) opady wiosny i jesieni w Polsce są do siebie podobne z wyjątkiem wybrzeża (za Kozuchowskim i Wibig 1988).

Podsumowując, we wszystkich porach roku zmienność opadów atmosferycznych cechuje asymetria prawostronna. Odległość najwyższych wartości od mediany jest wyraźnie większa, niż wartości najniższych (Wibig i Radziun 2019). Zakres zmienności opadów różni się w zależności od pory roku. Najbardziej zbliżone są do siebie zakresy zmienności wiosny i jesieni. Najwyższe wahania sum dobowych opadów atmosferycznych, mediana oraz maksymalne wartości dobowe zaobserwowano latem, najniższe zaś zimą, świadczy to kontynentalnym reżimie opadowym (Kozuchowski i Wibig 1988).



Rys. 24. Kwartyle dobowych sum opadów atmosferycznych latem (1961-2015)

Fig. 24. Quartiles of daily total precipitation in summer (1961-2015)



Rys. 25. Kwartyle dobowych sum opadów atmosferycznych jesienią (1961-2015)
 Fig. 25. Quartiles of daily total precipitation autumn (1961-2015)

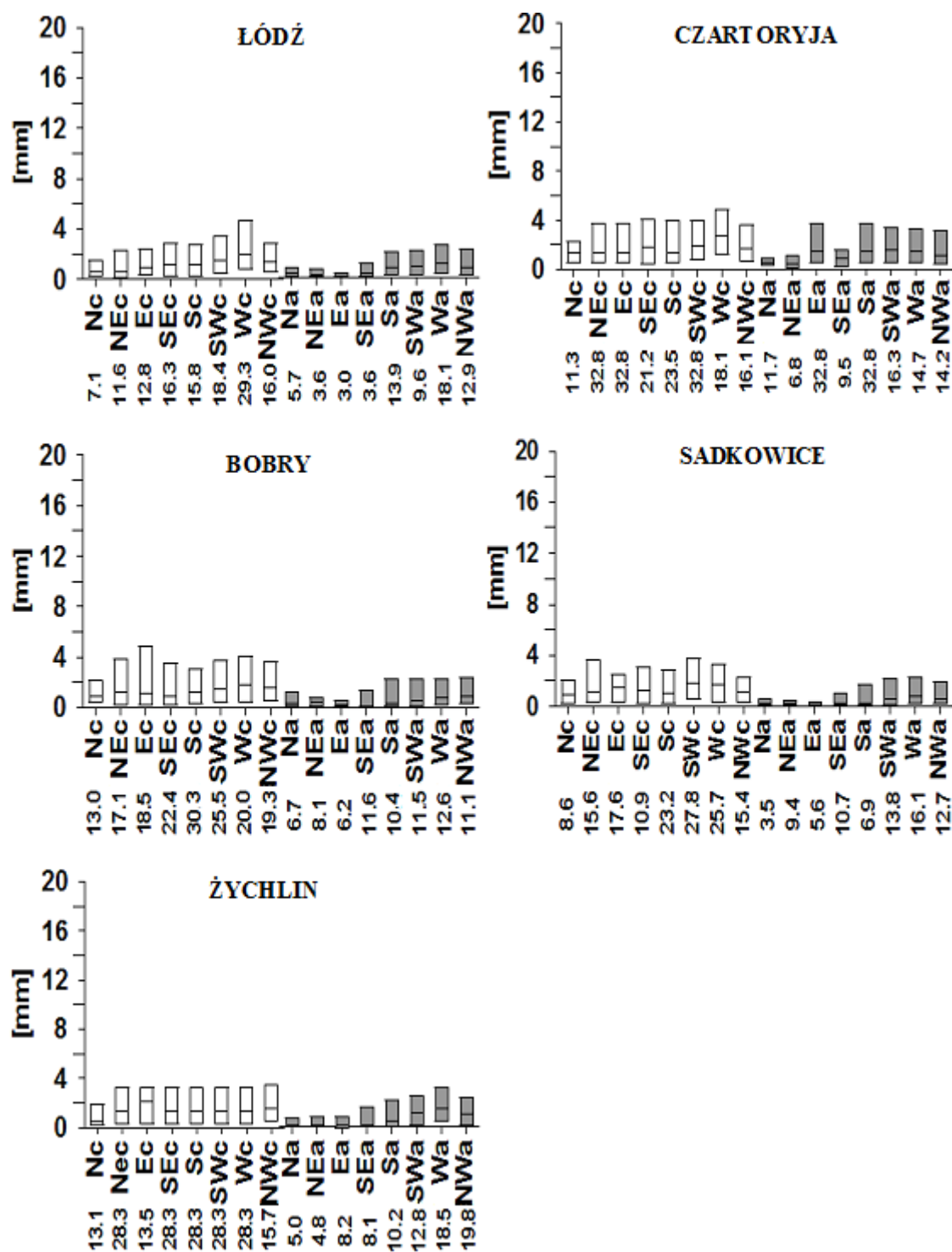
4. Opady atmosferyczne w województwie łódzkim na tle cyrkulacji atmosferycznej

Cyrkulacja atmosferyczna odgrywa znaczącą rolę w kształtowaniu opadów atmosferycznych. Piotrowski (2017) stwierdził, że Polska jest położona na obszarze o dużej dynamice zmian warunków cyrkulacyjny, które mają znaczący wpływ na panujące warunki pogodowe. Wibig i Fortuniak (1998) zauważyli, że charakter cyrkulacji atmosferycznej (cyklonalny bądź antycyklonalny) ma większy wpływ na opady atmosferyczne, niż kierunek adwekcji mas powietrza. Kożuchowski (1986) doszedł do wniosku, że zmienność opadów atmosferycznych jest wypadkową oddziaływań rzeźby terenu i cyrkulacji atmosferycznej. Kożuchowski i Wibig (1988) stwierdzili, że cyrkulacja atmosferyczna wywiera duży wpływ na wielkość opadu atmosferycznego w ciągu roku. Ewert (1984) zauważył zależność rozmieszczenia przestrzennego opadów atmosferycznych w Polsce od naprzemiennego występowania układów niżowych i wyżowych (za Kożuchowskim 1986). W wielu opracowaniach została podjęta tematyka wpływu cyrkulacji atmosferycznej na opady atmosferyczne w Polsce (Niedźwiedź 1993, Wibig 1998, 2001, Mrugała 2000, 2001, Twardosz 2000, Piotrowski 2009, Bernas i Kolendowicz 2013).

Wpływ warunków cyrkulacyjnych na opady atmosferyczne analizowano także wykorzystując kalendarz cyrkulacji atmosferycznej opracowany przez Piotrowskiego (Jędruszkiewicz i Piotrowski 2012) bazujący na automatycznej metodzie klasyfikacji cyrkulacji atmosferycznej wg. Jenkinsona i Collisona (1977).

4.1. Sezonowe sumy opadów atmosferycznych na tle cyrkulacji atmosferycznej

Mając na uwadze zmienność cech termiczno-wilgotnościowych mas powietrza w zależności od pory roku można wnioskować, iż ma to znaczący wpływ na sezonowe sumy opadów atmosferycznych. Zimą, sumy dobowe opadów są wyższe podczas cyrkulacji cyklonalnej niż cyrkulacji antycyklonalnej (rys. 26). Najwyższe sumy wystąpiły podczas typu cyrkulacji Wc w Łodzi i Czarzynie. Na wszystkich stacjach trzeci kwartył dobowych sum opadu nie przekraczał 6 mm a mediana wyniosła poniżej 2 mm (rys. 26). Najniższe sumy dobowe opadów zimą zaobserwowano podczas typów Na, NEa, Ea i w przypadku pierwszego typu jest to skutkiem adwekcji chłodnych i suchych mas powietrza arktycznego, a w pozostałych dwóch przyczyną niskich opadów jest napływ nad obszar województwa łódzkiego suchego, kontynentalnego powietrza ze wschodu (rys. 26).



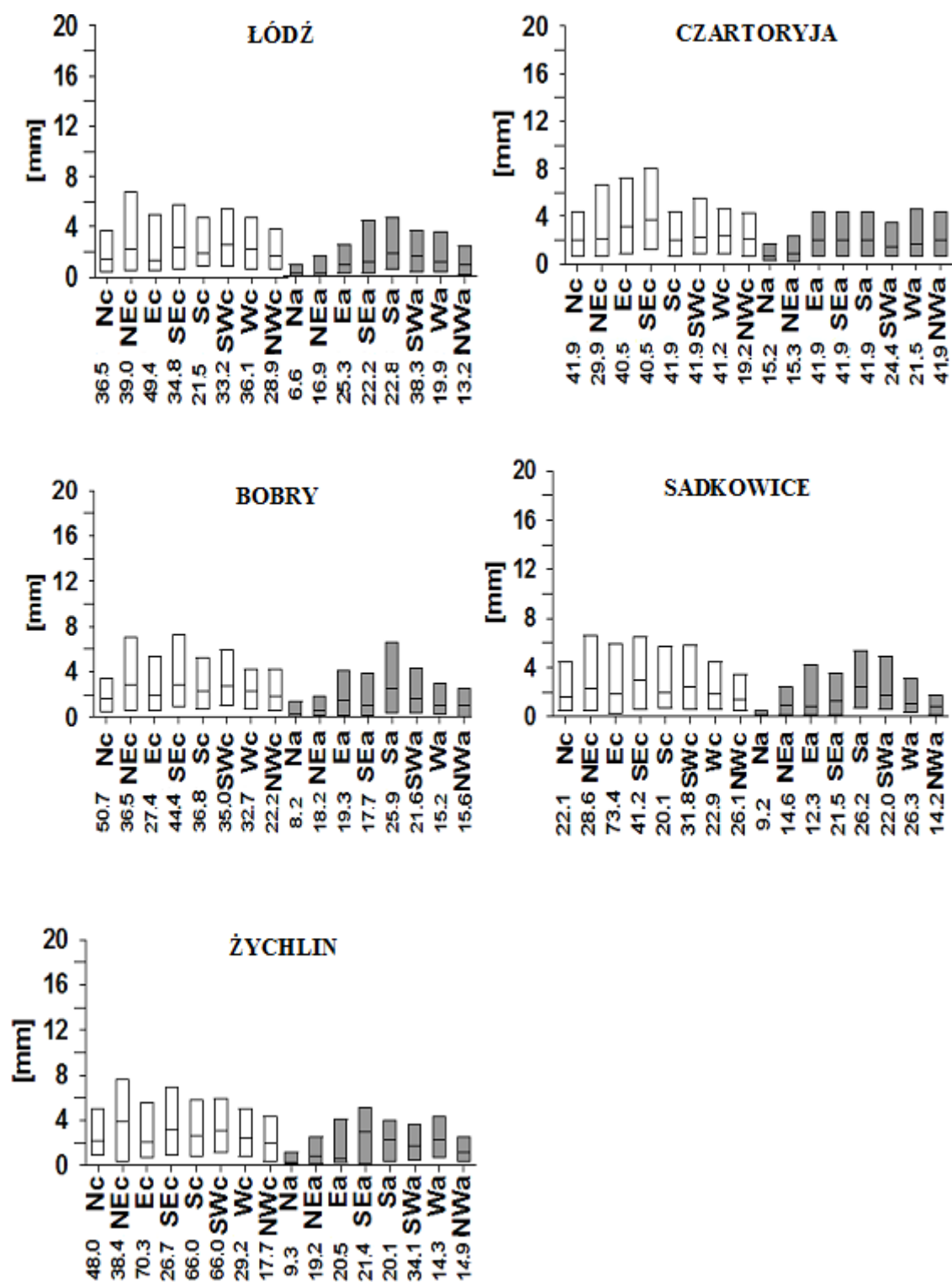
Rys. 26. Kwartyły dobowych sum opadów atmosferycznych w zależności od typów cyrkulacji atmosferycznej zimą na wybranych punktach pomiarowych (1961-2015). Wartości podane pod osią x odpowiadają wartościom maksymalnym

Fig. 26. Quartiles of daily total precipitation in relation to winter atmospheric circulation types for selected measurement points (1961-2015). The values under the x axis correspond to the maximum values

Wiosną trzeci kwartył sum dobowych opadów atmosferycznych sięgnął 8 mm podczas typów NEc, SEc (rys. 27). Najwyższe sumy dobowe odnotowano w Sadkowicach 73,4 mm oraz 70,3 mm w Walewicach podczas typu Ec (rys. 27).

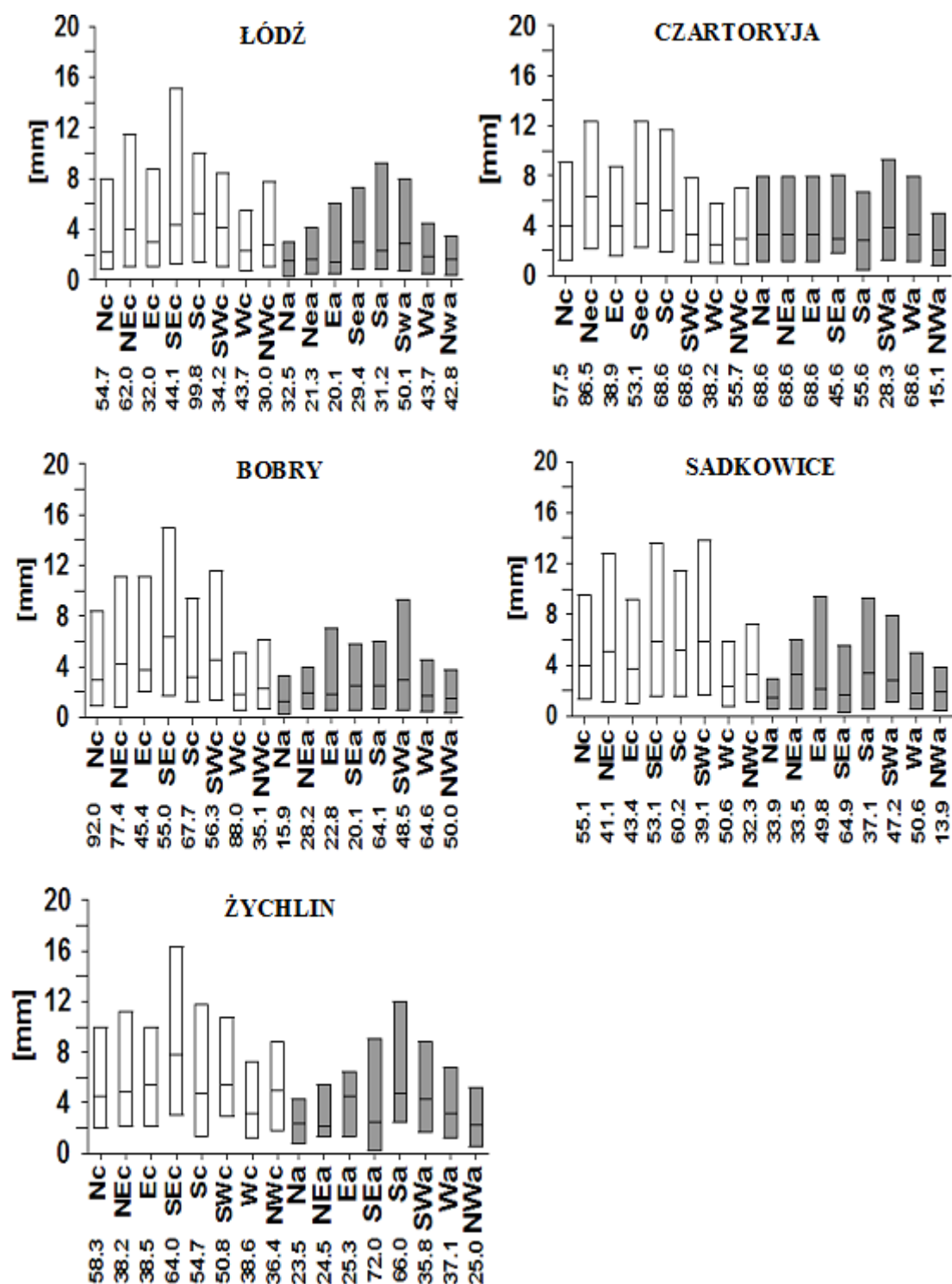
Latem wystąpiły najwyższe średnie sumy dobowe opadu atmosferycznego. Były one średnio dwukrotnie wyższe niż zimą. Podczas typu SEc trzeci kwartył dobowych sum opadu wyniósł ok. 16 mm w Łodzi, Bobrach i Walewicach i były to najwyższe wartości w sezonie letnim (rys. 28). Wysokie sumy pojawiały się również podczas typu SWc. W sezonie letnim najwyższe sumy dobowe występowały podczas napływu mas powietrza z kierunku południowego (Piotrowski 2009). Rekordowy, maksymalny opad dobowy (92 mm) wystąpił w Bobrach (rys. 28). W Polsce najwyższe sumy dobowe opadów mają często związek z powstaniem zatoki niskiego ciśnienia i towarzyszącej jej często silnej konwekcji podczas przejścia frontu chłodnego (Rzepa 2004). Natomiast według Siwka (2010), na przykładzie Lubelszczyzny, najczęstszą przyczyną wysokich sum dobowych jest układ niskiego ciśnienia z centrum, na południe lub południowy-wschód od Polski. W takiej sytuacji dochodzi do adwekcji ciepłych mas powietrza o równowadze chwiejnej, którym często towarzyszą zjawiska burzowe i obfite opady deszczu w wąskiej strefie. Drugą przyczyną wysokich sum dobowych opadów atmosferycznych według Siwka (2010) jest sytuacja, podczas której układ niskiego ciśnienia z ciepłymi masami powietrza jest blokowany przez wyż znajdujący się na północ lub wschód od Polski. Sprzyja to generowaniu frontów i rozległych stref opadów atmosferycznych. Najniższymi wartościami kwartyła trzeciego, poniżej 4 mm, cechował się typ cyrkulacji Na (rys. 28).

Jesienią najwyższe wartości trzeciego kwartyła sum dobowych (8-13 mm) występują podczas typu Ec (rys. 29). Najniższe wartości trzeciego kwartyła sum dobowych występują podczas typu Na (rys. 29). Jesienią trzeci kwartył sum opadów dobowych osiągał wartości od 4 do 13 mm na wszystkich stacjach podczas typu Ec (rys. 29). Piotrowski (2009) stwierdził, że najwyższe opady atmosferyczne występują podczas typu NE-EcN (typ północno-wschodni i wschodni, częściowo północny cyklonalny wg klasyfikacji Osuchowskiej-Klein), co jest zbieżne z głównym kierunkiem adwekcji sprzyjającym wysokim opadom opisanym w tej pracy. Najniższe sumy dobowe wystąpiły podczas typu Na (rys. 29). Jesienią, tak jak i wiosną, osłabieniu ulega cyrkulacja strefowa w wyniku wyrównania temperatury powierzchni oceanu i kontynentu, skutkiem czego rzadziej napływają masy powietrza znad Oceanu Atlantyckiego.



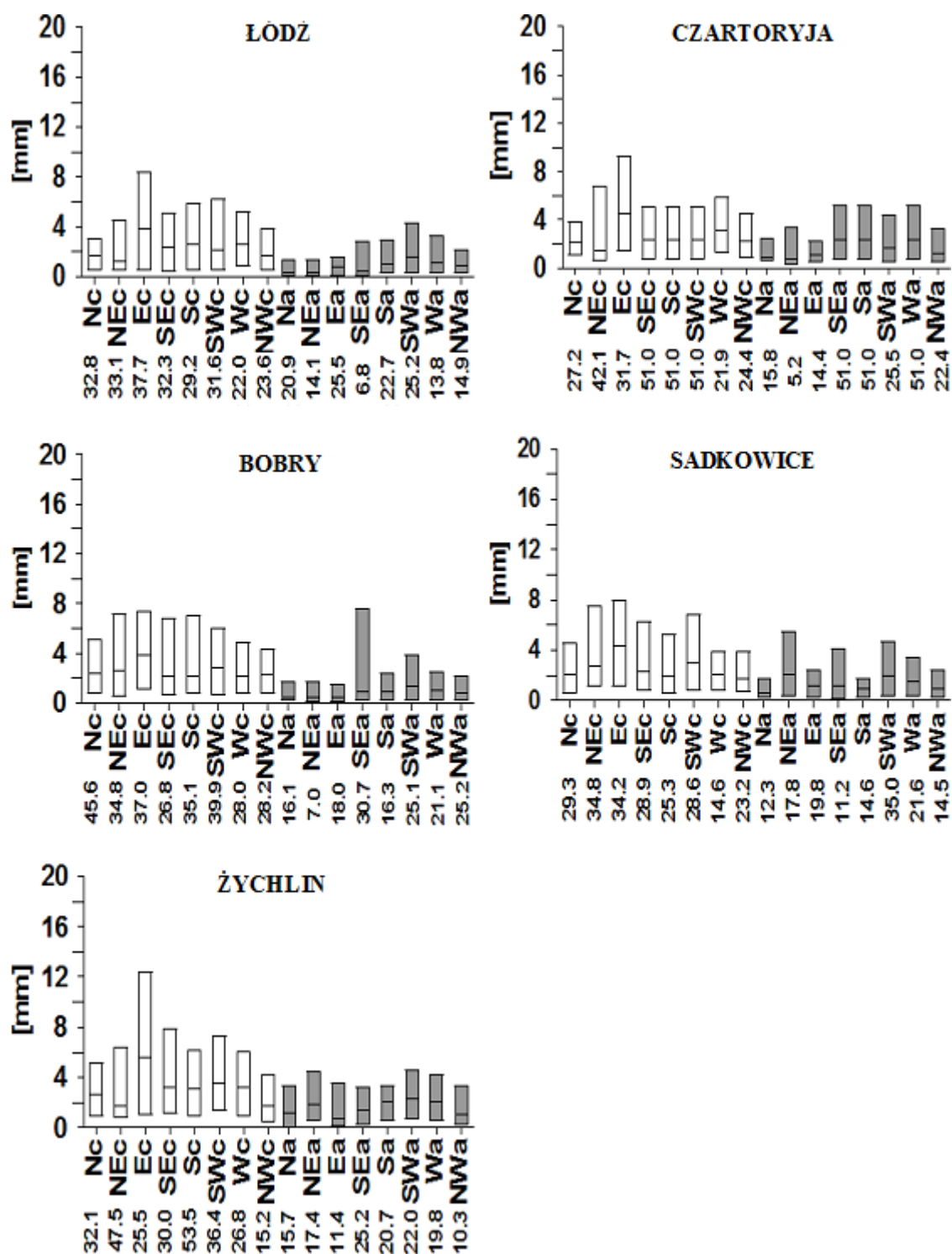
Rys. 27. Kwartyły dobowych sum opadów atmosferycznych w zależności od cyrkulacji atmosferycznej wiosną na wybranych punktach pomiarowych (1961-2015). Wartości podane pod osią x odpowiadają wartościom maksymalnym

Fig. 27. Quartiles of daily total precipitation depending on spring atmospheric circulation at selected measurement points (1961-2015). The values under the x axis correspond to the maximum values



Rys. 28. Kwartyle dobowych sum opadów atmosferycznych w zależności od cyrkulacji atmosferycznej latem na wybranych punktach pomiarowych (1961-2015). Wartości podane pod osią x odpowiadają wartościom maksymalnym

Fig. 28. Quartiles of daily total precipitation depending on atmospheric circulation in summer at selected measurement points (1961-2015). The values under the x axis correspond to the maximum values



Rys. 29. Kwartyły dobowych sum opadów atmosferycznych w zależności od cyrkulacji atmosferycznej jesienią na wybranych punktach pomiarowych (1961-2015). Wartości podane pod osią x odpowiadają wartościom maksymalnym

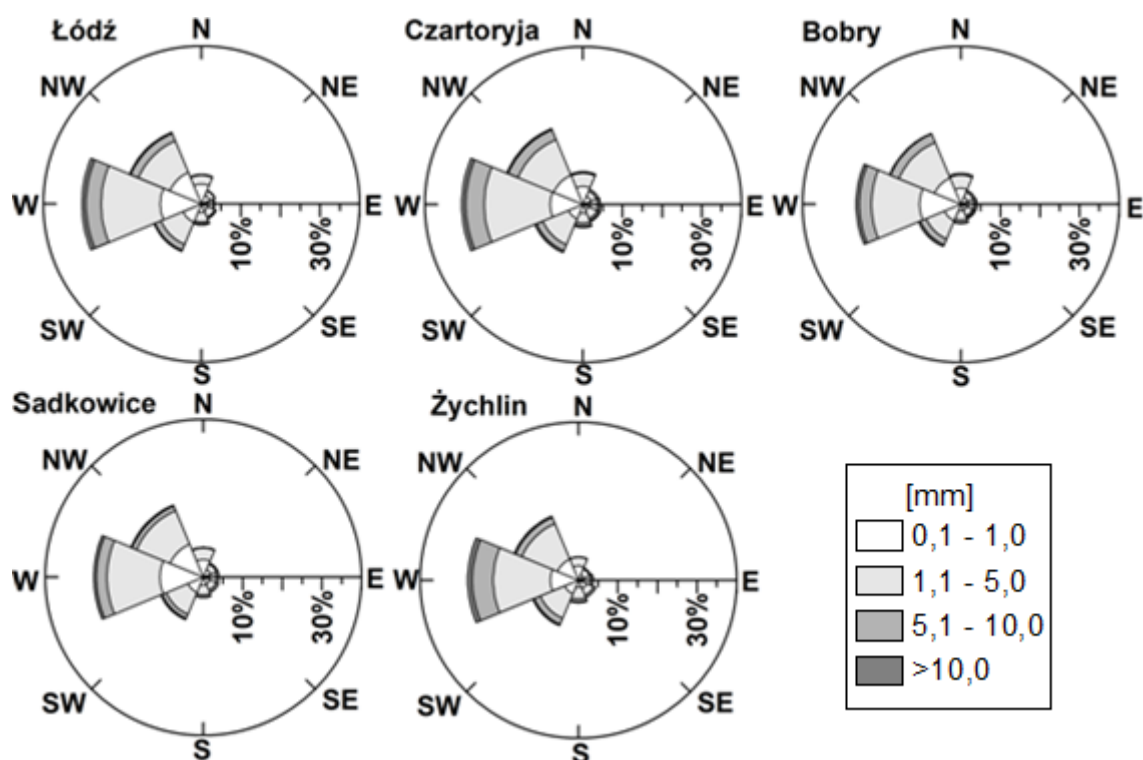
Fig. 29. Quartiles of daily total precipitation depending on atmospheric circulation in autumn at selected measurement points (1961-2015). The values under the x axis correspond to the maximum values

4.2. Częstość opadów atmosferycznych w zależności od ich wielkości oraz kierunku adwekcji w poszczególnych sezonach

Częstość opadów w klasach wielkości jest ilorazem liczby wszystkich przypadków opadów dobowych w danym przedziale klasowym i adwekcją z wybranego kierunku przez liczbę wszystkich dni z opadem. Po pomnożeniu przez 100 otrzymuje się częstość wyrażoną w procentach. Zastosowano podział klasowy wielkości opadów atmosferycznych zaproponowany przez Olechnowicz-Bobrowską (1970), gdzie suma opadu rzędu 0,1-1,0 mm oznacza opad bardzo słaby, 1,1-5,0 mm opad słaby, 5,1-10 mm opad umiarkowany. Opady klasy 10,1-20 mm (umiarkowanie silne), 20,1-30 mm (opady silne) oraz równe bądź wyższe od 30,1 mm (opady bardzo silne) zostały zaliczone do jednej klasy i określono je jako "opad silny" (rys. 30, 31, 32, 33). Powyższe zmiany zostały wprowadzone, w celu wyraźniejszego zobrazowania różnic częstości opadów na rysunkach (rys. 30, 31, 32, 33).

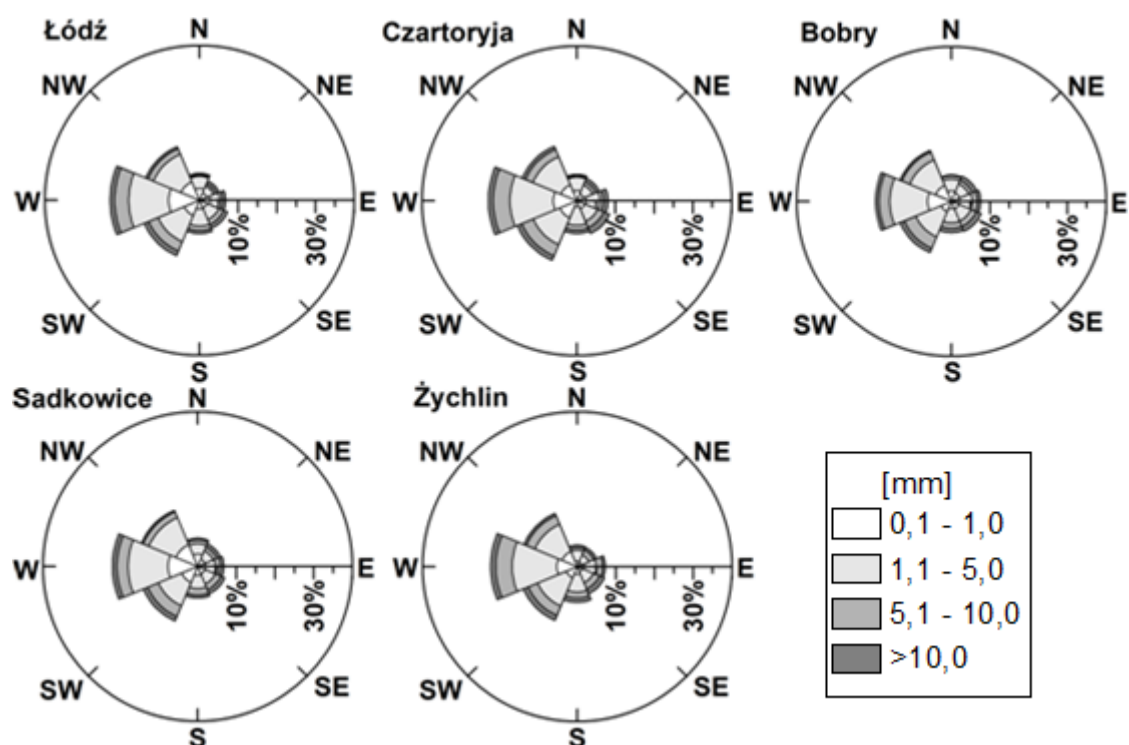
W porze zimowej najczęściej odnotowuje się opady słabe, rzędu 1,1-5,0 mm, przy napływie mas powietrza z kierunku zachodniego oraz północno-zachodniego. Różnice pomiędzy stacjami są wówczas bardzo małe (rys. 30). Częstość wszystkich opadów z kierunku zachodniego wynosi 30%, a z kierunku NW 20% (Rys. 30). Najrzadziej występują opady z kierunków NE, E, SE i ich częstości nie przekraczają 5% (rys. 30). Opady o najwyższych sumach dobowych >10,0 mm pojawiają się najrzadziej, z częstością nie przekraczającą 1% (rys. 30).

Wiosną rozkład częstości poszczególnych przedziałów sum dobowych opadów w zależności od kierunku adwekcji jest zbliżony do zimowego. Najwyższą częstością charakteryzują się opady podczas adwekcji z kierunków W (25%), NW (20%) oraz SW (18%) (rys. 31). Różnice w częstości sum opadów są bardzo nieznaczne między stacjami dla wszystkich wyróżnionych kierunków. Podczas wiosny zasadniczą różnicą w stosunku do pory zimowej jest dwukrotnie wyższa częstość opadów z kierunków NE, E i SE (rys. 31). W sezonie wiosennym dominują opady słabe 1,1-5,0 mm. Najrzadziej pojawiają się opady podczas napływu mas powietrza z kierunku NE. Ich częstości oscylują na poziomie 5% (rys.31).



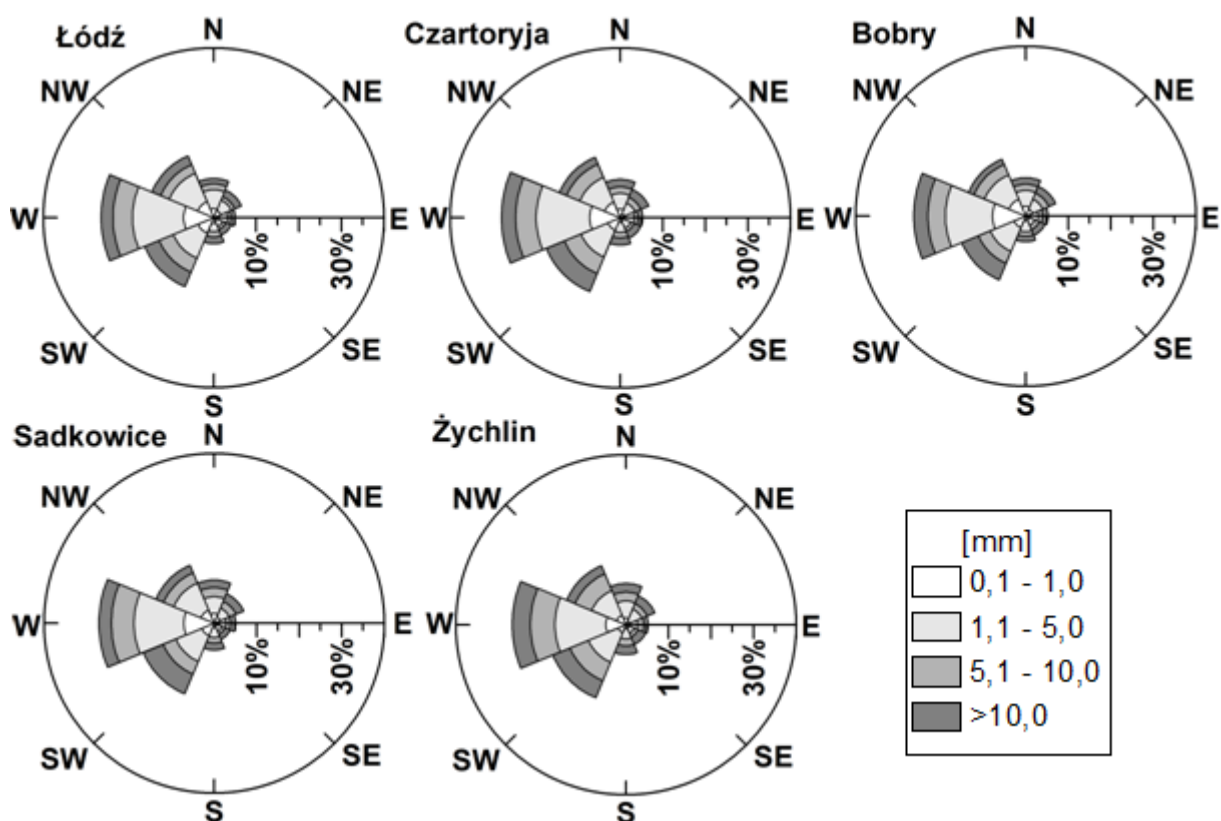
Rys. 30. Częstość opadów atmosferycznych [%] w zależności od ich wielkości oraz kierunku adwekcji w porze zimowej (1961-2015)

Fig. 30. Precipitation frequency [%] in relation to its height and direction of advection in winter (1961-2015)



Rys. 31. Częstość opadów atmosferycznych [%] w zależności od ich wielkości oraz kierunku adwekcji w porze wiosennej (1961-2015)

Fig. 31. Precipitation frequency [%] in relation its height and direction of advection in spring (1961-2015)

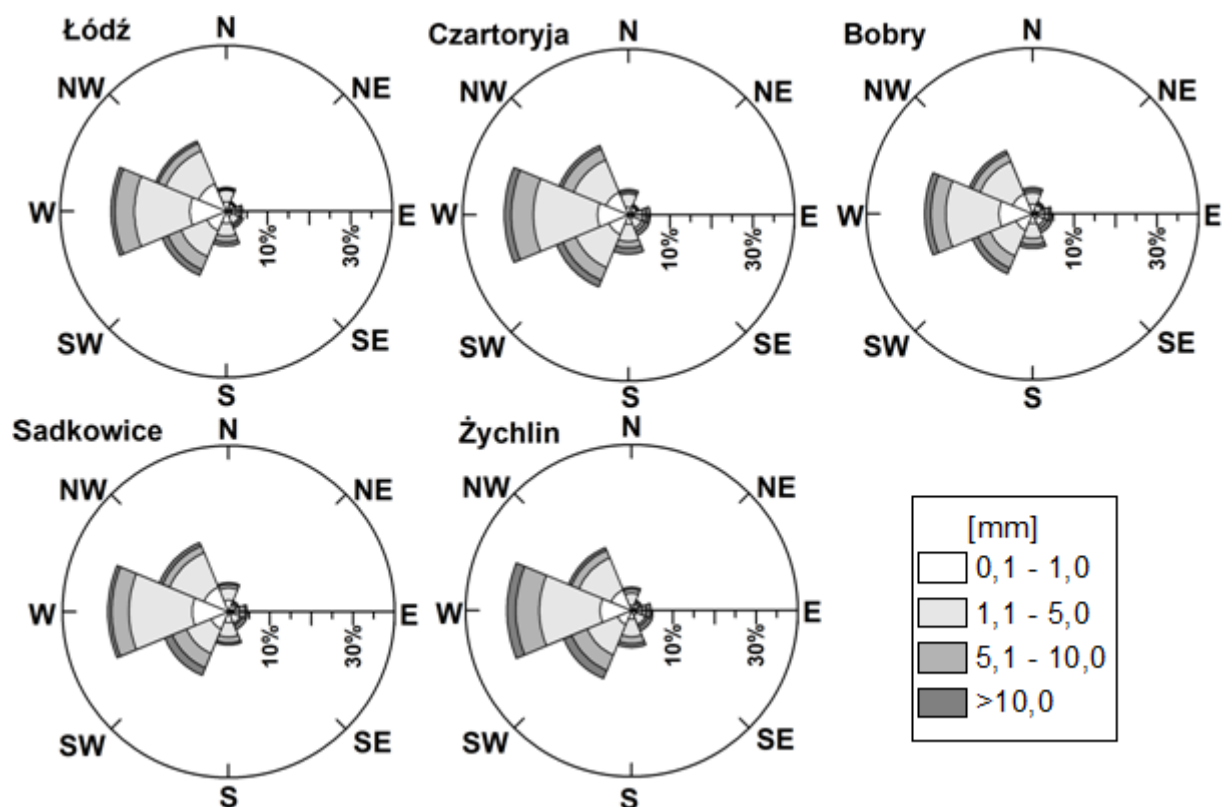


Rys. 32. Częstość opadów atmosferycznych [%] w zależności od ich wielkości oraz kierunku adwekcji w porze letniej (1961-2015)

Fig. 32. Precipitation frequency [%] in relation its height and direction of advection in summer (1961-2015)

Latem najczęściej opady występują podczas adwekcji z kierunków W (25%) i SW (20%) (rys. 32). Sezon letni charakteryzuje się wyższą częstością opadów umiarkowanych 1,1-5,0 mm i silnych >10,0 mm w stosunku do zimy i wiosny, co jest związane z wyższą frekwencją opadów typu konwekcyjnego o tej porze roku (Piotrowski 2009) (rys. 32). Na wszystkich uwzględnionych stacjach opady atmosferyczne z sektora wschodniego i południowo-wschodniego występują najrzadziej (nie przekraczają 5%) (rys. 32). Nie występują znaczne różnice pomiędzy wyznaczonymi stacjami.

Jesienią najwyższa częstość opadów atmosferycznych, podobnie jak w pozostałych sezonach, jest charakterystyczna dla adwekcji z kierunków: W (ok. 30%), NW i SW (ok. 20%) (rys. 33). Najrzadziej opady występują podczas napływu mas powietrza z kierunku NE (nie przekraczają 2%) (rys. 33).



Rys. 33. Częstość opadów atmosferycznych [%] w zależności od ich wielkości oraz kierunku adwekcji w porze jesiennej (1961-2015)

Fig. 33. Precipitation frequency [%] in relation its height and direction of advection in the autumn (1961-2015)

Podsumowując, we wszystkich porach roku najwyższą częstością opadów atmosferycznych wyróżnia się kierunek zachodni na wszystkich uwzględnionych stacjach (szczególnie w przedziale 1,1-5,0 mm z częstością 25-30%). Według Piotrowskiego (2009), w Łodzi najczęściej obserwuje się opad podczas typów Wc i NWcN (typ cyrkulacji północno-zachodni, częściowo północny antycyklonalny). W porze letniej występuje wyraźny wzrost częstości opadów umiarkowanych 5,1-10,0 mm i silnych >10,0 mm. We wszystkich porach roku nie wystąpiły znaczące różnice pomiędzy wytypowanymi stacjami.

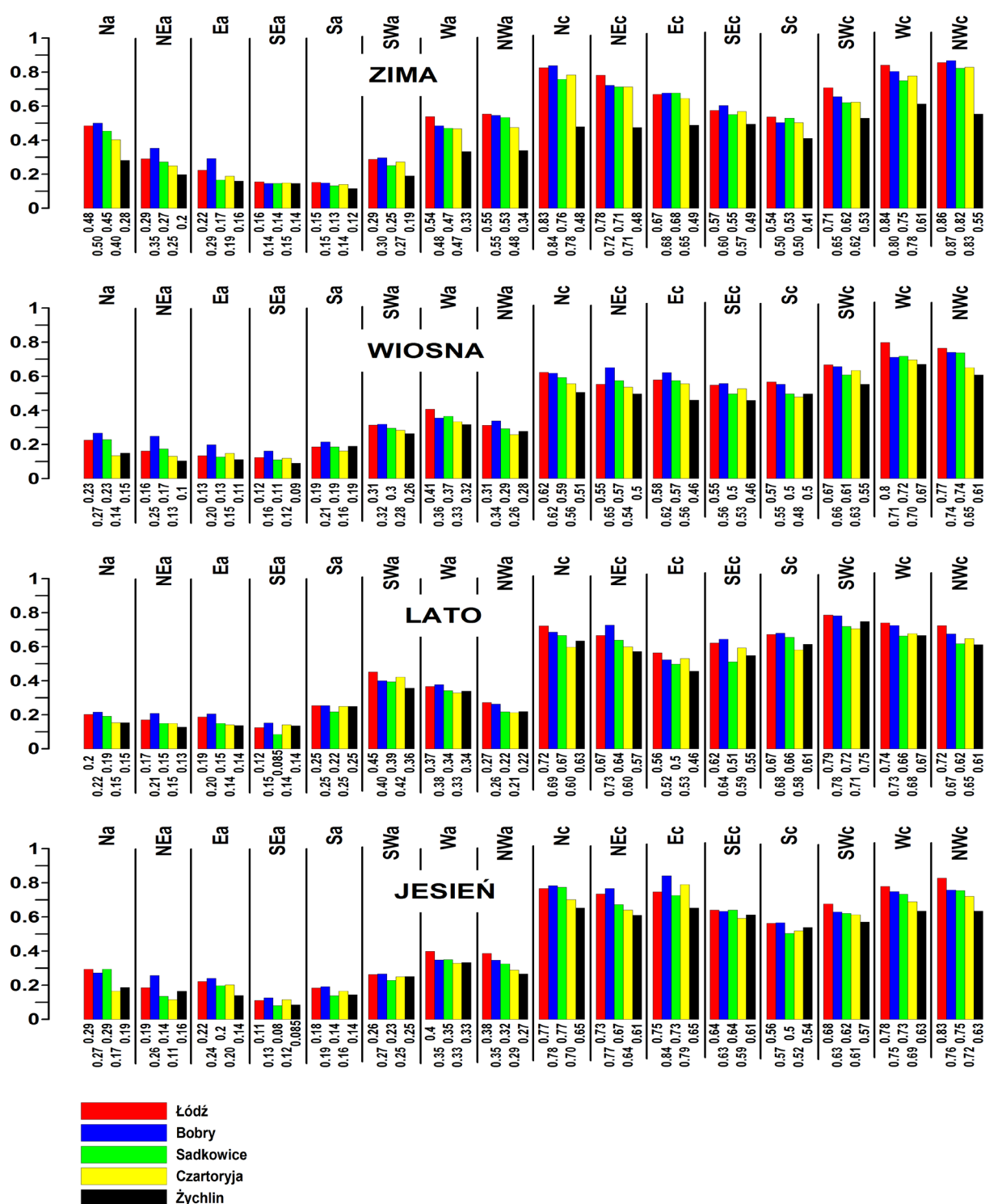
4.3. Prawdopodobieństwo warunkowe opadu atmosferycznego w zależności od cyrkulacji atmosferycznej

Analiza prawdopodobieństwa warunkowego wystąpienia opadu atmosferycznego podczas określonego typu cyrkulacji atmosfery pozwala na uzyskanie dodatkowych informacji statystycznych, bardziej istotnych z punktu widzenia wpływu cyrkulacji atmosferycznej na pojawienie się opadu atmosferycznego. Prawdopodobieństwo warunkowe jest ilorazem liczby dni z opadem podczas danego typu cyrkulacji atmosferycznej i liczby

wszystkich dni z danym typem cyrkulacji. Osiągnięcie liczby 1 znaczyłoby wystąpienie opadu podczas wszystkich dni z danym typem cyrkulacji (rys. 34).

Podczas sytuacji antycyklonalnych najwyższe częstości występowania opadów odnotowano podczas typów: SWa, Wa i NWa z maksymalnym prawdopodobieństwem 0,55 w Łodzi podczas typu NWa w zimie. Wysokim prawdopodobieństwem pojawienia się opadu cechuje się także typ NWa podczas zimy z maksymalnymi wartościami 0,48 w Łodzi i 0,5 w Bobrach (rys. 34). Prawdopodobieństwo opadu podczas typów antycyklonalnych NEa, Ea, SEa i Sa jest niższe o ok. 0,3 w porównaniu do odpowiedników cyklonalnych. W zimie podczas typów antycyklonalnych SEa, Sa prawdopodobieństwo wystąpienia opadu atmosferycznego jest najniższe, waha się od 0,12 w Żychlinie do 0,16 w Łodzi (rys. 34). Podobnie, wiosną, latem i jesienią podczas typu SEa obserwuje się najmniejsze prawdopodobieństwo wystąpienia opadu i nie przekracza ono 0,16 na wszystkich uwzględnionych stacjach.

Prawdopodobieństwo warunkowe wystąpienia opadu jest najwyższe podczas typów cyklonalnych we wszystkich porach roku (rys. 34). W zimie, podczas typów: Wc, NWc, Nc i NEc w Łodzi i Bobrach wystąpiły najwyższe wartości prawdopodobieństwa spośród wszystkich uwzględnionych punktów pomiarowych i wyniosły odpowiednio w Łodzi: 0,84, 0,86, 0,83 i 0,78 i Bobrach: 0,80, 0,87, 0,84 i 0,72 (rys. 34). W Żychlinie zimą odnotowano najniższe prawdopodobieństwo wystąpienia opadu atmosferycznego i wahało się od 0,12 podczas typu Sa do 0,61% dla typu Wc (rys. 34). We wszystkich punktach pomiarowych prawdopodobieństwo wystąpienia opadów było najniższe podczas typów SEa, Sa i nie przekroczyło 0,20 (rys. 34). Wiosną prawdopodobieństwo pojawienia się opadu było najwyższe podczas typów Wc i NWc, i wyniosło odpowiednio w Łodzi 0,80 i 0,77, w Bobrach 0,71 i 0,74, w Sadkowicach 0,72 i 0,74 (rys. 34). Najniższym prawdopodobieństwem wystąpienia opadu wiosną cechował się Żychlin z wartościami od 0,09 podczas typu SEa do 0,61 podczas typu NWc (rys. 34). Prawdopodobieństwo wystąpienia opadu wiosną na wszystkich punktach pomiarowych było najniższe podczas typu SEa (rys. 34). Latem największym prawdopodobieństwem opadu cechował się typ SWc z wartościami w Łodzi 0,79 i Bobrach 0,78 (rys. 34). Najniższe prawdopodobieństwo opadu w sezonie letnim wystąpiło podczas typu SEa z najniższą wartością w Sadkowicach 0,085 (rys. 34). Jesienią prawdopodobieństwo warunkowe wystąpienia opadu atmosferycznego było najwyższe podczas typu Ec w Bobrach i wyniosło 0,84 oraz podczas typu NWc w Łodzi (0,83) (rys. 34). Najniższym prawdopodobieństwem pojawienia się opadu jesienią wyróżniał się typ SEa z minimum 0,08 w Sadkowicach (rys. 34).



Rys. 34. Prawdopodobieństwo warunkowe wystąpienia opadu atmosferycznego w zależności od typu cyrkulacji atmosferycznej w poszczególnych sezonach (1961-2015). Liczby pod wykresami reprezentują wartości prawdopodobieństwa warunkowego wystąpienia opadu atmosferycznego w ciągu doby podczas danego typu cyrkulacji atmosferycznej

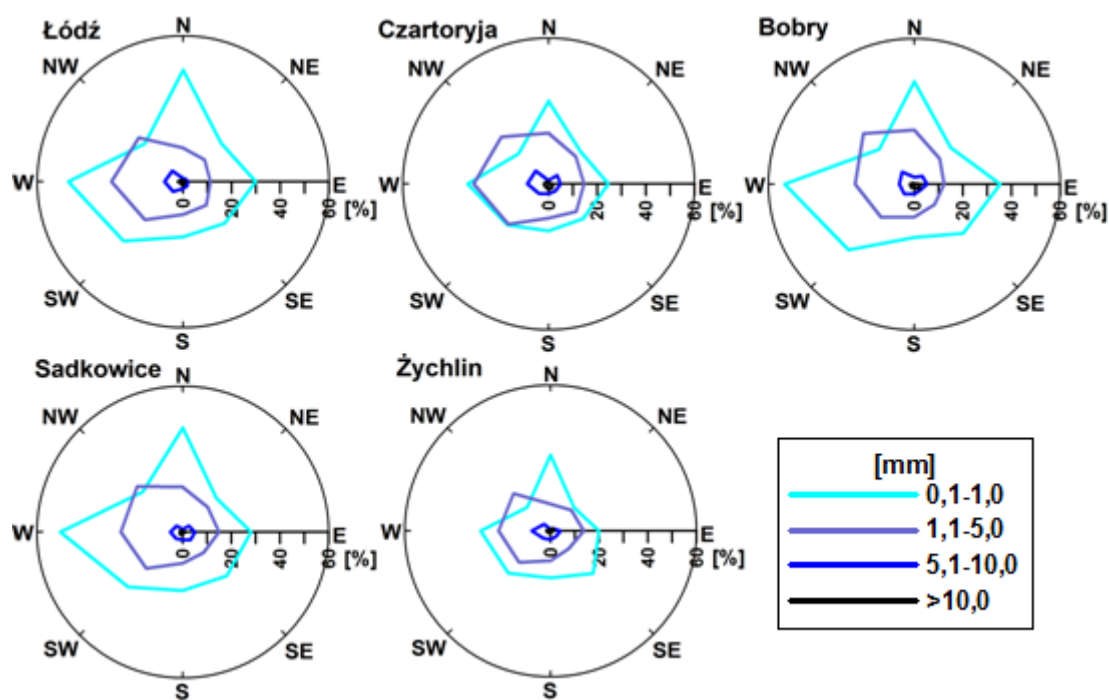
Fig. 34. Conditional probability of precipitation in relation to the type of atmospheric circulation in seasons (1961-2015). The numbers below x axes present the conditional probability of the occurrence of precipitation during day in relation to atmospheric circulation

Najwyższe prawdopodobieństwo wystąpienia opadu atmosferycznego w ciągu roku występuje podczas typów cyklonalnych. Zimą, latem i jesienią podczas typów cyklonalnych wartości prawdopodobieństwa wystąpienia opadu są do siebie zbliżone z nieznaczną przewagą w zimie. O tej porze roku maksymalne wartości prawdopodobieństwa opadu występują podczas adwekcji mas powietrza z kierunków Nc, NEc, Wc, NWc. W okresie zimowym w Łodzi oraz Bobrach prawdopodobieństwa wystąpienia opadu były wyższe niż na innych stacjach (rys. 34). Stacja w Żychlinie cechuje się najniższym prawdopodobieństwem wystąpienia opadu atmosferycznego spośród wszystkich uwzględnionych stacji.

4.4. Prawdopodobieństwo warunkowe opadu atmosferycznego w różnych klasach wysokości w zależności od kierunku adwekcji w sezonach

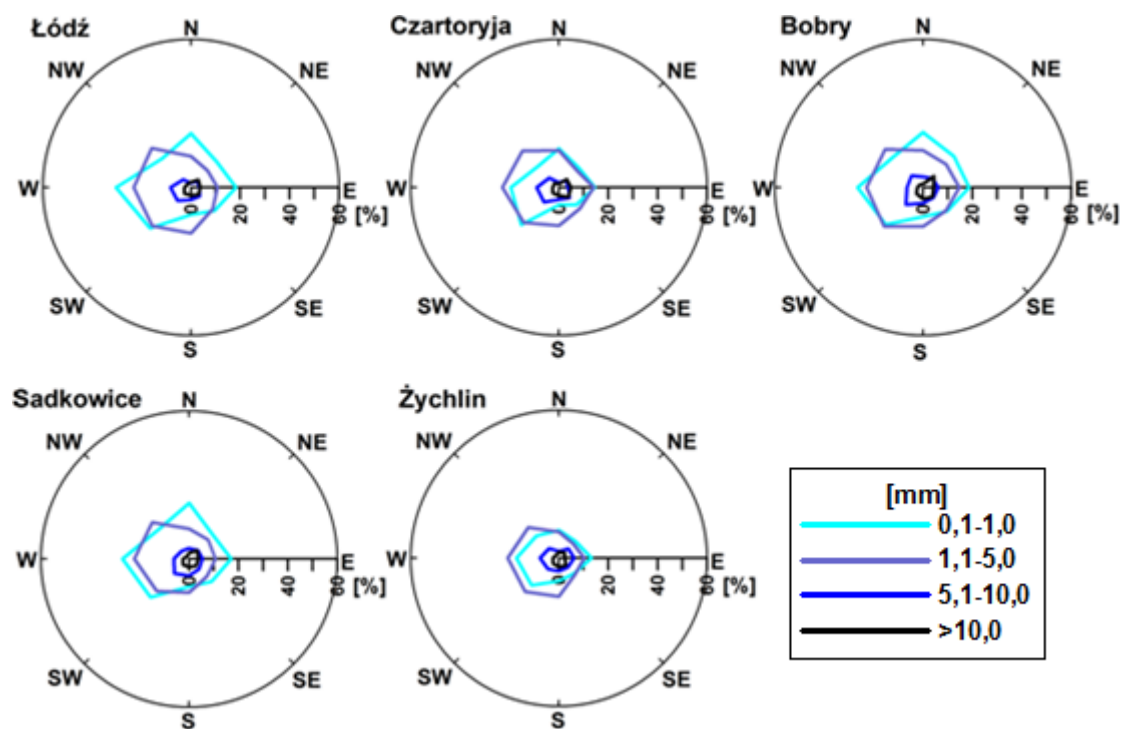
W celu bardziej szczegółowej analizy opadów atmosferycznych na obszarze województwa łódzkiego podzielono sumy opadów atmosferycznych na określone klasy ich wysokości i dokonano analizy prawdopodobieństwa warunkowego wystąpienia opadów atmosferycznych w wydzielonych przedziałach (0,1-1,0 mm, 1,1-5,0 mm, 5,1-10,0 mm i >10,0 mm) podczas wyróżnionych kierunków adwekcji.

Zimą najwyższe prawdopodobieństwo warunkowe wystąpienia opadów atmosferycznych występuje podczas adwekcji z kierunku zachodniego dla opadów bardzo słabych (0,1-1,0 mm) i w Bobrach osiąga wartość 53,3%, (rys. 35). Wysokim prawdopodobieństwem opadów bardzo słabych (0,1-1,0 mm) cechuje się również kierunek północny, z najwyższą wartością 46% w Łodzi (rys. 35). Drugą kategorią pod względem najwyższego prawdopodobieństwa wystąpienia są opady słabe (1,1-5,0 mm) z największymi wartościami podczas adwekcji z kierunków NW (29,5% w Bobrach) i W (30,8% w Czarzoryi). Najmniej prawdopodobne jest wystąpienie opadów umiarkowanych (5,1-10,0 mm) i silnych (>10 mm) z prawdopodobieństwem nieprzekraczającym 5% na uwzględnionych stacjach (rys. 35).



Rys. 35. Prawdopodobieństwo warunkowe wystąpienia opadu atmosferycznego [%] w porze zimowej w zależności od jego wysokości oraz kierunku adwekcji

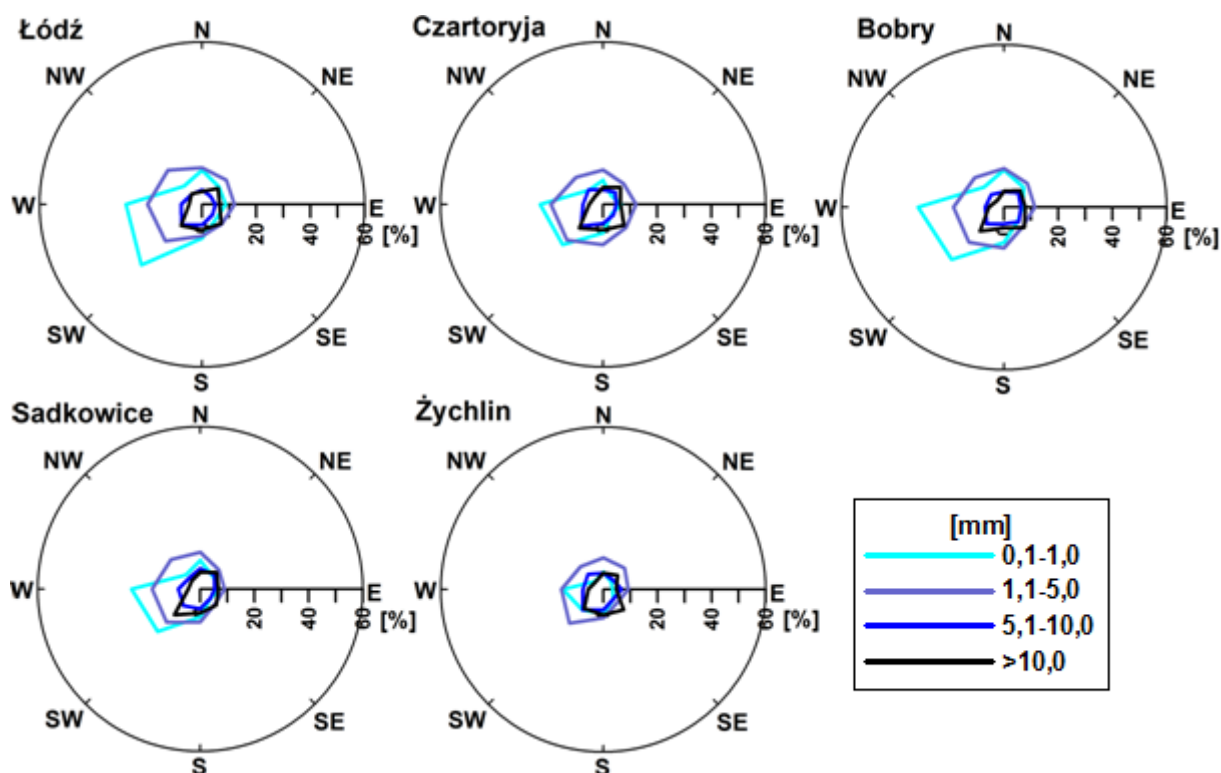
Fig. 35. Conditional probability of precipitation [%] in winter in relation to its height and direction of advection



Rys. 36. Prawdopodobieństwo warunkowe wystąpienia opadu atmosferycznego [%] w porze wiosennej w zależności od jego wysokości oraz kierunku adwekcji

Fig. 36. Conditional probability of precipitation [%] in spring in relation to its height and direction of advection

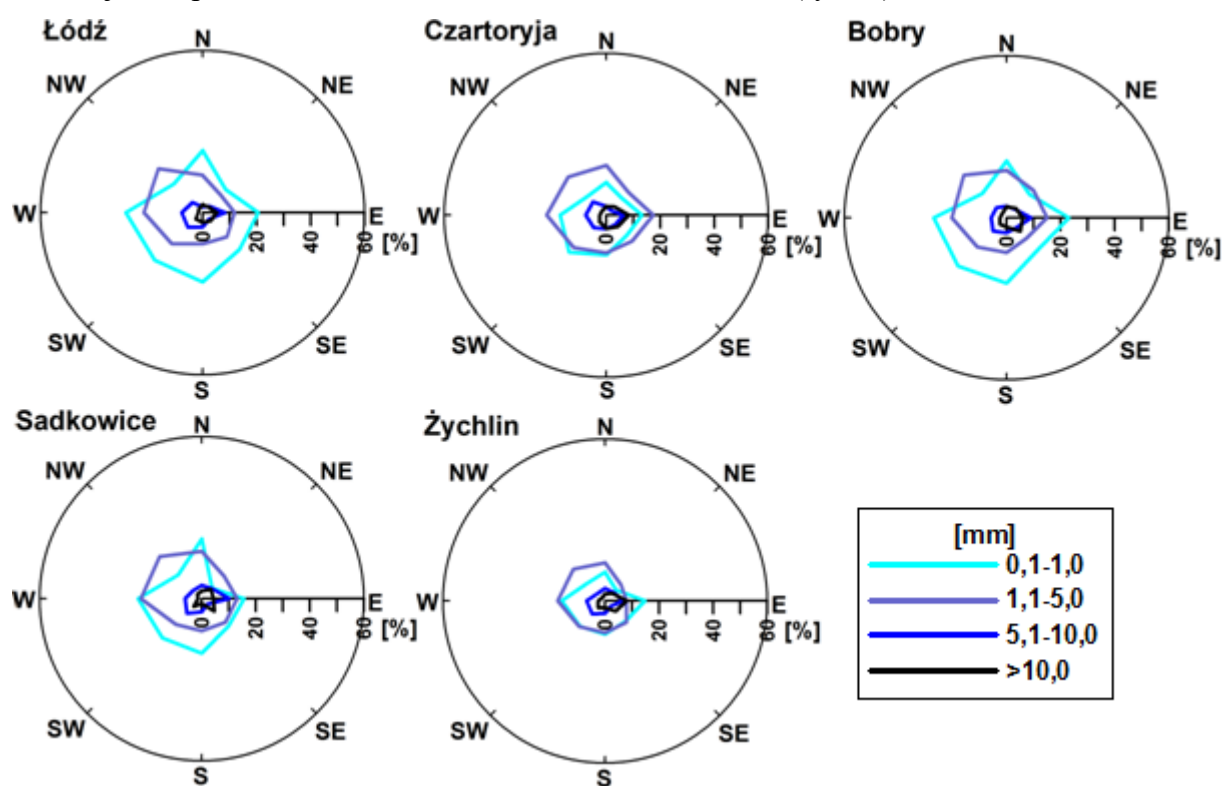
Wiosna cechuje się najmniej zróżnicowanym prawdopodobieństwem wystąpienia opadu atmosferycznego w zależności od kierunku adwekcji spośród wszystkich pór roku. Zapewne wynika to ze zmniejszenia się częstości adwekcji z sektora zachodniego. W tej porze roku zauważa się spadek prawdopodobieństwa powstania opadów bardzo słabych (0,1-1,0 mm) i słabych (1,1-5,0 mm) w stosunku do sezonu zimowego, ale nieznaczny wzrost prawdopodobieństwa pojawienia się opadów umiarkowanych i silnych. Najwyższe wartości prawdopodobieństwa opadu występują w Łodzi podczas adwekcji zachodniej: 30,3% w przypadku opadu bardzo słabego (0,1-1,0 mm) oraz 23,2% w przypadku opadu słabego (1,1-5,0 mm) (rys. 36). Jednocześnie zauważa się mniejsze różnice pomiędzy prawdopodobieństwem wystąpienia opadów bardzo słabych i słabych w stosunku do sezonu zimowego.



Rys. 37. Prawdopodobieństwo warunkowe wystąpienia opadu atmosferycznego [%] w porze letniej w zależności od jego wysokości oraz kierunku adwekcji
Fig. 37 Conditional probability of precipitation [%] in summer in relation to its height and direction of advection

W okresie letnim obserwuje się znaczny wzrost prawdopodobieństwa wystąpienia opadów umiarkowanych (5,1-10,0 mm) oraz silnych (>10 mm) i jest ono dwukrotnie wyższe, niż w sezonie zimowym (rys. 37). Podobne wnioski zostały przedstawione przez

Piotrowskiego (2017) i Rzepę (2004). Na przykładzie Łodzi w oparciu o dane z lat 1971-2000 Piotrowski (2017) zauważył, że w lipcu występuje największe prawdopodobieństwo pojawienia się opadów przekraczających 10,0 mm w ciągu doby. Natomiast Rzepa (2004) zwrócił uwagę na to, że na miesiące letnie przypada 67,7% wszystkich przypadków wystąpienia maksymalnych sum dobowych w ciągu roku, z największą ich liczbą w lipcu. W województwie łódzkim największe prawdopodobieństwo wystąpienia opadu bardzo słabego (0,1-1,0 mm), wynoszące 28,1%, odnotowano w Łodzi podczas napływu mas powietrza z kierunku SW (rys. 37). Jednocześnie warto nadmienić, że opady słabe (1,1-5,0 mm) cechują się wyższym prawdopodobieństwem w porównaniu do bardzo słabych (0,1-1,0 mm) podczas adwekcji mas powietrza z kierunków: N, NE, E, SE, S i NW (rys.37).



Rys. 38. Prawdopodobieństwo warunkowe wystąpienia opadu atmosferycznego [%] w porze jesiennej w zależności od jego wysokości oraz kierunku adwekcji

Fig. 38 Conditional probability of precipitation [%] in autumn in relation to its height and direction of advection

Jesienią obserwuje się wzrost prawdopodobieństwa wystąpienia opadu atmosferycznego bardzo słabego (0,1-1,0 mm), z najwyższą wartością 28,3% w Łodzi podczas adwekcji mas powietrza z kierunku zachodniego oraz spadek prawdopodobieństwa opadów silnych (>10,0 mm) w porównaniu do okresu letniego (rys. 38). Wysokim prawdopodobieństwem opadu atmosferycznego cechują się również adwekcje z kierunków SW i S.

Podsumowując, najwyższe prawdopodobieństwo wystąpienia opadu atmosferycznego występuje w Łodzi podczas adwekcji z kierunku zachodniego. Wyjątkiem jest okres letni, kiedy największe wartości prawdopodobieństwa odnotowuje się podczas adwekcji południowo-zachodniej. Najmniej dni z opadem zaobserwowano w Żychlinie.

5. Telekoneksje - związek makroskalowych wskaźników cyrkulacji atmosferycznej typu: NAO, EA, EA/WR, SCA, POL z opadami na obszarze województwa łódzkiego

Ocean Atlantycki jest jednym z głównych obszarów klimatotwórczych dla Polski. Cyrkulacja nad Atlantykiem warunkuje przebieg procesów cyrkulacyjnych nad Polską, a te odpowiednio wpływają na zmiany podstawowych elementów meteorologicznych do jakich zaliczają się opady atmosferyczne (Styszyńska 2001). Oscylacja Północnoatlantycka (NAO) powiązana jest ściśle z dwoma układami barycznymi na Atlantyku - Niżem Islandzkim oraz Wyżem Azorskim. W pozytywnej fazie NAO wymienione układy baryczne są dobrze rozwinięte, występuje cyrkulacja strefowa, powietrze znad Oceanu Atlantyckiego napływa nad obszar Europy. Podczas negatywnej fazy NAO oba układy baryczne słabną, w wyniku tego słabnie lub nawet zanika przepływ zachodni. Wówczas adwekcja zachodnia często jest zastępowana przez przepływ południkowy, czego rezultatem jest ocieplenie (przy napływie powietrza z południa) lub ochłodzenie (przy napływie powietrza z północy), bądź sytuacje blokadowe (Wibig 2019). Oscylacja Północnoatlantycka (NAO) ma istotny wpływ na kształtowanie warunków pogodowych w Polsce, szczególnie zimą. Najsilniej oddziałuje na termikę w okresie zimowym i powoduje, że niemalże w całej Europie średnia temperatura przekracza normę. W zimie współczynnik korelacji indeksu NAO (w tym przypadku Jonesa; Jones i in. 1997) z temperaturą powietrza przekracza 0,75 w południowo-zachodniej Polsce, co oznacza, że zmienność intensywności Oscylacji Północnoatlantyckiej tłumaczy ponad 50% zmienności temperatury. Jesienią, współczynnik korelacji pomiędzy NAO, a temperaturą powietrza przekracza wartość 0,5 i jest istotny statystycznie na obszarze całej Polski (Wibig 2019). Kirchenstein i Baranowska (2009) stwierdzili, że w Koszalinie korelacja opadów atmosferycznych z NAO nie jest tak silna, jak w przypadku temperatury, jednak jest zauważalna. Szwejkowski i in. (2004) za charakterystyczne uznali ujemne korelacje NAO z opadami lata, czym tłumaczyli pośredni związek NAO z temperaturą powietrza, która może wpływać na opady konwekcyjne. Jaagus i in. (2009) przeprowadzili analizę korelacji opadów atmosferycznych z makrotypami cyrkulacji atmosferycznej: NAO, EA, POL, EA/WR i SCA nad obszarem państw bałtyckich. Stwierdzili, że za większość przypadków cyrkulacji strefowej odpowiadały typy NAO, EA i POL, natomiast za cyrkulację południkową były odpowiedzialne typy EA/WR i SCA. Pokazano silną zależność pomiędzy cyrkulacją strefową (w szczególności zachodnią), a opadem atmosferycznym. Cyrkulacja południkowa w większości przypadków odpowiadała za niedobór opadów atmosferycznych. Oscylacja

Wschodnioatlantycka EA (East Atlantic) z centrami układów barycznych przesuniętymi w kierunku południowym w stosunku do NAO jest bardzo podobna do tego makrotypu cyrkulacji [5]. Największy wpływ EA na opad obserwuje się w zimie. Pozytywna korelacja oscylacji EA z opadami atmosferycznymi występuje w północnej i południowej Europie, natomiast ujemną współzmiennieścią EA z opadami cechuje się zachodnia Europa (Wibig 1999).

Aby zbadać wpływ ogólnej cyrkulacji atmosferycznej na opady w województwie łódzkim przeprowadzono analizę korelacji opadów ze wskaźnikami makroskalowych typów cyrkulacji północnej półkuli: Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO), Oscylacji Wschodnioatlantyckiej (EA), Oscylacji Wschodnioatlantyckiej/Zachodniorosyjskiej (EA/WR), cyrkulacji Skandynawskiej (SCA) oraz cyrkulacji Polarnej (POL). Wartości indeksów makrocyrkulacji pochodzą ze strony internetowej [3], a dane opadowe z siedmiu punktów pomiarowych IMGW-PIB: Żychlin, Poddębice, Skierniewice, Łódź-Lublinek, Sieradz, Szczerców oraz Sulejów (Rys. 30). Indeks NAO, w tym przypadku opracowany przez NWS CPC (National Weather Service, Climate Prediction Center) został obliczony metodą Barnston'a i Livezey'a (1987), która wykorzystuje składowe główne pola geopotencjału powierzchni izobarycznej 500 hPa (PCA - Principal Component Analysis) (Styszyńska 2019). Istotność statystyczna korelacji Pearsona została zweryfikowana na poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Dla szeregu składającego się z $n=55$ par (55 lat), który obejmował lata 1961-2015 współczynnik korelacji Pearsona (r) był istotnie statystyczny dla wartości powyżej 0,26 i poniżej -0,26. Najwięcej istotnych związków pomiędzy średnimi miesięcznymi sumami opadów atmosferycznych a wartościami indeksów makrotypów cyrkulacji atmosferycznej odnotowano: w styczniu (36%), wrześniu (42%), lipcu (28%) i październiku (28%). W wymienionych miesiącach większość istotnych korelacji była słaba bądź sporadycznie umiarkowana, wartości wahały się od -0,58 do 0,3 (tab. 6). Najrzadziej istotny statystycznie związek opadów z indeksami (po 3% w każdym miesiącu) odnotowano: w kwietniu, maju oraz czerwcu. W ciągu roku najczęściej przypadków współzależności pomiędzy opadami atmosferycznymi, a indeksami makrotypów cyrkulacji atmosferycznej odnotowano: w Łodzi (23%), Sulejowie (22%) i Szczercowie (20%) (tab. 6, 7). Najrzadziej statystycznie istotne korelacje z opadami obserwowano w Żychlinie (13%) (tab. 6, 7). Zmienność opadów w województwie łódzkim można tłumaczyć w dużym stopniu zmiennością indeksów SCA (26%) i POL (31%) (tab. 8). Cyrkulacja Skandynawska (SCA) nazywana była przez Barnston'a i Livezey'ego (1987) euroazjatyckim typem cyrkulacji (Euroasian pattern type 1 - EU1). Cyrkulację SCA tworzą: główny ośrodek baryczny

położony w północnej Skandynawii (60° - 70° N, 25° - 50° E) oraz dwa słabsze ośrodki baryczne o przeciwnych znakach w stosunku do układu nad Skandynawią - pierwszy położony w północno-zachodnich Chinach bądź zachodniej Mongolii (30° - 45° N, 80° - 100° E), drugi znajdujący się nad obszarem zachodniej Europy (35° - 50° N, 10° E- 20° W) (Barnston i Livezey 1987). Wibig (1999) stwierdziła, że w zimie podczas utrzymującego się układu wysokiego ciśnienia nad Skandynawią (pozytywna faza SCA) występuje niedobór opadów atmosferycznych w północnej i północno-wschodniej Europie. W wyniku rozbudowanego wyżu nad Skandynawią dochodzi do adwekcji mroźnego i suchego powietrza pochodzącego z północnego-wschodu. W tym samym czasie na Islandii oraz w basenie Morza Śródziemnego obserwuje się sumy opadów powyżej normy. W przypadku negatywnej fazy SCA, kiedy układ niskiego ciśnienia zalega nad półwyspem Skandynawskim, zauważa się wzrost opadów atmosferycznych nad obszarem centralnej Europy, które są bezpośrednio związane z przejściem frontów atmosferycznych towarzyszącym układowi niskiego ciśnienia (Wibig 1999). Dodatkowo w zimie rozwinięty układ niskiego ciśnienia nad Półwyspem Skandynawskim powoduje zaciąganie powietrza z sektora zachodniego i północno-zachodniego, co może sprzyjać opadom atmosferycznym o tej porze roku (Wibig 2008). Szwejkowski i in. (2004) zauważyli podobnie dobrze skorelowane opady z cyrkulacją SCA w północno-wschodniej Polsce. Najczęściej wskaźnik SCA istotnie statystycznie korelował z opadami atmosferycznymi (33%): w Łodzi, Sulejowie i Szczercowie, najrzadziej w Żychlinie (8%) (tab. 8). Cyrkulacja Polarna jest związana z wirem polarnym. Negatywna faza POL jest związana z osłabieniem wiru polarnego, co sprzyja powstawaniu układów niskiego ciśnienia nad Morzem Grenlandzkim i Norweskim (Cloud i in. 2007). Układy niskiego ciśnienia w okolicach Morza Norweskiego mogą powodować adwekcję wilgotnych mas powietrza z tego rejonu nad obszar centralnej Europy. Najczęściej wskaźnik POL korelował statystycznie istotnie z opadami w Łodzi (42%) i Szczercowie (42%), najrzadziej w Skierniewicach (17%). Oscylacja EA/WR w najslabiej spośród wszystkich indeksów oddziałuje na opady w województwie łódzkim (4%) Cyrkulacja EA/WR jest nazywana przez Barnston'a i Livezey'ego (1987) euroazjatyckim typem cyrkulacji (Euroasian pattern type 2 - EU2). Typ EU2 tworzą dwa układy baryczne o tych samych znakach w pobliżu Wielkiej Brytanii, bądź Danii (50° - 60° N, 10° W- 10° E) i północno-wschodnich Chinach lub północnej Korei (40° - 50° N, 115° - 135° E). Trzecim układem ciśnienia o przeciwnym znaku do wyżej wymienionych jest układ ciśnienia z centrum w rejonie Morza Kaspijskiego (40° - 50° N, 50° - 60° E) (Barnston

i Livezey 1987). Istotną statystycznie korelację wskaźnika cyrkulacji EA/WR z opadami odnotowano tylko w Sulejowie, Szczercowie i Żychlinie (tab. 8).

Konkludując, największą współzależnością makrotypów cyrkulacji z opadami atmosferycznymi w województwie łódzkim wyróżniła się jesień i zima. Największym wpływem na średnie sumy opadów atmosferycznych w województwie łódzkim cechuje się cyrkulacja SCA i POL, najmniejszym cyrkulacja EA/WR. Indeksy makrotypów cyrkulacji najczęściej statystycznie istotnie korelowały z opadami w Łodzi, Szczercowie i Sulejowie. Najrzadziej statystycznie istotne korelacje indeksów cyrkulacji ze średnimi sumami miesięcznymi opadów atmosferycznych obserwowano w Żychlinie. Zróżnicowanie korelacji pomiędzy poszczególnymi indeksami cyrkulacji atmosferycznej a opadami atmosferycznymi na obszarze województwa łódzkiego wskazuje na znaczny wpływ warunków lokalnych na sumy opadów atmosferycznych. Przeważały korelacje słabe od -0,4 do 0,4. Intensywna cyrkulacja NAO późnym latem i jesienią wpływa na spadek opadów atmosferycznych w województwie łódzkim, natomiast zimą i wczesną wiosną na ich wzrost. Na przełomie lata i jesieni cyrkulacja EA istotnie sprzyja deficytowi opadów atmosferycznych w województwie łódzkim. Cyrkulacja SCA przyczynia się z kolei do wzrostu opadów atmosferycznych powyżej normy latem, a w zimie do ich spadku. Oddziaływanie cyrkulacji POL przejawia się w spadku opadów poniżej normy na przełomie lata i jesieni oraz zimą.

Tab. 6. Korelacja pomiędzy wartościami indeksów cyrkulacji makroskalowej a sumami miesięcznymi opadów atmosferycznych na wybranych punktach pomiarowych w okresie 1961-2015 - korelacja istotnie statystycznie na poziomie $\alpha = 0,05$ wskazuje kolor (czerwony - dodatnia korelacja, niebieski - ujemna korelacja)

Tab. 6. Correlation between macro-scale circulation indices and monthly total precipitation for selected measurement points in the period 1961-2015 - significance of correlation at the significance level of 0.05 indicates colour (red - positive correlation, blue - negative correlation)

NAO	Sty	Lut	Mar	Kwi	Maj	Cze	Lip	Sie	Wrz	Paź	Lis	Gru
Łódź	0,30	-0,01	0,03	0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,30	-0,11	-0,20	-0,29	0,27
Poddębice	0,09	-0,01	-0,05	-0,01	-0,17	-0,13	-0,11	-0,23	-0,27	-0,16	-0,34	0,18
Sieradz	0,05	-0,04	0,00	-0,02	-0,20	-0,21	-0,07	-0,16	-0,24	-0,13	-0,36	0,11
Skierniewice	0,19	-0,04	-0,06	0,27	-0,08	-0,17	-0,12	-0,39	-0,14	-0,21	-0,32	0,19
Sulejów	0,21	-0,01	-0,06	0,19	-0,11	-0,09	-0,19	-0,17	-0,14	-0,33	-0,26	0,28
Szczerców	0,15	-0,04	0,02	0,02	-0,19	-0,14	-0,26	-0,15	-0,24	-0,21	-0,20	0,09
Żychlin	0,03	-0,11	-0,07	0,09	-0,01	-0,02	-0,17	-0,26	-0,09	-0,11	-0,26	0,12
EA	Sty	Lut	Mar	Kwi	Maj	Cze	Lip	Sie	Wrz	Paź	Lis	Gru
Łódź	-0,04	0,16	0,09	0,11	-0,02	0,05	0,03	-0,01	-0,51	-0,26	-0,07	0,03
Poddębice	-0,02	-0,13	0,13	0,08	0,04	-0,09	0,04	-0,07	-0,46	-0,23	-0,07	-0,02
Sieradz	-0,05	0,01	0,22	0,09	0,05	-0,10	0,10	-0,10	-0,38	-0,27	-0,06	0,02
Skierniewice	0,12	0,11	0,06	0,06	-0,09	0,04	-0,08	-0,07	-0,58	-0,29	0,01	0,03
Sulejów	0,08	0,24	0,05	0,04	0,07	0,01	0,06	-0,02	-0,56	-0,29	-0,05	-0,02
Szczerców	-0,17	0,06	0,11	0,13	-0,12	-0,05	0,05	0,10	-0,32	-0,30	-0,12	0,03
Żychlin	-0,03	0,03	0,02	-0,09	-0,13	0,14	0,01	-0,06	-0,48	-0,23	0,00	0,01
EA/WR	Sty	Lut	Mar	Kwi	Maj	Cze	Lip	Sie	Wrz	Paź	Lis	Gru
Łódź	-0,12	-0,03	-0,22	-0,15	-0,14	-0,14	-0,14	-0,13	0,04	-0,16	-0,18	0,00
Poddębice	-0,14	-0,03	-0,23	-0,21	-0,18	-0,20	-0,21	-0,11	0,05	-0,19	-0,17	-0,07
Sieradz	-0,12	-0,14	-0,13	-0,19	-0,23	-0,08	-0,23	-0,01	0,06	-0,22	-0,22	-0,14
Skierniewice	-0,21	-0,14	-0,21	-0,19	-0,23	-0,11	-0,10	-0,16	-0,05	-0,06	-0,08	-0,09
Sulejów	-0,14	-0,18	-0,13	-0,24	-0,12	-0,27	-0,17	-0,12	-0,04	-0,15	-0,22	-0,02
Szczerców	-0,07	-0,06	-0,12	-0,19	-0,27	-0,17	-0,15	-0,17	-0,02	-0,23	-0,10	-0,11
Żychlin	-0,11	-0,09	-0,28	-0,26	-0,14	-0,10	-0,23	-0,16	0,01	-0,15	-0,24	-0,17
SCA	Sty	Lut	Mar	Kwi	Maj	Cze	Lip	Sie	Wrz	Paź	Lis	Gru
Łódź	-0,43	-0,46	-0,28	-0,03	0,04	0,13	0,38	0,10	0,10	-0,18	-0,05	-0,09
Poddębice	-0,31	-0,45	-0,20	-0,07	0,00	0,24	0,27	0,18	0,01	-0,14	-0,10	0,00
Sieradz	-0,26	-0,40	-0,15	0,02	-0,03	0,19	0,28	0,32	0,02	-0,09	0,00	0,14
Skierniewice	-0,31	-0,22	-0,21	-0,10	0,11	0,12	0,31	0,23	0,19	-0,16	0,03	-0,01
Sulejów	-0,39	-0,36	-0,26	0,04	0,06	0,26	0,35	0,27	0,18	-0,20	0,01	0,04
Szczerców	-0,33	-0,38	-0,34	-0,07	0,06	0,02	0,38	0,13	0,17	-0,13	0,18	0,04
Żychlin	-0,28	-0,26	-0,18	-0,15	0,03	0,17	0,27	0,24	0,02	-0,14	0,00	-0,02
POL	Sty	Lut	Mar	Kwi	Maj	Cze	Lip	Sie	Wrz	Paź	Lis	Gru
Łódź	-0,38	-0,17	-0,30	-0,05	-0,08	0,11	-0,37	-0,19	-0,33	-0,30	0,18	-0,03
Poddębice	-0,37	-0,16	-0,14	0,09	-0,22	0,06	-0,13	-0,11	-0,32	-0,29	0,15	0,01
Sieradz	-0,40	-0,05	-0,25	0,08	-0,04	-0,04	-0,11	-0,15	-0,35	-0,39	0,26	0,03
Skierniewice	-0,24	-0,14	-0,28	-0,06	-0,09	0,10	-0,14	-0,08	-0,32	-0,21	0,14	-0,15
Sulejów	-0,27	-0,22	-0,32	0,04	-0,08	0,02	-0,25	0,01	-0,27	-0,31	0,20	-0,05
Szczerców	-0,32	-0,10	-0,32	-0,04	-0,15	-0,05	-0,32	0,00	-0,27	-0,28	0,16	0,04
Żychlin	-0,34	-0,06	-0,31	0,06	-0,12	-0,08	-0,42	-0,13	-0,36	-0,18	0,20	-0,15

Tab. 7 Liczba indeksów cyrkulacji atmosferycznych istotnie korelujących z opadami w wybranych punktach pomiarowych w poszczególnych miesiącach

Tab. 7. The number of atmospheric circulation indices significantly correlating with precipitation at selected measurement points in individual months

	Łódź	Poddębice	Sieradz	Skierniewice	Sulejów	Szczerców	Żychlin	
Sty	3	2	1	1	2	2	2	
Lut	1	1	1	0	1	1	0	
Marz	2	0	0	1	1	2	2	
Kwie	0	0	0	1	0	0	0	
Maj	0	0	0	0	0	1	0	
Czerw	0	0	0	0	1	0	0	
Lip	2	1	1	1	1	2	2	
Sier	1	0	1	1	1	0	0	
Wrze	2	3	2	2	2	2	2	
Paź	1	1	2	1	3	2	0	
List.	1	1	1	1	0	0	0	
Gru	1	0	0	0	1	0	0	
suma	14	9	9	9	13	12	8	

Tab. 8 Liczba miesięcy w roku, podczas których dany indeks istotnie koreluje z opadami w wybranych punktach pomiarowych

Tab. 8 The number of months in a year during which a given index significantly correlates with precipitation at selected measurement points

	Łódź	Poddębice	Sieradz	Skierniewice	Sulejów	Szczerców	Żychlin	suma
NAO	4	2	1	3	2	0	0	12
EA	1	1	2	2	2	2	1	11
EA/WR	0	0	0	0	1	1	1	3
SCA	4	3	3	2	4	4	2	22
POL	5	3	3	2	4	5	4	26

6. Analiza opadów atmosferycznych na obszarze Łodzi

Analizy opadów atmosferycznych nad obszarami miejskimi były podejmowane w Stanach Zjednoczonych m.in. na przykładzie St. Louis (Chagnon Jr., i in. 1976) i Chicago (Stanley i Changnon 1980). Autorzy tych prac odnotowali znacznie większą częstość intensywnych opadów nad obszarem St. Louis i nieco większą nad Chicago w porównaniu do stref peryferyjnych. Porównanie rozkładu opadów nad Paryżem, St. Louis oraz Chicago wykazało trend wzrostowy opadów atmosferycznych w półroczu ciepłym rzędu 19-38% w okresie 1871-1970 (Detwiller 1976). Rozkład przestrzenny opadów atmosferycznych nad obszarem miejskim był też w kręgu zainteresowań naukowców z Azji (Yonetani 1982; Han i in. 2014; Miao i in. 2010; Dou i in. 2014). Analiza rozkładu opadów nad Tokio wykazała częstsze występowanie wysokich opadów w mieście (>31 mm) w stosunku do obszarów pozamiejskich (Yonetani 1982). W Pekinie stwierdzono zmianę trajektorii napływu chmur burzowych, przy czym za jedną z przyczyn uznano wysokie budynki w centrum miasta (Yonetani 1982). Rezultatem tego były wyższe sumy opadów atmosferycznych na samych peryferiach stolicy Chin (Miao i in. 2010; Dou i in. 2014).

W Polsce podejmowano niejednokrotnie analizy sum opadów atmosferycznych na tle cyrkulacji atmosferycznej nad obszarami miejskimi (Wibig i Fortuniak 1998; Wibig 1998, Twardosz 2000). W Łodzi stwierdzono wyższe sumy opadów dobowych przy adwekcji mas powietrza z południowego-zachodu i zachodu (Jędruszkiewicz i Zieliński 2016). Analizując opady nad Poznaniem zauważono, że ekstremalnym opadom atmosferycznym towarzyszy zwykle jedna z dwóch sytuacji barycznych o odmiennych charakterystykach opadów. W pierwszym przypadku opady o charakterze nawalnym występują podczas przemieszczania się frontu chłodnego z centrum układu niskiego ciśnienia na północy Europy. W drugim przypadku opady o charakterze rozlewnym pojawiają się na froncie stacjonarnym (Bernas i Kolendowicz 2013). Analizując opady w Krakowie stwierdzono, że 63% opadów powstaje przy układach cyklonalnych, a 35,5% podczas układów antycyklonalnych. Najwięcej opadów (46,1%) powstaje podczas napływu mas powietrza z kierunków SW, W i NW (Twardosz 2000). Opady atmosferyczne w mieście cechują się dużą nieregularnością. W przypadku Wrocławia, na podstawie 11 stacji pomiarowych w okresie 1963-1972, zaobserwowano, że maksymalna różnica średnich rocznych sum opadów atmosferycznych na terenie miasta wyniosła aż 83 mm (Karlówice - 669 mm, Swojec - 586 mm) (Kotowski i in., 2010). Nowakowska i in. (2013) przeprowadzając analizę opadu we Wrocławiu (w dniu 01.11.2012) z 6 deszczomierzy stwierdzili jego dużą zmienność czasowo-przestrzenną, na obszarze

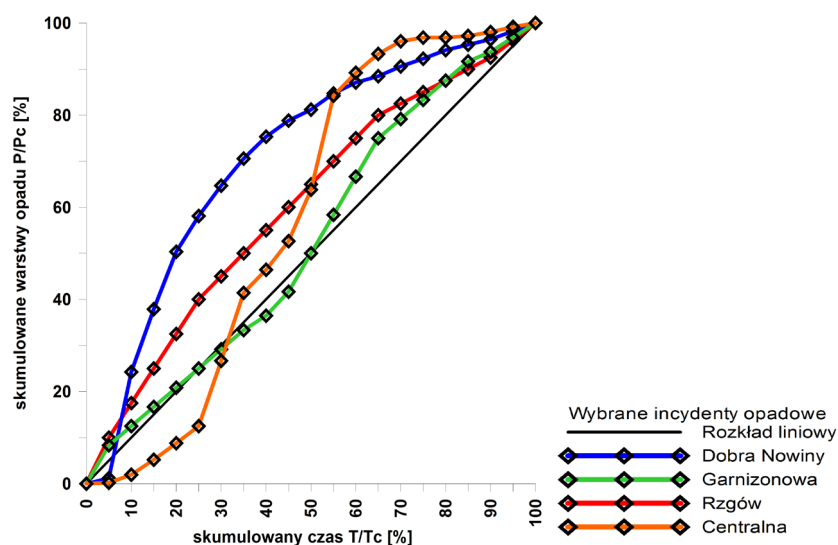
zachodnim miasta wysokość opadu była ponad trzykrotnie wyższa oraz jego intensywność dwukrotnie większa w porównaniu do wschodniej części Wrocławia.

W skład aglomeracji łódzkiej wchodzi strefy peryferyjne o dużo niższym niż w centrum miasta stopniu urbanizacji. Rzeźba terenu w Łodzi jest stosunkowo nieregularna. Maksymalna różnica wysokości między najniższym, a najwyższym punktem wynosi ok. 100 m. Najniższa południowo-zachodnia część miasta leży na wysokości 180 m n.p.m., a najwyższa północno - wschodnia ok. 270 m n.p.m. Opady atmosferyczne w mieście mogą być modyfikowane poprzez większe stężenie jąder kondensacji, silniejszą konwekcję, wyższe stężenie pary wodnej, przegrzanie powierzchni czynnej, a także wzrost szorstkości podłoża, która może wywołać konwekcję dynamiczną (Fortuniak 2003).

6.1. Zmiany intensywności opadu atmosferycznego podczas wybranych incydentów opadowych na obszarze aglomeracji łódzkiej

Dynamikę epizodów opadowych nad obszarem Polski w zależności od ich genezy badał Kożuchowski (2011) na podstawie tzw. krzywych sumowych, które ukazywały tempo przyrostu wysokości opadu w ciągu czasu jego trwania. Barszcz (2012) krzywe sumowe nazywał warstwami opadu, i dalej w tej pracy będzie mowa o warstwach opadu. Kożuchowski (2011) wykazał, że w przypadku opadu konwekcyjnego w okresie pierwszych 2/3 czasu jego trwania, spada niemal całość wody opadowej. Inaczej przedstawia się przebieg warstwy opadu frontalnego, która cechuje się znacznie bardziej wyrównanym natężeniem w całym jego przebiegu. Kupczyk i Suligowski (1987) dokonali regionalizacji pluwiometrycznej Polski ze względu na zależność wydajności opadów frontalnych i konwekcyjnych od czasu ich trwania. Autorzy stwierdzili, że na obszarze Polski nizinnej opady konwekcyjne szybko tracą na wydajności wraz z czasem ich trwania, podobną zależnością cechowały się opady frontalne. Barszcz (2012) przedstawił analizę znormalizowanych rozkładów warstw opadów w czasie trwania deszczy na obszarze zlewni południowej części Warszawy. Autor na podstawie 71 zdarzeń opadowych z trzech punktów pomiarowych doszedł do wniosku, że czas trwania i całkowita suma opadów analizowanych deszczy nie miały wpływu na rozkład warstwy opadu w czasie jego trwania. Celem analizy incydentów opadowych na obszarze aglomeracji łódzkiej było poznanie przebiegu intensywności opadów w czasie ich trwania, a także określenie wpływu hipsometrii terenu oraz miasta na rozkład wysokości warstwy opadu. Następnym etapem było zbadanie

zmienności intensywności opadu w zależności od sposobu jego powstania. Barszcz (2012) przedstawił analizę znormalizowanych rozkładów warstw opadów w czasie trwania deszczu na obszarze zlewni południowej części Warszawy. Deszcze ulewne bądź nawalne powstają z chmur Cumulonimbus i zazwyczaj trwają do kilkudziesięciu minut, rzadko do kilku godzin. Charakteryzują się dużą intensywnością i zróżnicowanym zasięgiem przestrzennym. Najczęściej występują w miesiącach letnich, z dominacją w lipcu. Opady deszczu trwające nawet do kilku dni zazwyczaj złożone są z kilku krótszych serii występujących bezpośrednio po sobie, przedzielonych okresami bez opadów. Tego typu deszcze nazywane są rozlewnymi i zazwyczaj mają znaczny zasięg terytorialny (Kotowski i in. 2010). Pod uwagę brano zdarzenia opadowe o zróżnicowanej charakterystyce pod względem wielkości i czasu jego trwania. Minimalną wysokość opadu ustalono na 1 mm, Jeśli przerwa pomiędzy opadem w danym zdarzeniu opadowym przekraczała 1 godzinę, uznawano tą sytuację jako dwa osobne incydenty opadowe. Najwyższa wysokość opadu odnotowana na stacji Centralna 27/28.05.2014 wyniosła 47,1 mm, najniższa 1 mm miała miejsce w Rzgowie 25.07.2015 oraz na stacji Graniczna 13.07.2015 (tab.9, rys. 39). Najdłuższe zdarzenie opadowe trwało 1060 min w miejscowości Dobra Nowiny 27/28.05.2014. Najkrótszy incydent opadowy trwał przez 25 min. i odnotowano kilka takich sytuacji, między innymi 08.07.2015 na stacji Garnizonowa (tab.9 rys. 39).



Rys.39. Rozkłady warstwy opadów dla wybranych przypadków

Fig. 39 Distribution of precipitation depth for selected cases

P/P_c (%) skumulowana warstwa opadu (P – suma opadu od początku incydentu, P_c – całkowita suma podczas tego incydentu)

T/T_c (%) skumulowany czas trwania deszczu (T – czas od początku incydentu, T_c – całkowity czas trwania incydentu)

Na obszarze aglomeracji łódzkiej najbardziej równomiernie rozłożone rozkłady warstwy opadów były zbliżone do rozkładu prostoliniowego i wystąpiły na stacjach: Garnizonowa i Graniczna (rys. 40). W ciągu całego incydentu opadowego warstwa opadu wzrastała średnio o 5% w ciągu 5% czasu trwania opadu (rys. 40). Stacje te są położone w zachodniej części miasta (rys. 2). Warto zwrócić uwagę na stacje położone w północno-wschodniej części aglomeracji łódzkiej w pobliżu strefy krawędziowej Wzniesień Łódzkich, gdzie rozkłady warstwy opadów przybierały najbardziej dynamiczny charakter, co świadczy o dużej intensywności opadów. Na stacjach Dobra Nowiny oraz Centralna warstwa opadu w ciągu 5% jego trwania wzrastała miejscami nawet o 15% (rys. 40). Należy zauważyć, że najwyższe wzrosty warstwy opadu wystąpiły między 30 - 60% czasu jego trwania (rys. 40).

Tab. 9. Charakterystyki incydentów opadowych

Tab. 9. Characteristics of the rainfall incidents

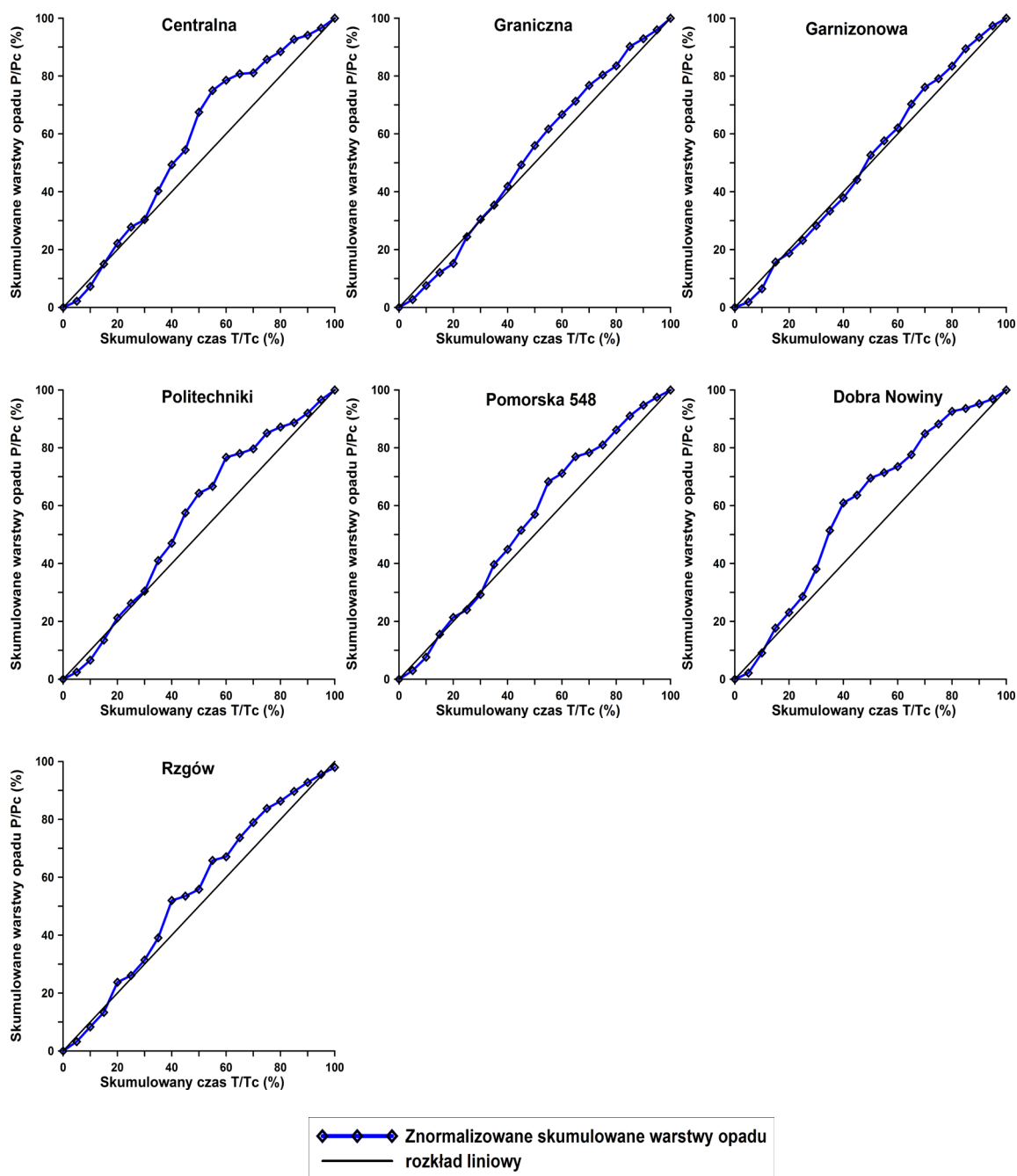
Lp.	Data wystąp.	Warstwa opadu Pc (mm)							Czas trwania deszczu (min.)							
	Zdarzenia	Cen	Gar	Gra	Pol	Pom	DbN	Rzg	Cen	Gar	Gra	Pol	Pom	DbN	Rzg	rch
1	2014-05-02	4,1	3,6	1,3	1,7	1,9	2,7	bd	130	110	90	100	100	220	bd	W
2	2014-05-03	22,4	13,4	9,0	9,8	9,9	17,0	10,4	630	590	670	535	540	625	680	W
3	2014-05-09	2,0	2,4	2,0	3,0	3,4	1,4	1,2	60	35	45	40	45	35	35	Cb
4	2014-05-16	21,7	17,2	14,4	17,0	19,6	22,2	19,7	560	540	535	590	545	570	910	W
5	2014-05-27/28	47,1	31,5	22,6	39,7	bd	8,5	24,2	410	440	305	440	bd	1065	375	Cb
6	2014-06-30	13,6	9,7	9,8	10,6	12,3	bd	12,5	620	465	615	620	740	bd	605	W
7	2014-08-01	28,0	32,0	33,3	29,6	39,1	37,5	bd	380	335	340	320	310	285	bd	Cb
8	2014-08-31	bd	4,6	5,9	2,7	10,1	10,9	9,9	bd	80	75	435	75	60	55	Cb
9	2014-09-01	bd	5,3	4,6	3,4	5,8	5,4	6,0	bd	295	280	245	295	295	325	W
10	2014-09-09	bd	9,4	1,9	2,2	4,0	14,5	4,3	bd	80	55	45	60	90	35	Cb
11	2015-05-06	bd	8,6	9,5	9,8	11,6	9,7	12,2	bd	225	190	225	250	345	195	Cb
12	2015-06-13	1,4	bd	1,8	2,6	3,8	2,9	2,3	110	bd	65	45	45	35	70	Cb
13	2015-07-08	1,4	1,2	7,1	4,1	bd	bd	12,6	30	30	80	135	bd	bd	60	Cb
14	2015-07-12/13	8,6	6,4	6,4	4,8	bd	bd	11,5	465	445	650	275	bd	bd	650	W
15	2015-07-13	5,5	1,6	1,0	1,2	bd	bd	2,5	60	55	55	50	bd	bd	55	W
16	2015-07-25	22,7	18,4	9,6	6,7	5,8	bd	1,0	295	100	35	135	30	bd	30	Cb
17	2015-07-29	2,6	2,3	2,4	2,3	2,9	2,1	1,5	120	140	175	120	130	145	260	W
18	2015-08-15	4,3	1,5	41,5	3,4	bd	8,9	10,0	120	160	125	95	bd	140	70	Cb
19	2015-08-25	2,2	2,3	1,3	1,6	bd	2,2	2,3	115	165	100	110	bd	105	100	Cb
20	2015-09-04	2,4	1,3	1,6	1,7	1,3	bd	1,4	175	160	190	165	165	bd	240	W
21	2015-09-06	9,4	12,3	7,9	16,2	8,1	bd	11,2	355	195	200	355	345	bd	190	Cb
22	2016-05-04	9,4	11,1	8,9	16,9	21,2	6,8	2,4	210	200	195	210	190	105	290	Cb
23	2016-05-14	3,6	6,1	3,8	5,0	3,0	1,4	4,3	50	285	305	295	85	75	280	W
24	2016-05-30	13,5	16,9	9,4	33,1	10,9	12,2	9,9	330	415	360	365	355	155	380	Cb
25	2016-07-27	5,9	14,3	1,2	bd	7,4	1,3	1,5	110	325	85	bd	115	70	75	Cb
26	2016-08-10a	4,6	bd	4,4	4,7	bd	4,7	4,2	315	bd	360	345	bd	340	355	Cb
27	2016-08-10b	5,6	bd	3,5	5,3	bd	2,6	4,0	295	bd	305	275	bd	235	290	W
28	2016-08-21	15,0	10,8	10,0	7,2	bd	17,9	10,4	465	105	175	155	bd	550	115	Cb
29	2016-09-04	5,5	6,5	2,1	4,2	5,0	5,6	1,5	100	100	95	95	85	360	95	Cb
30	2016-09-05	2,8	3,0	5,4	3,9	4,1	1,8	12,7	70	90	70	65	120	130	140	Cb
	Min.	1,4	1,2	1,0	1,2	1,3	1,3	1,0	30	30	35	40	30	35	30	
	Max.	47,1	32,0	41,5	39,7	39,1	37,5	24,2	630	590	670	620	740	1065	910	
	Średnia	10,2	9,4	8,1	8,8	9,1	8,7	7,4	258	233	232,5	242	225	267	254	
	Odch. Stand.	10,7	8,3	9,3	9,9	8,7	8,7	6,0	186,1	163,4	186,4	168,5	194,3	246,2	227,0	

bd – brak danych

rch - rodzaj chmur

W - opad z chmur warstwowych

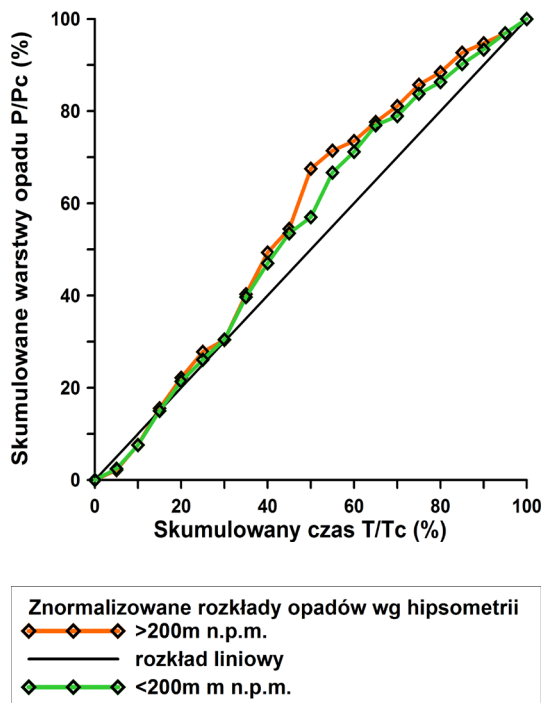
Cb - opad z chmur Cumulonimbus



Rys. 40. Znormalizowane rozkłady warstwy opadów dla wszystkich incydentów opadowych
 Fig. 40. Normalized distribution of the precipitation depth for all rainfall incidents
 P/Pc (%) skumulowana warstwa opadu; T/Tc (%) skumulowany czas trwania deszczu

W celu oceny wpływu ukształtowania terenu na rozkład warstwy opadów punkty pomiarowe podzielono na te, które były położone na wysokości poniżej 200 m n.p.m. (Garnizonowa, Politechniki, Graniczna, Rzgów) oraz pozostałe zlokalizowane na wysokości powyżej 200 m. n. p. m. (Centralna, Pomorska 548, Dobra Nowiny) (rys. 41). Rozkłady przez cały czas trwania opadu były niemalże identyczne i wzrost wysokości warstwy był rozłożony bardzo równomiernie. Jedynie między 50-60% czasu trwania opadu najwyższa różnica

wzrostu warstwy opadu wyniosła 10,5% na korzyść stacji znajdujących się powyżej 200 m n.p.m. (rys. 41).

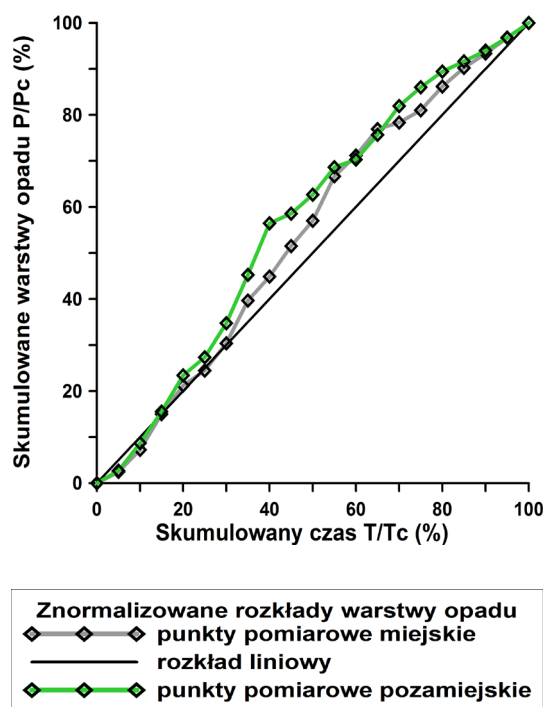


Rys. 41. Porównanie znormalizowanych rozkładów warstw opadów między stacjami położonymi poniżej 200 m n.p.m. i powyżej 200 m n.p.m.

Fig. 41. The comparison of normalized distribution precipitation depth between stations located below 200 m a.s.l. and above 200 m a.s.l.

P/Pc (%) skumulowana warstwa opadu; T/Tc (%) skumulowany czas trwania deszczu

Wpływ stopnia zurbanizowania na rozkład warstwy opadów zanalizowano poprzez porównanie rozkładu warstwy opadu dla stacji położonych w granicach administracyjnych miasta, do których należą punkty pomiarowe: Graniczna, Politechniki, Garnizonowa, Centralna i Pomorska z rozkładem warstw opadu dla stacji zamiejskich reprezentowanych przez Rzgów oraz Dobrą Nowiny (rys. 2). W tym przypadku także rozkłady warstwy opadów było do siebie bardzo zbliżone przez cały okres trwania opadu (rys. 42). Jedynie między 40-50% czasu trwania zdarzenia opadowego najwyższa różnica wysokości warstwy opadu wyniosła 12% na korzyść stacji pozamiejskich (rys.42).

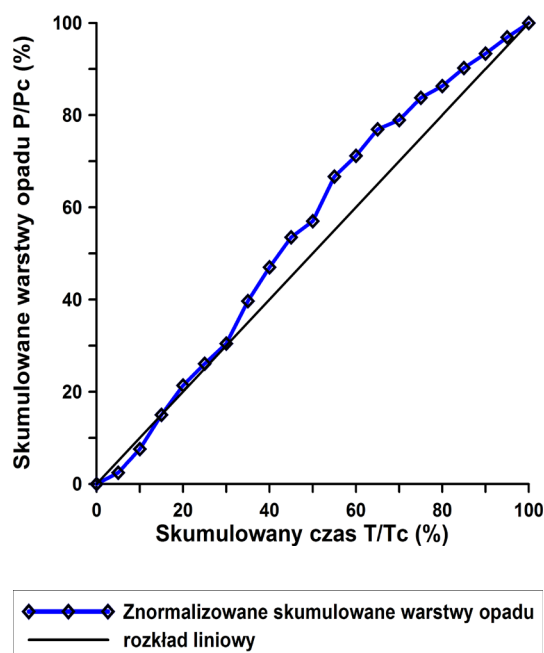


Rys. 42 Porównanie znormalizowanych rozkładów warstw opadów między stacjami miejskimi i pozamiejskimi

Fig. 42 The comparison of normalized distribution of precipitation depth between urban and outskirts stations

P/P_c (%) skumulowana warstwa opadu; T/T_c (%) skumulowany czas trwania deszczu

Syntetyczny znormalizowany rozkład warstwy opadów, który zasięgiem objął obszar aglomeracji łódzkiej, w swoim całym przebiegu przypominał rozkład liniowy, średni wzrost 5% warstwy opadu na 5% czasu jego trwania (rys. 43). Szczególnie uwidaczniał się przebieg liniowy w pierwszej fazie czasu trwania opadu (0-30%) oraz w ostatniej fazie czasu jego trwania (60-100%) (rys. 43). Największą intensywnością opadu cechowała się środkowa faza zdarzenia opadowego, w której odnotowano największy wzrost odpowiadający mniej więcej 10% warstwy w ciągu 5% czasu trwania między 50-55% czasem jego trwania (rys. 43).

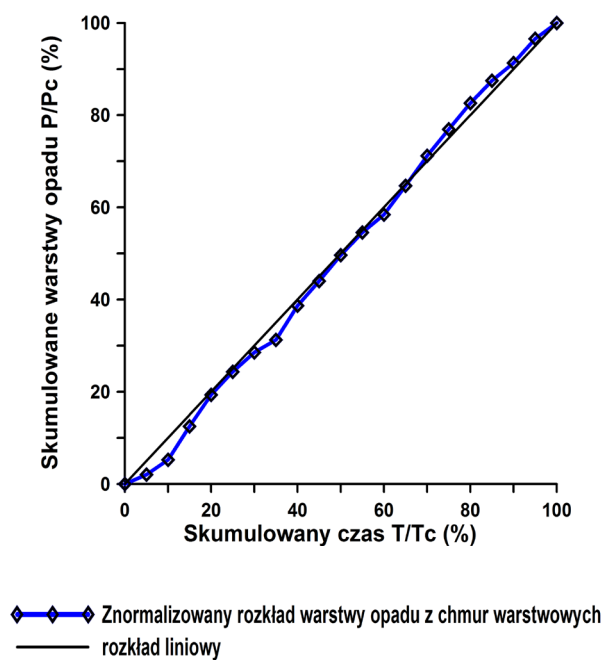


Rys. 43. Syntetyczna znormalizowana warstwa opadu dla wszystkich stacji

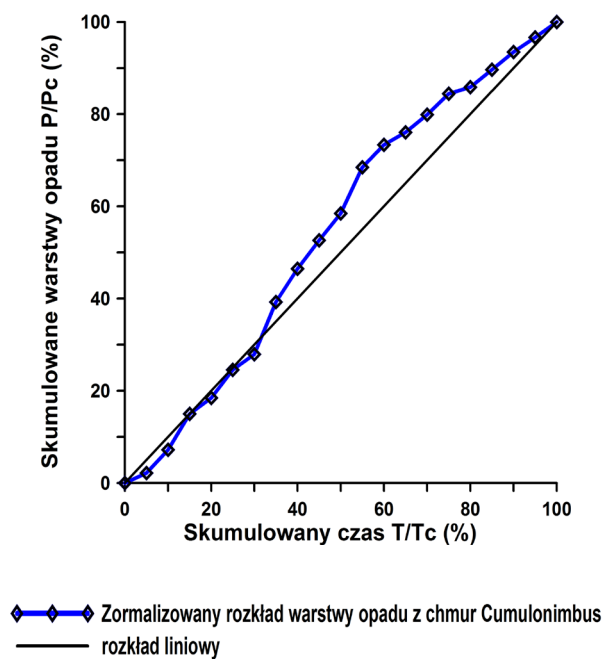
Fig. 43. Synthetic normalized precipitation depth for all stations

P/Pc (%) skumulowana warstwa opadu; T/Tc (%) skumulowany czas trwania deszczu

Kolejny analizowany czynnik, mogący mieć wpływ na przebieg czasowy opadów atmosferycznych na obszarze aglomeracji łódzkiej, dotyczył rodzaju chmur. Incydenty opadowe podzielono ze względu na rodzaj chmur. Podział dotyczył opadów z chmur warstwowych oraz opadów z chmur Cumulonimbus. Klasyfikacji dokonano na podstawie archiwalnych map synoptycznych IMGW oraz raportów METAR ze stacji meteorologicznej Łódź-Lublinek, z których między innymi uzyskano opis przebiegu zjawisk meteorologicznych, a wraz z nim rodzaj występujących chmur.



Rys. 44. Znormalizowana warstwa opadów z chmur warstwowych dla wszystkich stacji.
Fig. 44. Normalized precipitation depth from stratified clouds for all stations
 P/P_c (%) skumulowana warstwa opadu; T/T_c (%) skumulowany czas trwania deszczu



Rys. 45. Znormalizowana warstwa opadów z chmur Cumulonimbus dla wszystkich stacji
Fig. 45. Normalized precipitation depth from Cumulonimbus for all stations
 P/P_c (%) skumulowana warstwa opadu; T/T_c (%) skumulowany czas trwania deszczu

Podczas występowania opadów związanych z chmurami warstwowymi skumulowana warstwa opadu w całym swoim przebiegu była bardzo zbliżona do rozkładu liniowego (rys. 44). Średni wzrost wyniósł 5% wzrostu wysokości warstwy opadu w ciągu 5% czasu jego trwania (rys. 44). W przypadku opadów z chmur Cumulonimbus skumulowaną warstwę opadu można podzielić na trzy fazy. Pierwsza - od powstania do 30% czasu trwania incydentu, wówczas wzrost warstwy opadu cechuje się małym przyrostem poniżej 5% wzrostu warstwy opadu w przedziale 5% czasu jego trwania (rys. 45). W drugiej fazie incydentu opadowego wystąpiły największe wzrosty warstwy opadu atmosferycznego z najwyższym przyrostem 10% w ciągu 5% czasu jego trwania. Jest to środkowa faza czasu trwania opadu, kiedy najwyższe wzrosty warstwy opadu występowały do 75% czasu trwania zdarzenia opadowego. Wówczas linia wzrostu warstwy przebiegała powyżej linii rozkładu liniowego (rys. 45). Od 75% do 100% czasu trwania incydentu opadowego występowała faza trzecia, ostatnia, kiedy to następował gwałtowny spadek wzrostu wysokości warstwy opadu poniżej 5% wzrostu na 5% czasu jego trwania (rys. 45). Powyższe wyniki są zbieżne z rozkładem przebiegu krzywych sumowych Kożuchowskiego (2011). Autor stwierdza, że opad frontalny cechuje się wyrównanym przebiegiem, natomiast w przypadku opadu o charakterze konwekcyjnym, spada blisko połowa wody opadowej w 2/3 czasu jego trwania.

Podsumowując, na wszystkich analizowanych stacjach znormalizowane rozkłady opadów w przedziale 0-30% czasu jego trwania charakteryzują się niską intensywnością. Największy wzrost warstwy opadu występuje podczas środkowej fazy (30-60%) trwania zdarzenia opadowego w poszczególnych przypadkach powyżej 10% warstwy na 5% trwania opadu. W przedziale 60-100% czasu trwania opadu obserwuje się najczęściej spadek jego intensywności (rys. 40).

Najbardziej równomierny wzrost warstwy opadu w całym przebiegu wystąpił w punktach pomiarowych Garnizonowa i Graniczna (rys. 40).

Znormalizowane rozkłady warstwy opadów dla punktów pomiarowych miejskich i pozamiejskich są do siebie bardzo podobne. Maksymalna różnica wartości w całym przebiegu wyniosła 12% (rys. 42).

Nie wykazano znaczącego wpływu hipsometrii terenu na przebieg warstwy opadu, na obszarze aglomeracji łódzkiej, wynika to zapewne ze zbyt małych różnic w deniwelacji terenu. Stacje znajdujące się poniżej 200 m n.p.m. oraz te powyżej 200 m n.p.m. w swoim przebiegu rozkładu warstwy opadu są do siebie bardzo podobne. Maksymalna różnica między dwoma rozkładami wyniosła 10,5% (rys. 41). Jednak analizując punkty pomiarowe indywidualnie, stwierdzono nieco wyższe wzrosty wysokości warstwy opadu w punktach

położonych w bezpośrednim sąsiedztwie strefy krawędziowej Wzniesień Łódzkich (Centralna i Dobra Nowiny) (rys. 40).

Syntetyczny znormalizowany, skumulowany rozkład warstwy opadów dla wszystkich omawianych punktów pomiarowych na obszarze aglomeracji łódzkiej potwierdził charakterystyczną trójfazową zmianę intensywności opadu deszczu w całym jego przebiegu i pokrywa się w znacznym stopniu z wykresami dla wyżej wymienionych punktów pomiarowych (rys. 43).

Na podstawie podziału przebiegu warstw opadu atmosferycznego ze względu na rodzaj chmur wykazano, że wzrost warstwy opadów z chmur warstwowych jest jednostajny (rys. 44). Podczas opadu z chmur Cumulonimbus, wzrost warstwy opadu jest dynamiczny, najwyższe przyrosty obserwuje się w środkowej fazie czasu trwania zdarzenia opadowego (30%-75% czasu jego trwania). Od tego momentu wysokość warstwy opadu znacznie traci na intensywności (rys.45).

6.2. Rozkład przestrzenny opadów atmosferycznych na obszarze Łodzi w zależności od kierunku adwekcji

Analiza częstości występowania opadów atmosferycznych w Łodzi zależności od kierunku adwekcji wykazała, iż najczęściej opady atmosferyczne występują podczas adwekcji zachodniej, południowo-zachodniej i północno-zachodniej (rys. 31, 32).

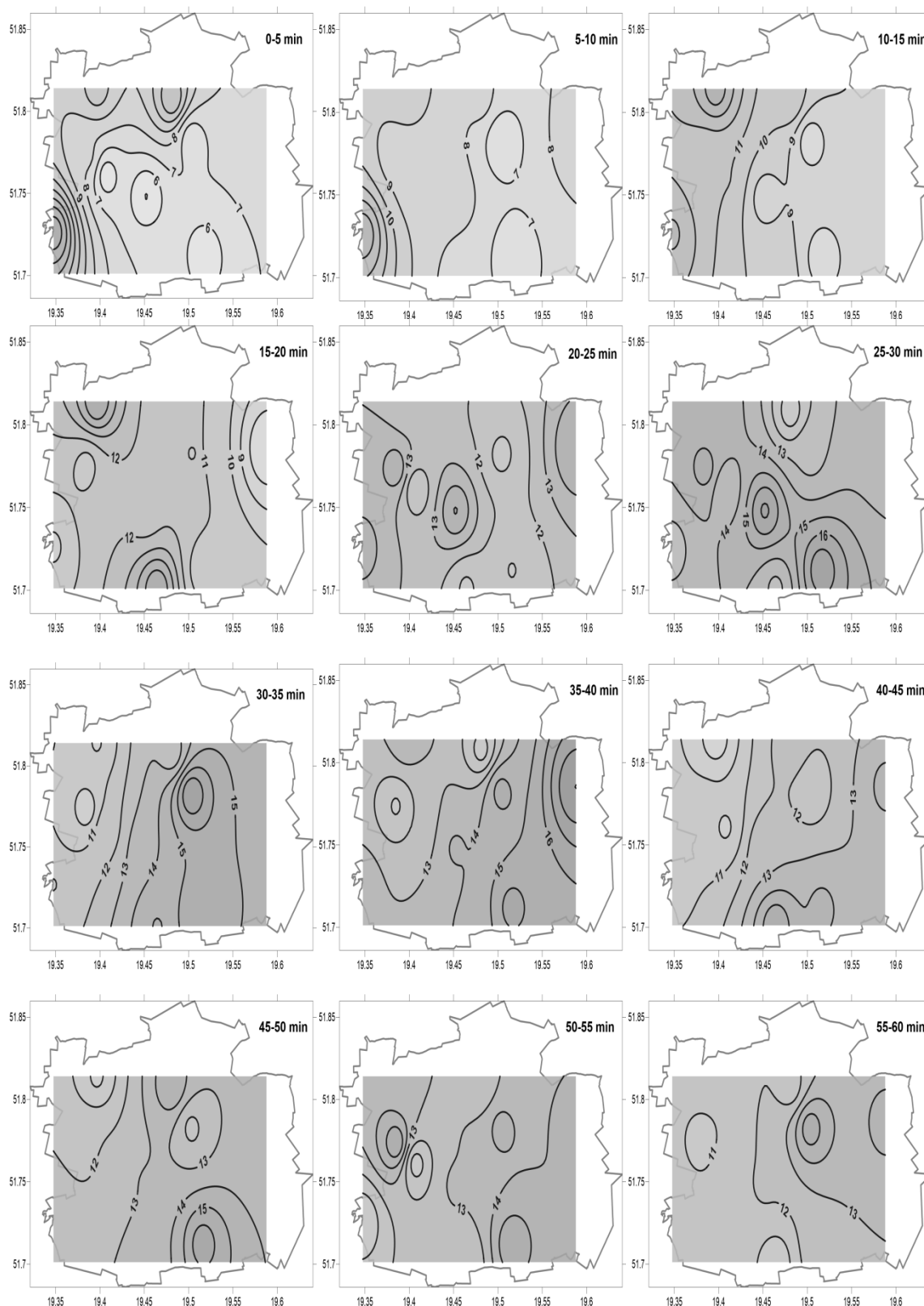
Kotowski (2010) wykazał na przykładzie Wrocławia, że opady atmosferyczne w półroczu letnim (maj-październik) stanowią przeciętnie dwie trzecie sumy rocznej. Intensywność deszczu podczas jego trwania jest zmienna w czasie i przestrzeni. Chwilowe natężenie jednostkowe deszczu może być wielokrotnie większe od średniego, a jego duża intensywność może występować raz bądź kilkakrotnie podczas incydentu opadowego (Kotowski i in. 2010). W celu ustalenia średniego udziału procentowego sumy opadu atmosferycznego w przestrzeni miejskiej, w 5 minutowych krokach czasowych od momentu jego wystąpienia do 60 min. czasu jego trwania dokonano analizy 90 przypadków zdarzeń opadowych z trzech kierunków adwekcji, którym najczęściej towarzyszył opad (NW, W i SW). Wyznaczono obszary najbardziej zagrożone wysokim opadem w ciągu krótkiego czasu jego trwania.

Analiza dynamiki zmian pola opadów w półroczu ciepłym podczas napływu mas powietrza z najbardziej deszczonośnych kierunków adwekcji (NW, W i SW) dokonano na

podstawie 90 incydentów opadowych na obszarze Łodzi (po 30 przypadków dla każdego kierunku adwekcji). Metoda ta opierała się na obliczeniu średniego udziału procentowego odpowiednio sum 5-cio minutowych (0-5 min, 5-10 min, 10-15 min, 15-20 min, 20-25 min, 25-30 min, 30-35 min, 35-40 min, 40-45 min, 45-50 min, 50-55 min, 55-60 min) z sumy 60 minutowej czasu trwania incydentu opadowego. Do analizy rozkładu przestrzennego średniego udziału procentowego sumy opadów atmosferycznych w Łodzi wykorzystano 10 punktów pomiarowych znajdujących się na obszarze miasta, których wyniki poddano interpolacji. W ten sposób otrzymano 12 map ze średnim udziałem procentowym sumy 60-minutowej opadów atmosferycznych w 5-cio minutowych krokach czasowych na obszarze Łodzi dla wybranych kierunków adwekcji (NW, W i SW).

Podczas adwekcji zachodniej można zaobserwować zmianę intensywności opadu atmosferycznego z zachodu na wschód w ciągu 60 minut czasu jego trwania. W początkowej fazie (0-5, 5-10 i 10-15 min) zdarzenia opadowego średni udział procentowy opadu osiąga do 15% w zachodniej części miasta z najniższym udziałem (5-9%) we wschodniej jego części.

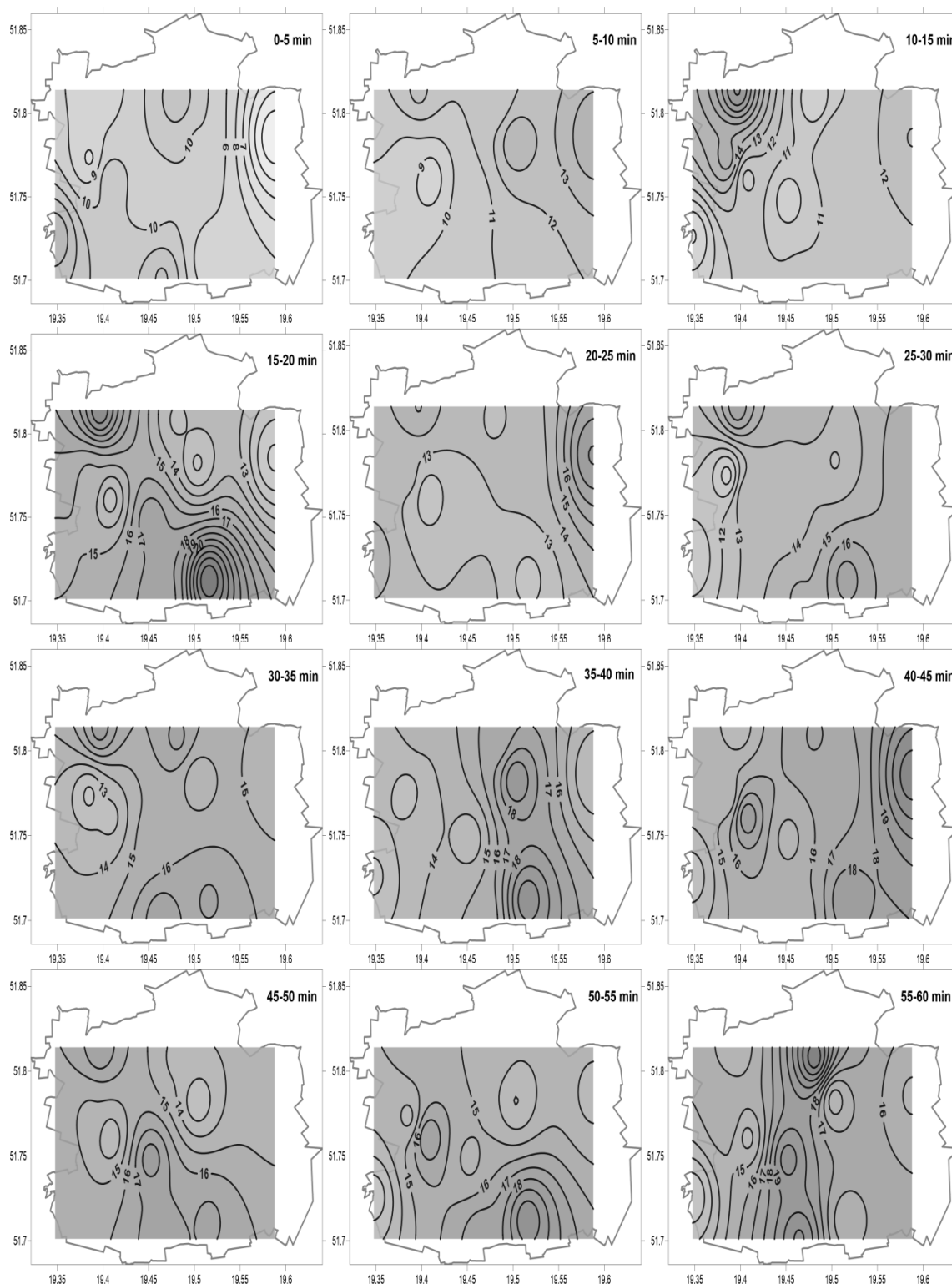
Najwyższy średni udział procentowy występuje w centralnej części Łodzi w czasie 20-30 min z najwyższą wartością 17% między 25-30 min. W przedziale 35-45 min incydentu opadowego najwyższą intensywnością opadu cechuje się wschodnia część miasta z najwyższym średnim udziałem procentowym (18%) w 30-35 i 35-40 min czasu trwania opadu. W tym samym czasie najniższym średnim udziałem procentowym w ogólnej jego sumie charakteryzuje się zachodnia część Łodzi. W czasie 40-60 min dochodzi do stopniowego wyrównania średniego udziału procentowego opadu na znacznej części powierzchni miasta, który waha się od 10 do 16% (rys. 46).



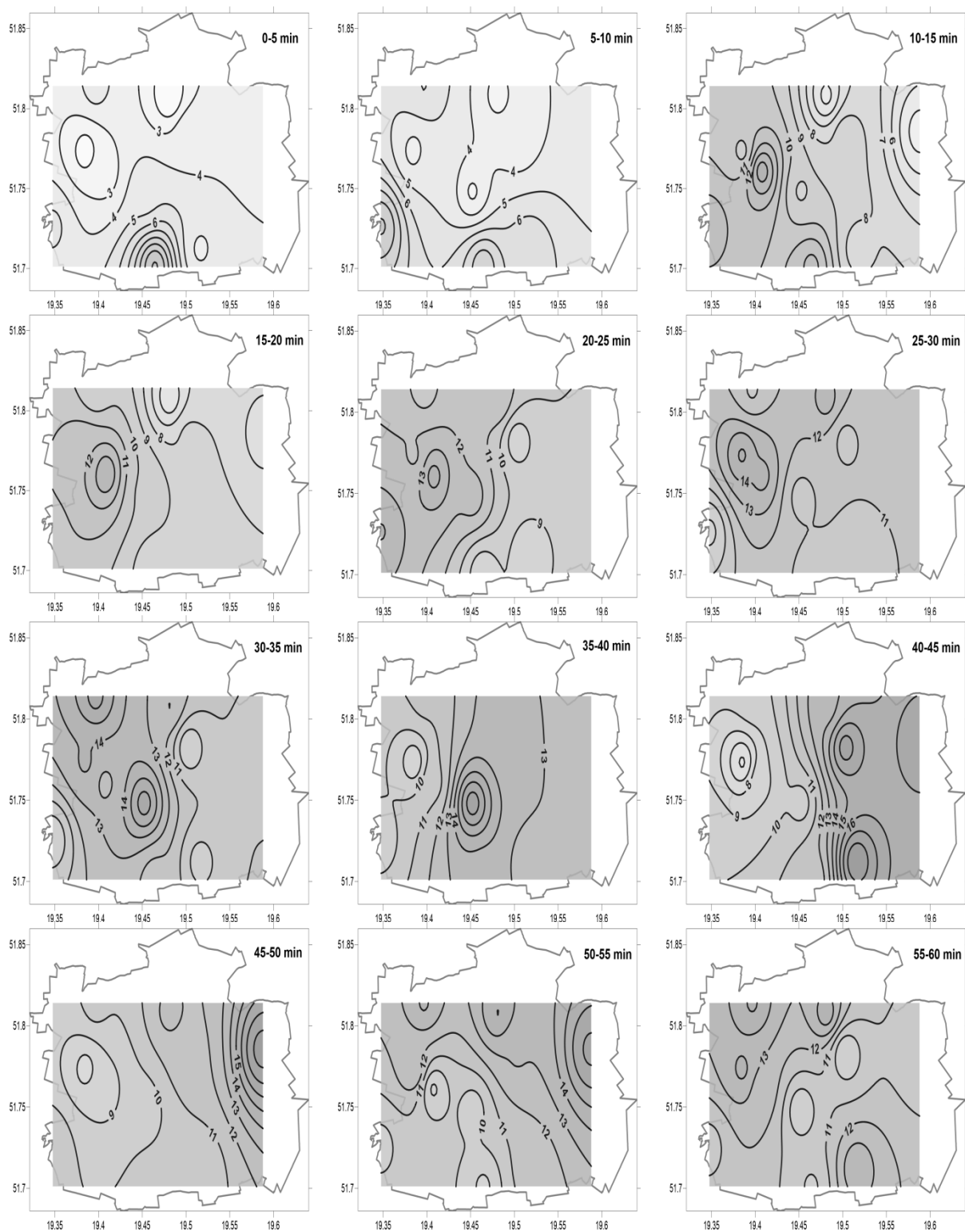
Rys. 46. Procentowy udział opadu na obszarze Łodzi w kolejnych krokach czasowych od momentu pojawienia się opadu atmosferycznego podczas adwekcji zachodniej w półroczu ciepłym
 Fig. 46. Percentage of precipitation in the area of Łódź in subsequent time steps since the appearance of precipitation during west advection in a warm half-year

Podczas adwekcji północno-zachodniej w początkowej fazie wystąpienia opadu atmosferycznego (0-5, 5-10 min) udział procentowy opadu rozkłada się równomiernie (8-14%) (rys. 47). Wzrost intensywności opadu widoczny jest podczas 10-15 i 15-20 min czasu jego trwania. Wówczas występuje maksymalny udział procentowy (21%) w północno-zachodniej części Łodzi (10-15 min), a w przedziale czasu 15-20 min uwidacznia się maksymalny udział procentowy (23%) również po stronie południowo-wschodniej miasta (rys. 47). W czasie 20-35 min. intensywność opadu maleje z równomiernym rozłożonym udziałem procentowy na obszarze Łodzi. Następnie od 25-35 min następuje nieznaczny wzrost intensywności opadu w części wschodniej miasta, po czym w czasie 45-55 min następuje ponowne wyrównanie (12-17%) na całym obszarze Łodzi. Kolejny wzrost średniego udziału procentowego opadu występuje w okresie 55-60 min (rys. 47). Wydaje się, że podczas adwekcji północno-zachodniej wzrost intensywności opadu ma charakter cykliczny, inaczej mówiąc wzrost udziału procentowego gwałtownie wzrasta co 10 min po czym następuje jego spadek i tak kilkakrotnie w przeciągu 60 min czasu trwania incydentu opadowego.

Podczas adwekcji południowo-zachodniej najwyższym średnim udziałem procentowym od początku wystąpienia opadu do 10 min czasu jego trwania charakteryzuje się południowa i południowo-zachodnia część Łodzi (10-12%) (rys. 48). Następnie w czasie 10-30 min najwyższa intensywność opadu utrzymuje się w zachodniej stronie miasta przy średnim udziale procentowym rzędu 13-15% (rys. 48). Podczas 30-40 min trwania opadu najwyższą jego intensywnością cechuje się centralna część miasta (16-17%) (rys. 48). Maksymalne wartości średniego udziału procentowego z 60-minutowej sumy opadu atmosferycznego obserwuje się we wschodniej części Łodzi w czasie 40-50 min, które wynoszą 18% (rys. 48). W czasie 50-60 min obserwuje się wyrównanie intensywności opadu na obszarze miasta (rys. 48).



Rys. 47. Procentowy udział opadu na obszarze Łodzi w kolejnych krokach czasowych od momentu pojawienia się opadu atmosferycznego podczas adwekcji północno-zachodniej w półroczu ciepłym
 Fig. 47. Percentage of precipitation in the area of Łódź in subsequent time steps since the appearance of precipitation during northwest advection in a warm half-year



Rys. 48. Procentowy udział opadu na obszarze Łodzi w kolejnych krokach czasowych od momentu pojawienia się opadu atmosferycznego podczas adwekcji południowo-zachodniej w półroczu ciepłym
 Fig. 48. Percentage of precipitation in the area of Łódź in subsequent time steps since the appearance of precipitation during southwest advection in a warm half-year

W trakcie wybranych incydentów opadowych na obszarze Łodzi podczas wytypowanych kierunków adwekcji obserwuje się wyraźne zróżnicowanie rozkładu czasowo-przestrzennego średniego udziału procentowego opadu. Należy zauważyć, że lokalne maksima intensywności opadu występują w innych punktach Łodzi, zależnie od kierunku adwekcji i w różnych krokach czasowych podczas 60-minutowego czasu trwania deszczu. We wszystkich przypadkach maksymalny średni udział procentowy opadu występuje po stronie zawietrznej miasta. Podczas napływu mas powietrza z zachodu maksymalny średni udział procentowy 18% odnotowano we wschodniej części Łodzi w 35-40 min trwania opadu. W przypadku adwekcji mas powietrza z południowo-zachodu najwyższy średni udział procentowy 18% zaobserwowano we wschodnim i północno-wschodnim obszarze miasta podczas 40-45 i 45-50 min czasu trwania opadu. Najbardziej dynamicznym przebiegiem intensywności opadu charakteryzuje opad podczas adwekcji północno-zachodniej z maksymalnym średnim udziałem procentowym 25% w południowo-wschodniej części Łodzi w czasie 15-20 min. Najbardziej wyrównanym rozkładem średniego udziału procentowego opadu cechuje się opad podczas adwekcji zachodniej.

6.3. Rozkład przestrzenny 95-tego percentyla sum dobowych opadów atmosferycznych w półroczu chłodnym i ciepłym (2011-2016)

Opady atmosferyczne nad obszarem Łodzi najczęściej występują podczas adwekcji północno-zachodniej, zachodniej oraz południowo-zachodniej (rys. 30, 31, 32, 33). Mając to na uwadze przeprowadzono analizę rozkładu przestrzennego 95-tego percentyla sum dobowych opadów atmosferycznych podczas adwekcji powietrza z wymienionych kierunków (rys. 49, 50, 51). Celem analizy było zbadanie zróżnicowania pola wysokich sum dobowych opadów atmosferycznych nad obszarem miejskim. Zróżnicowanie wielkości sum dobowych opadów atmosferycznych jest istotną informacją z punktu widzenia oceny skuteczności funkcjonowania infrastruktury wodno-melioracyjnej, także w ochronie przeciwpowodziowej (Przybyła i in. 2011). Postępująca urbanizacja wiąże się ze zwiększeniem powierzchni nieprzepuszczalnej kosztem terenów zielonych, co jest głównym czynnikiem wpływającym na procesy odprowadzenia i zagospodarowania wód opadowych w mieście. Intensywne opady atmosferyczne mogą powodować podtopienia i zalania pomieszczeń bądź piwnic budynków. Problem ten nabiera szczególnej wagi w centrach miast, gdzie nierzadko występuje kanalizacja zbudowana jako system ogólnospławny - jedna sieć kanałów do odprowadzania

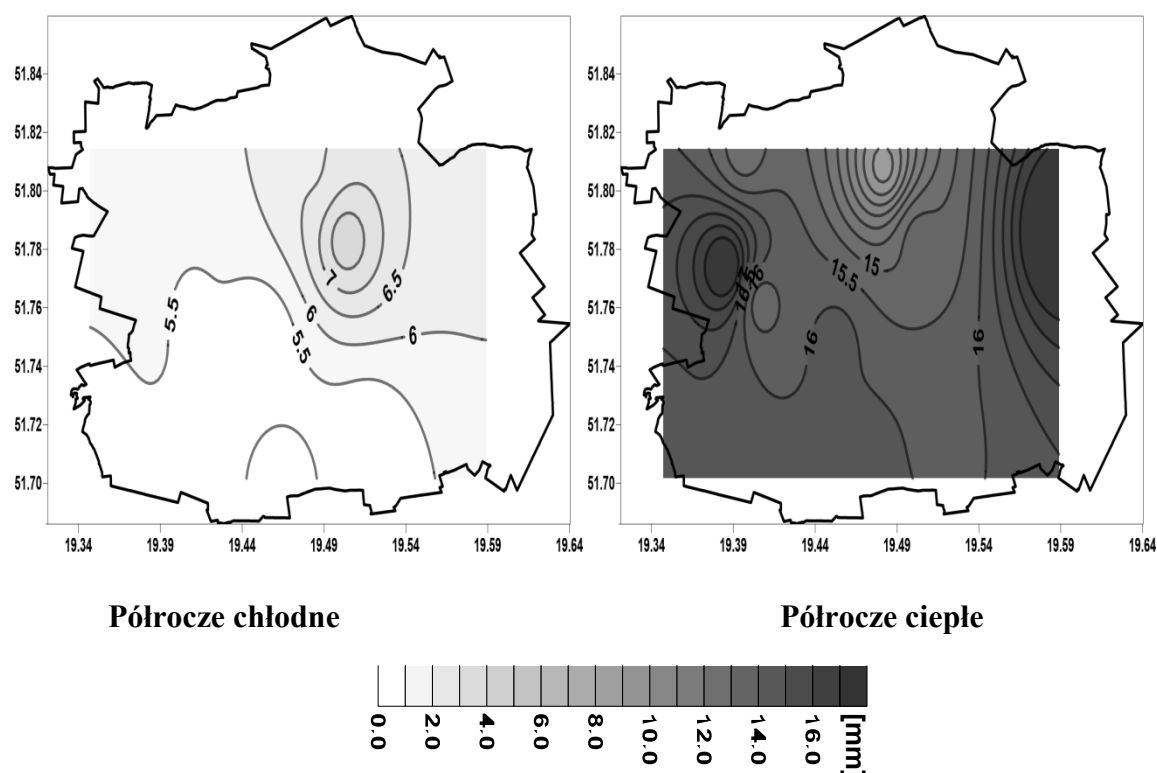
ścieków sanitarnych i deszczowych, i dodatkowo sytuację mogą pogarszać tzw. cofki (Bąk i Królikowska 2016). Tereny zurbanizowane przyczyniają się do modyfikacji pola opadów (Jędruszkiewicz i Zieliński 2016). Horton (1921) doszedł do wniosku, że burze częściej formują się nad dużymi miastami niż nad obszarami otwartymi. Atkinson (1968) i Landsberg (1956) stwierdzili bezpośredni wpływ miejskiej wyspy ciepła na lokalną konwekcję nad miastem. Wzrost opadów po stronie zawietrznej miasta w ciepłym półroczu - opady konwekcyjne, zaobserwowali Changnon (1968), Landsberg (1970), Huff i Changnon (1972). Wpływ infrastruktury miejskiej na modyfikację pola opadów zależy w dużym stopniu od wielkości miasta (Changnon 1992). Istnieje także szereg innych czynników, które mogą powodować zmiany pola opadów nad obszarem miejskim, jak chociażby ukształtowanie powierzchni oraz odległość od otwartych zbiorników wodnych (Jędruszkiewicz i Zieliński 2016). Duża ilość aerozoli emitowanych w miastach, stanowiących jądra kondensacji, może również przyczynić się do zwiększenia częstości występowania opadów (za Jędruszkiewicz i Zielińskim 2016).

Aby zbadać rozkład przestrzenny wysokich sum dobowych opadów w Łodzi w okresie 2011-2016 obliczono 95-ty percentyl sum dobowych opadów atmosferycznych z 10 punktów pomiarowych położonych w obrębie miasta (rys. 4). Uzyskane wyniki dotyczyły 95-tego percentyla chłodnego (XII-III) i ciepłego półrocza (VI-IX). Następnie dokonano podziału 95-tego percentyla sum dobowych opadów atmosferycznych ze względu na najbardziej deszczonośne kierunki adwekcji (NW, W i SW) i poddano je interpolacji. W ten sposób powstały mapy przestrzennego rozkładu 95-tego percentyla chłodnego i ciepłego półrocza oraz uwzględniające z osobna adwekcje: NW, W i SW dla półrocza chłodnego i ciepłego.

Średnio dla wszystkich kierunków adwekcji najwyższe wartości 95-tego percentyla dobowej sumy opadów atmosferycznych odnotowano w półroczu ciepłym w zachodniej części miasta 17,5 mm, natomiast w przypadku półrocza chłodnego najwyższymi wartościami 95-tego percentyla 7,5 mm cechowała się północno-wschodnia część miasta (rys. 49). Najniższe sumy 95-tego percentyla sumy dobowych opadów atmosferycznych w półroczu ciepłym wyniosły 12 mm nad północnym obszarem Łodzi, czyli odwrotnie do sytuacji z półrocza chłodnego, kiedy najniższe wartości 95-tego percentyla 5 mm odnotowano w południowej części miasta (rys. 49). W półroczu ciepłym najwyższe wartości 95-tego percentyla wystąpiły podczas adwekcji południowo-zachodniej, osiągając 18 mm w ciągu doby w zachodniej, południowej i we wschodniej części miasta, natomiast zaobserwowano ich wyraźny spadek w kierunku północnym. (Rys. 51). W półroczu chłodnym najwyższe wartości 95-tego percentyla sumy dobowej opadów atmosferycznych

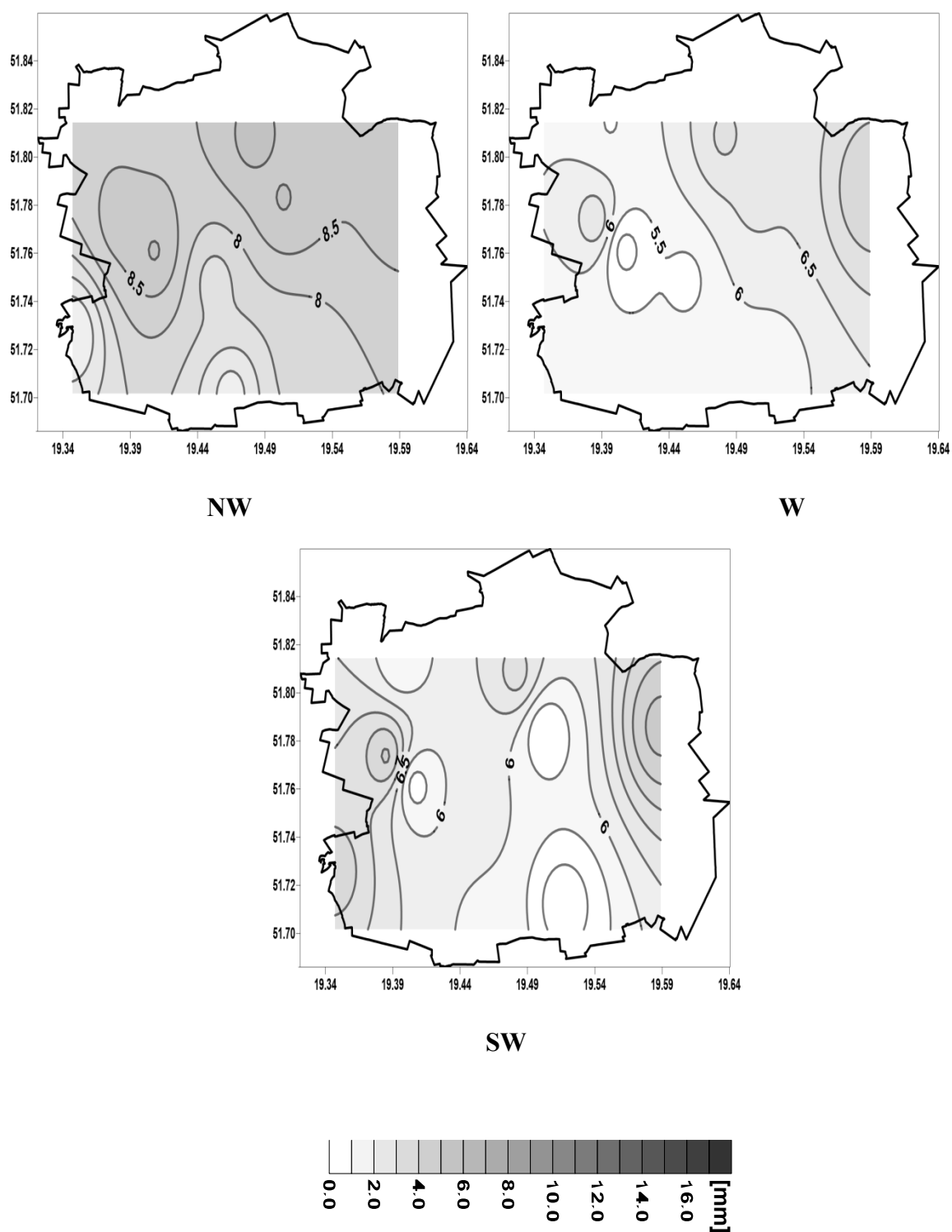
(9 mm) odnotowano podczas adwekcji NW, które objęły północną i północno-zachodnią część miasta, wartości 95-tego percentyla generalnie malały wówczas z północy na południe (rys. 50). W półroczu ciepłym podczas adwekcji z północnego zachodu wartości 95-tego percentyla opadów atmosferycznych były najniższe w porównaniu z pozostałymi kierunkami adwekcji, z najniższą sumą 5,5 mm w południowej części Łodzi (rys. 51). W przypadku półrocza chłodnego, podczas adwekcji z kierunków W i SW wartości 95-tego percentyla były do siebie zbliżone, wahały się od 5,5 do 8,5 mm i podczas obu kierunków napływu mas powietrza najniższe wartości zaobserwowano w centralnej części miasta (rys. 50).

Konkludując, wartość 95-tego percentyla sumy dobowej opadów atmosferycznych była średnio dwukrotnie wyższa w ciepłym półroczu niż w chłodnym. W ciepłym półroczu wartości 95-tego percentyla były bardziej zróżnicowane na obszarze Łodzi w stosunku do półrocza chłodnego. Najwyższe wartości 95-tego percentyla sumy dobowej opadów atmosferycznych najczęściej występowały w obszarze wokół centrum miasta, w którym zazwyczaj obserwowano ich spadek. W ciepłym półroczu maksymalnymi wartościami 95-tego percentyla cechowały się opady podczas adwekcji SW. W chłodnym półroczu najwyższe wartości 95-tego percentyla występowały podczas napływu mas powietrza z kierunku NW.

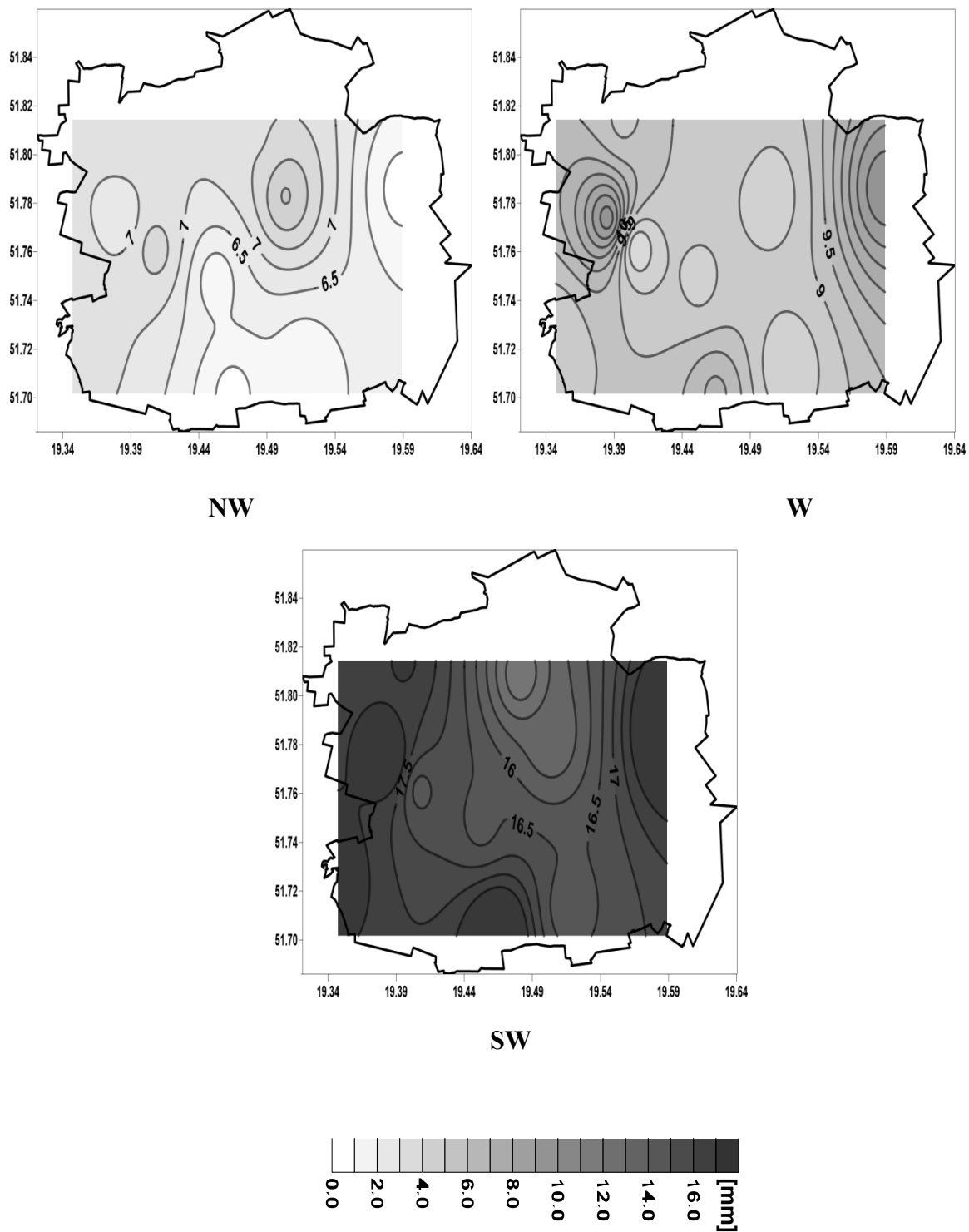


Rys. 49. Rozkład przestrzenny 95-tego percentyla dobowych sum opadów atmosferycznych [mm] w półroczu chłodnym i ciepłym (2011-2016)

Fig. 49. Spatial distribution of the 95th percentile of daily total precipitation [mm] in the cool and warm half-year (2011-2016)



Rys. 50. Rozkład przestrzenny 95-tego percentyla dobowych sum opadów atmosferycznych [mm] w półroczu chłodnym podczas adwekcji z kierunków NW, W i SW (2011-2016)
 Fig. 50. Spatial distribution of the 95th percentile of daily total precipitation [mm] in the cold half-year during advection from directions NW, W and SW (2011-2016)



Rys. 51. Rozkład przestrzenny 95-tego percentyla sum dobowych opadów atmosferycznych [mm] w półroczu ciepłym podczas adwekcji z kierunków NW, W i SW (2011-2016)

Fig. 51. Spatial distribution of the 95th percentile of daily total precipitation [mm] in the warm half-year during advection from directions NW, W and SW (2011-2016)

7. Podsumowanie

Średni rozkład opadów atmosferycznych w okresie 1961-2015 wskazuje na ich umiarkowane zróżnicowanie na obszarze województwa łódzkiego. Średnie sumy opadów wzrastają z północy na południe, co może wynikać ze zmiany wysokości nad poziomem morza. Wysokości bezwzględne wahają się od ok. 100 m n.p.m. w północnej części województwa do 250 m n.p.m. w jego części południowej. W centrum województwa (Wzniesienia Łódzkie) teren jest nieco wyżej położony w porównaniu z północną jego częścią. Suma roczna opadów atmosferycznych w wieloleciu wynosi od 550 mm na północy do 650 mm na południu badanego obszaru. Najwyższe opady występują w lipcu, z maksymalną średnią sumą 95,5 mm w Cisowej, a najniższe w styczniu, z minimalną średnią sumą 24 mm w Sulejowie. Opady atmosferyczne są znacznie zróżnicowane sezonowo. Najwyższe sumy występują latem i są dwukrotnie wyższe od zimowych, co świadczy o kontynentalnym reżimie opadowym. Sumy opadów wiosną charakteryzują się najniższym zróżnicowaniem przestrzennym w województwie łódzkim. Biorąc pod uwagę wydajność opadu (średnia suma na dzień z opadem ze wszystkich punktów), to osiągnęła ona najwyższe wartości 5,8 mm w lecie. Zima cechuje się dwukrotnie niższymi wartościami (2,3 mm) niż lato. Średnie sumy dobowe wiosną i jesienią wynoszą po 3,5 mm.

Duża częstość zachodniej adwekcji wilgotnych mas powietrza znad Atlantyku w zimie jest przyczyną najwyższego udziału dni z opadem (45-50%) w tej porze roku. W pozostałych sezonach udział dni z opadem był do siebie zbliżony - rzędu 35-40%.

Zastosowanie 95-tego percentyla sezonowych sum opadów atmosferycznych pozwoliło sprawdzić, które z analizowanych stacji wyróżniają się wyjątkowo wysokimi opadami atmosferycznymi. Najwyższe wartości 95-tego percentyla sum sezonowych wystąpiły zimą (188,7 mm) w Osjakowie, wiosną (255,4 mm) w Szczercowie, latem (407 mm) w Chelstach i jesienią (222,2 mm) w Cielętnikach. 95-ty percentyl sum opadów atmosferycznych latem był dwukrotnie wyższy, niż zimą, a wiosną 95-ty percentyl przyjmował nieznacznie wyższe wartości niż jesienią. Najwyższe wartości 95-percentyla wystąpiły latem ze względu na częste występowanie opadów konwekcyjnych.

Odchylenie procentowe od średniej wieloletniej sumy rocznej przeciętnie wahało się w granicach od -50% do 50% r. Trendy rocznych sum opadów w województwie łódzkim oscylowały między -2,31 mm/rok w Żychlinie do 2,16 mm/rok w Bobrach. Na żadnej ze stacji nie odnotowano trendów istotnych statystycznie. Zima charakteryzowała się 2-3 letnimi okresami nadwyżek i niedoborów opadów atmosferycznych występującymi naprzemiennie.

Trendy sum opadów atmosferycznych w zimie, w województwie łódzkim oscylowały pomiędzy -0,28 mm/rok w Wieluniu do 0,82 mm/rok w Widawie. Istotne statystycznie trendy w sezonie zimowym stwierdzono: w Sadkowicach (0,56 mm/rok), Widawie (0,82 mm/rok) i Skierniewicach (0,57 mm/rok). W większości punktów pomiarowych (82%) notowano trendy dodatnie (tab. 5). Odchylenia procentowe od średniej wieloletniej zimą przeciętnie są dwukrotnie wyższe od odchyleń średniej wieloletniej sumy rocznej. Wiosną najdłuższy okres z niedoborem opadów atmosferycznych wystąpił od początku lat 60-tych do początku lat 90-tych. Nie odnotowano większych różnic pomiędzy stacjami. W sezonie wiosennym trend sum opadów atmosferycznych oscylował w granicach od -0,5 mm/rok w Żychlinie do 0,81 mm/rok w Bobrach (tab. 5). Istotnie statystycznymi trendami wiosną cechowały się stacje w Bobrach (0,81 mm/rok) i Sadkowicach (0,4 mm/rok). Trendy dodatnie występowały w znacznej przewadze (86% stacji). Latem odchylenia procentowe od średniej wieloletniej były do siebie zbliżone na wszystkich punktach pomiarowych. Dłuższy okres z deficytem opadów odnotowano od początku lat 80-tych do początku lat 90-tych. Letnie opady powyżej normy występowały od końca lat 60-tych do początku lat 80-tych. Maksymalnymi odchyleniami od średniej wieloletniej sumy opadów atmosferycznych latem cechował się 1997r., z najwyższą wartością wynoszącą 115% w Wieluniu. Wówczas Polskę nawiedziła powódź, zwana "powodzią tysiąclecia", która największe szkody wyrządziła w południowej części kraju. Latem trendy sum opadów atmosferycznych wahały się od -1,03 w Żychlinie do 0,76 mm/rok w Szczercowie. Na większości stacji (77%) przeważały trendy ujemne i na żadnej nie były istotne statystycznie. Jesienią zaobserwowano naprzemienne dekadowe nadwyżki i niedobory opadów atmosferycznych. Trendy sum opadów jesienią w województwie łódzkim oscylowały od -0,92 mm/rok w Żychlinie do 0,65 mm/rok w Bobrach i były istotne statystycznie. Na pozostałych stacjach trendy były nieistotne statystycznie. Jesienią w przewadze (91%) występowały trendy ujemne.

Odchylenie standardowe opadów atmosferycznych wzrasta z północy na południe z najwyższymi wartościami latem rzędu 65-85 mm. Najwyższe wartości odchylenia latem mogą być efektem dużej frekwencji opadów typu konwekcyjnego o tej porze roku. Zimą z kolei odchylenie standardowe było najniższe - rzędu 30-45 mm, czego przyczyną mogą być częste opady, ale niezbyt obfite.

Zimą odnotowano najmniejsze zróżnicowanie sum dobowych opadów atmosferycznych w wieloleciu 1961-2015, świadczy o tym rozstęp międzykwartyłowy, który wyniósł od 2,5 do 7,5. Zapewne wpływa na to duża częstość opadów o małej intensywności z chmur warstwowych o tej porze roku. Latem zróżnicowanie było największe z najwyższym

rozstępem kwartylowym wynoszącym 25 mm w Sadkowicach w 2013r, czego wynikiem może być duża frekwencja opadów z chmur Cumulonimbus, które charakteryzują się dużą intensywnością, lecz niedużym zasięgiem przestrzennym. Jesienią i wiosną sumy dobowe są do siebie podobne i ich zmienność jest niższa niż latem.

Zimą i wiosną na przeważającej części województwa łódzkiego przeciętny przyrost opadów na rok waha się od 0,2 do 0,6 mm. Latem i jesienią z kolei tendencja jest odwrotna, na większości badanego obszaru wystąpiły spadki opadów od -0,2 do -0,8 mm na rok.

Najwyższe średnie sumy dobowe we wszystkich sezonach wystąpiły podczas typów cyklonalnych. Zima charakteryzowała się najwyższymi opadami dobowymi podczas typu Wc, wiosną podczas typów NEc i SEc. Latem średnie sumy dobowe opadów były dwukrotnie wyższe, niż zimą i charakteryzowały się najwyższymi wartościami podczas cyrkulacji typu SEc i SWc. Jesienią najwyższe średnie sumy dobowe odnotowano podczas typu Ec. We wszystkich sezonach podczas typów antycyklonalnych wystąpiły najniższe średnie sumy dobowe opadów z minimum podczas typu Na, czego powodem jest mała wilgotność mas powietrza arktycznego napływającego z północy. W województwie łódzkim najczęściej opady występują podczas adwekcji północno-zachodniej, zachodniej i południowo-zachodniej, w przedziale 18-30% dla każdego kierunku w zależności od pory roku, co pokazuje duży wpływ Atlantyku w generowaniu opadów atmosferycznych w województwie łódzkim. Najmniejszą częstością charakteryzują się opady podczas adwekcji z kierunków: NE, E i SE i ich wartość waha się od 4 do 8% w zależności od sezonu, przyczyną są suche masy powietrza kontynentalnego przenoszone z powyższych kierunków. Opady rzędu 1,1-5,0 mm (opad słaby) przeważają w strukturze częstości w ciągu roku, szczególnie wyraźnie widoczne zimą i jesienią. Latem obserwuje się wzrost, w stosunku do pozostałych pór roku, częstości opadów umiarkowanych 5,1-10,0 mm i silnych >10,0 mm, czego powodem jest wzrost frekwencji opadów konwekcyjnych o charakterze intensywnym.

Prawdopodobieństwo wystąpienia opadu jest najwyższe podczas typów cyklonalnych we wszystkich porach roku, na co wpływ mają fronty atmosferyczne im towarzyszące, które generują opady. W zimie, podczas typów: Wc, NWc, Nc i NEc w Łodzi i Bobrach wystąpiły najwyższe wartości prawdopodobieństwa wystąpienia opadu spośród wszystkich uwzględnionych punktów pomiarowych i wyniosły kolejno w Łodzi: 84%, 86%, 83% i 78% i Bobrach: 80%, 87%, 84% i 72%. Zimą najniższe wartości prawdopodobieństwa wystąpienia opadu 0,12% odnotowano w Żychlinie podczas typu cyrkulacji Sa, na co wpływ może mieć ukształtowanie terenu. Żychlin jest położony w najniższej, północnej części województwa łódzkiego ok. 100 m n.p.m. Najniższe prawdopodobieństwo wystąpienia opadów

atmosferycznych, poniżej 20%, odnotowano podczas typów SEa i Sa na wszystkich punktach pomiarowych. Wiosną prawdopodobieństwo pojawienia się opadu było najwyższe podczas typów Wc i NWc, i wyniosło odpowiednio w Łodzi 80 i 77%, w Bobrach 71 i 74%, w Sadkowicach 72 i 74%. Najniższe prawdopodobieństwo wystąpienia opadu atmosferycznego wiosną 0,09% odnotowano w Żychlinie podczas typu SEa. Prawdopodobieństwo wystąpienia opadu wiosną na wszystkich punktach pomiarowych było najniższe podczas typu SEa. Napływ suchych mas powietrza znad Azji Mniejszej nie sprzyja powstaniu opadu. Latem największym prawdopodobieństwem opadu cechował się typ SWc z wartościami w Łodzi 79% i Bobrach 78%. Najniższe prawdopodobieństwo opadu w sezonie letnim wystąpiło podczas typu SEa z najniższą wartością w Sadkowicach 8,5%, na co wpływ mają suche, silnie nagrzane masy powietrza znad Azji Mniejszej. Jesienią prawdopodobieństwo warunkowe wystąpienia opadu atmosferycznego było najwyższe podczas typu Ec w Bobrach i wyniosło 84% oraz podczas typu NWc w Łodzi z wartością 83%, co jest zgodne z najwyższymi sumami dobowymi opadów podczas typu Ec. Najniższym prawdopodobieństwem pojawienia się opadu cechował się typ SEa z minimum 8% w Sadkowicach, czego przyczyną mogą być suche masy powietrza znad Azji Mniejszej wyżej wspomniane. W zimie uwiadamia się najwyższe prawdopodobieństwo wystąpienia opadów bardzo słabych 0,1-1,0 mm z wartościami maksymalnymi przekraczającymi 50% z kierunku zachodniego. Wiosna wydaje się najmniej zróżnicowaną porą roku w strukturze prawdopodobieństwa wystąpienia opadu. We wszystkich sezonach najniższym prawdopodobieństwem cechują się opady umiarkowane 5,1-10,0 mm i silne >10,0 mm. Najwyższe wartości prawdopodobieństwa opadów silnych występują w okresie letnim i nie przekraczają 10%.

Największą współzależność występowania makrotypów cyrkulacji (NAO, EA, EA/WR, SCA, POL) z opadami atmosferycznymi w województwie łódzkim odnotowano jesienią i zimą. Najsilniejszym wpływem na średnie sumy opadów atmosferycznych w województwie łódzkim cechuje się cyrkulacja SCA (26%) i POL (31%), najsłabszym cyrkulacja EA/WR (4%). Indeksy makrotypów cyrkulacji najczęściej statystycznie istotnie korelowały z opadami w Łodzi (23%), Sulejowie (22%) i Szczercowie (20%). Najrzadziej statystycznie istotne korelacje indeksów cyrkulacji ze średnimi sumami miesięcznymi opadów atmosferycznych obserwowano w Żychlinie (13%). Przeważały korelacje słabe od -0,4 do 0,4. Duże zróżnicowanie korelacji może świadczyć o wpływie warunków lokalnych na opady. Intensywna cyrkulacja NAO późnym latem i jesienią sprzyja opadom poniżej normy w województwie łódzkim, natomiast zimą i wczesną wiosną przyczynia się do ich wzrostu. Na przełomie lata i jesieni cyrkulacja EA wpływa na spadek opadów atmosferycznych w

województwie łódzkim. Cyrkulacja SCA oddziałuje na wzrost opadów atmosferycznych latem, a w zimie powoduje ich deficyt. Intensywna cyrkulacja POL jest powiązana z opadami poniżej normy na przełomie lata i jesieni oraz zimą na obszarze województwa łódzkiego.

Na podstawie wybranych incydentów opadowych ustalono, że na wszystkich analizowanych stacjach aglomeracji łódzkiej w początkowej fazie opadu (0-30% czasu jego trwania) znormalizowane rozkłady warstwy opadu cechowały się niską intensywnością ich wzrostu. Środkowa faza opadu (30-60% czasu jego trwania) charakteryzowała się najwyższą intensywnością opadu, w poszczególnych przypadkach powyżej 10% wzrostu warstwy na 5% czasu jego trwania. Od 60 do 100% trwania opadu następował spadek jego intensywności i przyrost warstwy opadu wynosił poniżej 5% na 5% czasu jego trwania. Najbardziej równomiernym wzrostem warstwy opadu w całym przebiegu opadu charakteryzowały się punkty pomiarowe Garnizonowa i Graniczna, położone w zachodniej i południowo-zachodniej części Łodzi o najniższych wysokościach bezwzględnych wynoszących około 180 m n.p.m. Największą dynamiką wzrostu warstwy opadu cechowała się Centralna i Dobra Nowiny, co mogło być związane z bezpośrednim sąsiedztwem strefy krawędziowej Wzniesień Łódzkich. Znormalizowane skumulowane warstwy opadów w punktach pomiarowych zlokalizowanych w mieście i poza nim w początkowej i końcowej fazie opadu były do siebie bardzo zbliżone. Jedynie w środkowej fazie, między 40-50% czasu trwania zdarzenia opadowego, wystąpił przyrost warstwy opadu o na stacjach pozamiejskich był szybszy o 12%. Przebieg znormalizowanych skumulowanych warstw opadów w punktach o różnej wysokości bezwzględnej nie wykazał znaczących różnic w przebiegu jego intensywności. Jedynie punkty pomiarowe powyżej 200 m n.p.m w środkowej fazie (50-60%) czasu trwania opadu charakteryzowały się nieco większymi przyrostami warstwy opadu w stosunku do punktów pomiarowych poniżej 200 m n.p.m., z maksymalną różnicą 10,5%. Syntetyczny znormalizowany, skumulowany przebieg opadów dla wszystkich punktów pomiarowych pokrywa się z charakterystyczną zmianą intensywności przebiegu w indywidualnych punktach pomiarowych na obszarze aglomeracji łódzkiej. Stwierdzono, że geneza opadu jest decydującym czynnikiem, który wpływa na przebieg intensywności opadu. Pokazano, że przebieg wzrostu warstwy opadu z chmur warstwowych był jednostajny. W przypadku chmur Cumulonimbus, przebieg warstwy opadu był bardziej dynamiczny i najwyższe wzrosty warstwy opadu wystąpiły od 30 do 75% czasu jego trwania.

W trakcie wybranych incydentów opadowych na obszarze Łodzi podczas wytypowanych kierunków adwekcji (NW, W i SW) w czasie 60 minut obserwuje się wyraźne zróżnicowanie rozkładu czasowo-przestrzennego średniego udziału procentowego opadu.

Lokalne maksima intensywności opadu występują w innych punktach Łodzi zależnie od kierunku adwekcji i w różnych krokach czasowych podczas 60-minutowego czasu trwania deszczu. Maksymalny średni udział procentowy opadu występuje po zawietrznej stronie miasta podczas analizowanych kierunków adwekcji. Najwyższą intensywnością opadu jest zagrożona wschodnia część Łodzi (35-40 min czasu trwania opadu) podczas napływu mas powietrza z zachodu, w przypadku adwekcji mas powietrza z południowego-zachodu jest to wschodni i północno-wschodni obszar miasta (40-45 i 45-50 min czasu trwania opadu), a podczas adwekcji północno-zachodniej południowa część Łodzi (15-20 min czasu trwania opadu). Najbardziej dynamicznym rozkładem średniego udziału procentowego opadu charakteryzuje się opad podczas adwekcji północno-zachodniej, natomiast najbardziej wyrównanym przebiegiem opad podczas adwekcji zachodniej. We wszystkich przypadkach, podczas adwekcji z kierunków NW, W i SW, strona zawietrzna miasta okazuje się najbardziej zagrożoną wysokimi opadami atmosferycznymi.

W chłodnym półroczu podczas napływu mas powietrza z najbardziej deszczonośnych kierunków (NW, W i SW) najwyższymi wartościami 95-tego percentyla sumy opadu dobowego (9 mm) cechowała się zachodnia i północno-zachodnia część Łodzi z kierunku NW. W ciepłym półroczu najwyższe wartości 95-tego percentyla sumy dobowej opadów atmosferycznych, wynoszące 18 mm, wystąpiły podczas adwekcji SW w zachodniej, wschodniej i południowej części miasta. W strefach peryferyjnych miasta zaobserwowano najwyższe wartości 95-tego percentyla sumy dobowej opadów atmosferycznych, podczas gdy w jego centrum zazwyczaj odnotowywano jego najniższe wartości.

Wzrost średniej rocznej temperatury powietrza w Polsce powoduje spadek częstości opadów długotrwałych, w konsekwencji nasila się zjawisko suszy w ostatnich latach. Jednocześnie obserwowane jest, szczególnie latem, nasilenie opadów intensywnych. Dynamizm powyższych zjawisk w ostatnich latach sugeruje, iż istotne jest uwzględnienie analiz opadów atmosferycznych w oparciu o dane z początku XXI wieku, które niniejsza praca uzupełnia.

Spis literatury

- Adamczyk R., 2007, *Oscylacja Północnoatlantycka a wielkość zachmurzenia na obszarze Polski* [w:] Piotrowicz K., Twardosz., (red.), *Wahania klimatu w różnych skalach przestrzennych i czasowych*. Instytut Geografii i Gospodarki przestrzennej UJ, s. 85-91.
- Banaszkiewicz B., Grabowska K., Szwejkowski Z., 2004, *Charakterystyka opadów atmosferycznych na terenie województwa warmińsko-mazurskiego w latach 2000-2002*, *Acta Agrophysica* 3(1) s. 5-11.
- Barnston A., Livezey R., 1987, *Classification, seasonality and persistence of low frequency atmospheric circulation patterns*. *Monthly Weather Review.*, vol. 115 s. 1083-1102
- Barszcz M., 2012, *Znormalizowane rozkłady warstwy opadów czasie trwania deszczy na obszarze zlewni doświadczałnej w Warszawie*. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie* t.12 z. 3 (39) s. 27-38.
- Bąk B., Łabędzki L., 2002, *Assessing drought severity with the relative precipitation index (RPI) and the standardized precipitation index (SPI)*. *J. Water Land Develop.* No. 6, s. 89-105
- Bąk J., Królikowska J., 2016: *Proekologiczne zagospodarowanie wód opadowych* [w:] *Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód*, s. 248-258.
- Bednorz E, Wibig J., 2008: *Snow depth in eastern Europe in relation to circulation patterns*. *Annals of Glaciology* 48 s. 135-149.
- Bednorz E., 2009: *Snow cover occurrence in central european lowlands under northern hemisphere circulation patterns*, *Acta Climatologica et Chorologica*, t. 42-43, s. 17-28.
- Bernas M., Kolendowicz L., 2013: *Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na występowanie ekstremalnych opadów w Poznaniu w latach 1920-2010*. *Badania Fizjograficzne, Seria A*, Tom 64, 2013, s. 7-27.
- Bobński E, Meyer W., 1992, *Susza w Polsce w latach 1982-1992. Ocena hydrologiczna*. *wiad. IMGW*, t. 15, z. 4, s. 3-23.
- Bogucka M., 1998: *Niektóre aspekty zmienności opadów maksymalnych dobowych w Warszawie i okolicy*. *Acta Univ. Lodz., Folia Geogr.*, 3, s. 417-425.
- Bokwa, A. i Skowera, B., 2009: *Występowanie ekstremalnych warunków pluwialnych w Krakowie i okolicy w latach 1971-2005*. *Acta Agrophysica*, 13 (2), 299-310.
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 2004: *Cykliczne wahania temperatury i opadów w Polsce w XIX-XXI wieku*, *Acta Agrophysica*, z. 3(1) s. 21-33.
- Bryś K., Bryś T., 2002. *Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej na zmienność warunków wilgotnościowych, radiacyjnych dynamicznych i ewaporacyjnych we Wrocławiu-Swojcu w latach 1946-2000*, [w:] Marsz A. A. Styszyńska A., (red.), *Oscylacja Północnego Atlantyku i jej rola w kształtowaniu zmienności warunków klimatycznych i hydrologicznych Polski*. *Akademia Morska, Gdynia*, s. 147-160.
- Burian S. J., Shepherd J. M., 2005: *Effect of urbanization on the diurnal rainfall pattern in Houston*. *Hydrol. Process.* Vol. 19. s. 1089-1103.

- Claud C., Duchiron B., Terray P., 2007: *Associations between large-scale atmospheric circulation and polar low developments over the North Atlantic during winter*. Journal of Geophysical Research, vol. 112 s. 1-16.
- Chomicz K., 1971: *Struktura opadów atmosferycznych w Polsce*. Prace PIHM, 101.
- Czapłak I., 1996: Posucha 1992 roku w Polsce a ogólne prawidłowości rozkładu dni bezopadowych. Wiad. IMUZ t. 18, z. 4 s. 85-93.
- Czarnecka M., Nidzgorska-Lencewicz J., 2012: *Wieloletnia zmienność sezonowych opadów w Polsce*. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie t. 12, z. 2 (38), s. 45-60.
- Degirmendzić J., Walisch M., Szmidt A., 2014: *Pola opadów w Polsce związane z niżami Vb van Bebbera*. Acta Universitatis Lodzianensis, Folia Geographica Physica, vol. 13, s. 3-
- Dettwiller J., Jr. Changnon S. A., 1976: *Possible urban effects on maximum daily rainfall at Paris, St. Louis and Chicago*. J. Appl. Meteor., Vol. 15, s. 517-519.
- Dou J., Wang Y., Bornstein R., Miao Sh., 2015: *Observed Spatial Characteristics of Beijing Urban Climate Impacts on Summer Thunderstorms*. J. Appl. Meteor. Climatol. Vol. 54, s. 94-105.
- Dubaniewicz H. 1974. Klimat województwa łódzkiego. Acta Geographica Lodzianensia 39: s. 1-120.
- Ewert A., 1984. *Opady atmosferyczne na obszarze Polski w przekroju rocznym*, Wyd. WSP Śląsk.
- Fortuniak K., 2003: *Miejska wyspa ciepła. Podstawy energetyczne, studia eksperymentalne, modele numeryczne i statystyczne*. Wyd. UŁ (rozprawa habilitacyjna), 233 s.
- Goldsztein P., Skrzypek G., 2004: *Wykorzystanie metod interpolacji do numerycznego kreślenia map powierzchni geologicznych na podstawie nieregularnie rozmieszczonych danych*. Przegląd Geologiczny, vol. 52, nr 3
- Gumiński R., 1952, *Materiały do poznania genezy i struktury klimatu Polski (fakty i problemy)*. Prz. Geogr., 24, 3, 3-26 oraz przedruk 1998, Prace i Studia Geograficzne, t. 22, WGiSR, Warszawa, 119-144.
- Han J., Y., Baik J., J., Lee H., 2014: *Urban impacts on precipitation*. Asia-Pac. J. Atmos. Sci., Vol. 50 (1), 48, 17-29.
- Hurrell J., W., 1995. *Decadal trends in the North Atlantic Oscillation and relationships to regional temperature and precipitation*, Science 269, s. 676-679.
- Hurrell J., W., Kushnir Y., Visbeck M., Ottersen G., 2003. An overview of the North Atlantic Oscillation [w:] Hurrell J., W., Kushnir Y., Ottersen G., Visbeck M., (wyd.) The North Atlantic Oscillation. Climate Significance and Environmental Impact. AGU Geophysical Monograph, Vol. 134, s. 1-35.
- Hess, P., and Brezowsky, H., 1977: *Katalog der Grosswetterlagen Europas, 1891–1976*. Deutsch. Wetterdienstes Ber., 15(113).
- Jaagus J., Briede A., Rimkus E., Remm K., 2010: *Precipitation pattern in the Baltic countries under the influence of large-scale atmospheric circulation and local landscape factors*. Int. J. Climatol, Vol. 30, s 705-720.
- Jędruszkiewicz J., Piotrowski P., 2012: *Atmospheric circulation influence on the winter thermal conditions in Poland in 2021-2050 based on the RACMO2 model*, Contemporary Trends in Geoscience, Vol. 1, s. 13-20.

- Jędruszkiewicz J., Zieliński M., 2016: *Zróźnicowanie wysokich dobowych sum opadów w Łodzi i okolicach na tle cyrkulacji atmosferycznej*. Acta Geogr. Lodz. z. 104, s. 201-2011.
- Jenkinson A. F., Collison P., 1977, *An initial climatology of gales over the North Sea*. Synoptic Climatology Branch Memorandum no. 62, Meteorological Office, Bracknell
- Jones P. D., Jonsson T., Wheeler D., 1997. Extension to the North Atlantic Oscillation using early instrumental pressure observations from Gíblartar and South-West Iceland. Int J. Climatol, Vol 17, s. 1433-1450.
- Jones P. D., Hulme M., Briffa K., R., 1992: *A comprison of Lamb circulation types with an objective classifaction scheme*. Int J. Climatol., Vol. 13, s. 655-663.
- Jr. Changnon S. A., 1980: *Evidence of urban and lake influences on precipitation in the Chicago area*. J. Appl. Meteor., Vol. 19, No. 10 s. 1137-1159.
- Jr. Changnon S. A., Huff F. A., 1986: *The urban-related nocturnal rainfall anomaly at St. Louis*. J. Climate Appl. Meteor. Vol. 25, s. 1985-1994.
- Jr. Changnon S. A., Semonin R. G., Huff F. A., 1976: *A hypothesis for urban rainfall anomalies*. J. Appl. Met., Vol. 15, s. 544-560.
- Kaczorowska Z., 1962: *Opady w Polsce w przekroju wieloletnim*. Prace Geograficzne Nr 33.
- Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S., White G., Woolen J., Zhu Y., Chelliah M., Ebisuzaki W., Higgins W., Janowiak J., Mo K.,C., Ropelewski C., Wang J., Leetmaa A., Reynolds R., Jenne R., Joseph D., 1996: The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Projec, Bull. Amer. Meteor. Soc., Vol. 77, s. 437-470.
- Kanecka-Geszke E., Smarzyńska K., 2007: *Ocena suszy meteorologicznej w wybranych regionach agroklimatycznych Polski przy użyciu różnych wskaźników*, Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus 6 (2), s. 41-50.
- Kłysik K., 1993, *Główne cechy klimatu*. [W:] Środowisko Geograficzne Polski Środkowej. Zbiór studiów pod red. S. Pączki. Wyd. UŁ: s. 109-134.
- Kłysik K. 2001: *Warunki klimatyczne*. W: Stanisław Liszewski (red.) Zarys monografii województwa łódzkiego, 68-81. Łódź: Łódzkie Towarzystwo Naukowe.
- Kirchenstein M., 2005: *Wieloletnie zmiany sum opadów atmosferycznych na wybranych stacjach północno-zachodniej Polski*, Słupskie Prace Geograficzne 2 s. 199-214.
- Kirchenstein M., Baranowski D., 2009: *The influence of North Atlantic Oscillation (NAO) on the air temperature and the total precipitation in Koszalin in 1861-2007*, Baltic Coastal Zone No. 13 s. 67-84.
- Kondracki J., 2002: *Geografia regionalna Polski*, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Kotowski A., Dancewicz A., Kaźmierczak B., 2010: *Czasowo-przestrzenne zróźnicowanie opadów atmosferycznych we Wrocławiu*. Ochrona Środowiska, Vol. 32, Nr 4, s. 37-46.
- Kotowski A., Kaźmierczak B., Dancewicz A., 2010: *Modelowanie opadów do wymiarowania kanalizacji*, Wydawnictwo Polska Akademia Nauk, Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej, Instytut Podstawowych Problemów Techniki, Studia z Zakresu Inżynierii, nr 68, Warszawa.
- Kożuchowski K., 1982. *Współczesne tendencje zmian rocznych sum opadów w Polsce (1931-1980)*. Przegl. Geofiz. 27, 3-4: 251-260.

- Kożuchowski K., 1985, *Zmienność opadów atmosferycznych w Polsce w stuleciu 1881-1980*. Acta Geogr. Lodz., nr 48.
- Kożuchowski K., 1986: *Zmienność opadów w Polsce w przebiegu wieloletnim*. Przegl. Geogr. T.LVIII, z. 3.
- Kożuchowski K., 2011: *Klimat Polski. Nowe spojrzenie*. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa.
- Kożuchowski K., Kłysik K., Tarajkowska M., Wibig J., 1990. *Rytmiczne zmiany opadów atmosferycznych na obszarze międzyrzecza Pilicy i Warty*. Przegl. Geogr. 62, 3-4, s. 359-382.
- Kożuchowski K., Marciniak K., 1990: *Tendencje zmian temperatury i opadów w Europie środkowej wstuleciu 1881-1980*. Acta Universitatis Nicolai Copernici, Geografia, XXII, zesz. 73, 22-43.
- Kożuchowski K., Wibig J., 1988: *Kontynentalizm pluwialny w Polsce: zróżnicowanie geograficzne i zmiany wieloletnie*. Acta Geogr. Lodz. Folia Geographica 55 s. 1-102.
- Kupczyk W., Suligowski R., 1987: *Statystyczny opis struktury opadów atmosferycznych jako elementu wejścia do modeli hydrologicznych [w]: Predykcja opadów i wzebrań o zadanym czasie powtarzalności*. Wydz. Geogr. i Studiów Regionalnych UW, Wyd. UW, Warszawa, s. 21-212.
- Lamb H. H., 1972: *British Isles weather types and register of the daily sequence of circulation patterns 1861-1971*. Geophysical Memoir, no. 116, London, 85 s.
- Li J., Wang J.X.L., 2003. *A new North Oscillation Index and Its Variability*. Advances in Atmospheric Sciences, 20(5), s. 661-676.
- Lin Ch. Y., Chen W. Ch., Chang Y. F., Sheng Y. F., 2011: *Impact of the Urban Heat Island Effect on Precipitation over a Complex Geographic Environment in Northern Taiwan*. J. Appl. Meteor. Climatol. Vol. 50 s. 339-353.
- Lorenc H., 1976: *Opady ulewne i nawałne na obszarze Wielkiej Warszawy oraz prawdopodobieństwo ich występowania*, Warszawa (praca doktorska-maszynopis IMGW)
- Lorenc H., 1978: *Opady ulewne i nawałne na obszarze Wielkiej Warszawy*, Przegl. Geofiz., R. 23 (31), z. 4, s. 271-294.
- Lorenc H., 1981: *Struktura czasowego rozkładu natężenia opadów w Warszawie o największym prawdopodobieństwie występowania*, Wiad. IMGW, t. 7(28), z.1-2, s. 141-151.
- Lorenc H., 1991: *Wpływ urbanizacji Warszawy na zmienność opadów atmosferycznych*, Wiad. IMGW, t. 14 (35), z. 3-4, s. 109-126.
- Łabędzki L., 2004: *Problematyka susz w Polsce*, Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, t.4 z. 1 (10) s. 47-66.
- Łupikasza E., Hänsel S., Matschullat J., 2011: *Regional and seasonal variability of extreme precipitation trends in southern Poland and central-eastern Germany 1951-2006*, Int. J. Climatol. 31, s. 2249-2271.
- Łupikasza E., 1998: *Wpływ sytuacji synoptycznych na występowanie letnich opadów atmosferycznych w warunkach miejskich (Katowice) i na przedpolu Beskidu Śląskiego (Aleksandrowice)*. Acta Universitatis Lodzensis. Folia Geographica Physica 3, s. 443-447.

- Łupikasza E., 2010: Spatial and temporal variability of extreme precipitation in Poland in the period 1951-2006, *Int. J. Climatol.* 30, s. 991-1007.
- Łupikasza E., 2010: *Klimat Polski na tle klimatu Europy. Warunki termiczne i opadowe.* [W:] E. Bednorz (red.), *Genetyczne typy opadów ekstremalnych w sezonie letnim w Polsce oraz ich zmienność wieloletnia w okresie 1951-2007.* Wyd. Nauk. Bogucki, Poznań.
- Łupikasza E., 2001: Zmienność wskaźnika nierównomierności opadów w Europie w XX wieku oraz jego związki ze zmiennością wskaźnika NAO, *Prace i Studia Geograficzne*, t. 29, s. 243-252.
- Matuszko D., 2002, Wpływ cyrkulacji atmosfery na zachmurzenie w Krakowie, [w:] Marsz A. A., Styszyńska A. (red.), *Oscylacja Północnego Atlantyku i jej rola w kształtowaniu zmienności warunków klimatycznych i hydrologicznych Polski*, Akademia Morska, Gdynia; 215-222.
- Miao Sh., Chen F., Li Q., Fan Sh., 2011: *Impacts of urban processes and urbanization on summer precipitation: a case study of heavy rainfall in Beijing on 1 August 2006.* *J. Appl. Meteor. Climatol.* Vol. 50, s. 806-825.
- Mrugała S., 2000: *Częstość występowania typów cyrkulacji atmosferycznej a anomalie opadowe w Polsce.* *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska.* Vol. 55/56 s. 251-257.
- Mrugała S., 2001: *Opady atmosferyczne o normalnej i anomalnej wysokości na obszarze Polski (1951-1990).* Wyd. UMCS, Lublin
- Mycielska H., Michalczewski J., 1972: *Meteorologiczne przyczyny wezbrania w lipcu 1970,* [w:] *Powódź w lipcu 1970*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa, s. 17-42.
- Niedźwiedź T., 1981: *Sytuacje synoptyczne i ich wpływ na zróżnicowanie przestrzenne wybranych elementów klimatu w dorzeczu górnej Wisły*, *Rozpr. habit.*, UJ, 58.
- Niedźwiedź T., 1993: *Variability of precipitation in Kraków (Cracow) with relation to atmospheric circulation changes*, *Proc. of Symp. on Precipitation and Evaporation*, Vol. 2, Bratislava, Slovakia, 20-24 September 1993, s. 61-62.
- Niedźwiedź T., Łupikasza E., Pińskwar I., Kudzewicz Z., Stoffel M., Małarzewski Ł., 2015: *Variability of high rainfalls and related synoptic situations causing heavy floods at the northern foothills of the Tatra Mountains.* *Theor Appl Climatol.* Vol. 119, s. 273-284.
- Niedźwiedź T., Łupikasza E., 2019: *Cyrkulacja atmosferyczna w badaniach polskich klimatologów*, *Przegląd Geofizyczny*, z.1-2, s. 107-166.
- Nowakowska M., Kaźmierczak B., Kotowski A., 2013: *Metodyka analizy przestrzennej zmienności opadów na przykładzie Wrocławia*
- Ogryzek M., 2018: *Parametryczna ocena jakości estymacji map opracowanych metodami geostatystycznymi*, *Studia i Prace WNEiZ US* nr 54/3, s. 319-330.
- Osuchowska-Klein B., 1975: *Prognostyczne aspekty cyrkulacji atmosferycznej nad Polską.* *Pr. IMiGW*, nr 7, s. 7-50.
- 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*. Institute of Meteorology and Water Management (IMWM), Kraków.
- Panfil M., Dragańska E., 2004: *Związki korelacyjne między wskaźnikami NAO według Jonesa i Hurrella a warunkami termicznymi i opadowymi dla Polski północno-wschodniej*. Acta Agrophysica, z. 3(1). s. 133-141.
- Piotrowski P., 2004. *Okresy bezopadowe w Łodzi w latach 1903–2003*. Acta Geographica Lodziensia . [W:] 100 lat obserwacji meteorologicznych w Łodzi , 89 s.103–114.
- Piotrowski P., 2009: *Obiektywna metoda klasyfikacji cyrkulacji atmosferycznej dla Polski*. Acta Geogr. Lodz, nr 10, s. 19-24.
- Piotrowski P., 2017, *Przestrzenna i czasowa zmienność cyrkulacji atmosferycznej na obszarze Polski*. Przegląd Geofizyczny, 2017, Rocznik LXII, z. 1-2, s. 45-54. Wyd. Polskie Towarzystwo Geofizyczne.
- Plenzler W., Farat R., 1981: *Prawdopodobieństwo wystąpienia wysokich wartości opadów dobowych na terenie zlewni górnej Noteci*. Wiad. IMGW, s. 3-4.
- Podstawczyńska A., 2012, *Temperatura powietrza i opady atmosferyczne w regionie łódzkim w ostatnim stuleciu*. [W:] Twardy J., Żurek S., Forysiak J. (red.) - Torfowisko Żabieniec: warunki naturalne, rozwój i zapis zmian paleoekologicznych w jego osadach. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań 2010, s. 63-73.
- Romer E., 1949: *Regiony klimatyczne Polski*. Wrocławskie Towarzystwo Naukowe
- Rogers J., C., 1984, *The association between the North Atlantic Oscillation and the Southern Oscillation in the Northern Hemisphere*. Monthly Weather Review, 112, s. 1999-2015.
- Przybyła Cz., Bykowski J., Mrozik K., Napierała M., 2011: *Rola infrastruktury wodno-melioracyjnej w procesie suburbanizacji*. Rocznik Ochrony Środowiska T. 1, s. 769-786.
- Rzepa M., 2004, *Najwyższe dobowe, pięciodniowe i dziesięciodniowe sumy opadów atmosferycznych w Łodzi w latach 1903-2003*. [W:] 100 lat obserwacji meteorologicznych w Łodzi. Acta Geographica Lodziensia, nr 89, s. 87-101.
- Sanderson M., Gorski R., 1978: *The effect of Metropolitan Detroit-Windsor on precipitation*. J. Appl. Meteor. Vol. 17 no. 4 s. 423-427.
- Shepherd, J.M., Pierce, H. and Negri, A. J., 2002: *Rainfall modification by major urban areas: observations from spaceborne rain radar on the TRMM satellite*. J. Appl. Meteor., Vol. 41, s. 689-701.
- Sibson R., 1980: *A vector identity for the Dirichlet tessellation*. In Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society, vol. 87, pages 151–155.
- Sibson R., 1981: *A brief description of natural neighbour interpolation*. In V Barnett, editor, Interpreting Multivariate Data, pages 21–36. Wiley, New York, USA.
- Siedlecki M., Pawlak W., 2004, *Sumy miesięczne opadów atmosferycznych w Łodzi w latach 1903-2003*. [W:] 100 lat obserwacji meteorologicznych w Łodzi. Acta Geographica Lodziensia, nr 89, s. 73-86.
- Siwek K., 2010: *Występowanie na Lubelszczyźnie dobowych sum opadu atmosferycznego ≥ 100 mm i ich uwarunkowania cyrkulacyjne (1951–2000)**. Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska Lublin–Polonia, Vol. LXV, 2, Sectio B s. 117-125.
- Skowera B., Puła J., 2004: *Skrajne warunki pluwiotermiczne w okresie wiosennym na obszarze Polski w latach 1971-2000*. Acta Agrophysica 3 (1) s. 171-177.

- Stachowski P., Markiewicz J., 2011: *Potrzeba nawodnień w centralnej Polsce na przykładzie powiatu kutnowskiego*. Rocznik Ochrona Środowiska, Śródkowo-Pomorskie Towarzystwo Naukowe Ochrony Środowiska. Tom 13, s. 1453-1472.
- Styszyńska A., 2001: *Oscylacja północnego Atlantyku a opady na obszarze Polski*, Prace i Studia Geograficzne, t. 29, s. 233-241.
- Styszyńska A., 2019: *Miary NAO - uwagi na temat "wskaźników NAO"* [w:] NAO - jej istota, przyczyny i konsekwencje, s. 7-19.
- Świątek M., 2014: *Charakterystyka wiatru przypowierzchniowego sprzyjającego najwyższym sumom opadów atmosferycznych na polskim wybrzeżu Bałtyku*, Badania Fizjograficzne R. 5 Seria A, Geografia fizyczna (A65), s. 245-259.
- Szubert M., 2003: *Cyfrowy model wysokości powierzchni podczwartorzędowej na Wyżynie Woźnicko-Wieluńskiej*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji Vol. 13A s. 233-242.
- Szwejkowski Z., Dragańska E., Banaszkiewicz B., 2004: *Wpływ wskaźników cyrkulacyjnych półkuli północnej na temperaturę i opady w Polsce północno-wschodniej*, Acta Agrophysica, z. 3(2) s. 385-392
- Tamulewicz J., 1997: *Pogoda i klimat Ziemi. Wielka Encyklopedia Geografii Świata*. Wyd. Kurpisz, Poznań.
- Tamulewicz J., 2001: *Wody i klimat Ziemi. Pogoda i klimat*. Wyd. Kurpisz, Poznań.
- Tokarczyk T., 2008: *Wskaźniki oceny suszy stosowane w Polsce i na świecie*, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, nr 7, s.167-182.
- Tomczyk A., 2014, *Wpływ makroskalowych typów cyrkulacji na występowanie pokrywy śnieżnej w Europie*. Acta Geogr. Silesiana, 15, s. 65-69.
- Twardosz R., 2000: *Wieloletnia zmienność sum dobowych opadów w Krakowie w powiązaniu z sytuacjami synoptycznymi*. Prace Geograficzne, z. 105, Kraków, s. 19-71.
- Van Den Heever S. C., Cotton W. R., 2007: *Urban aerosol impacts on downwind convective storms*. J. Appl. Meteor. Climatol. Vol. 46, s. 828-849.
- Wibig J., 2019, *Oscylacja Północnoatlantycka w świetle różnych indeksów* [w:] NAO - jej istota przyczyny i konsekwencje, Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego Uniwersytetu Wrocławskiego i Stowarzyszenia Klimatologów Polskich, s. 19-30.
- Wibig J., 2012, *Warunki wilgotnościowe w Polsce w świetle wskaźnika standaryzowanego klimatycznego bilansu wodnego*. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, t. 12, z. 2 (38), s. 329- 340.
- Wibig J., 1999, *Precipitation patterns in Europe in relation to circulation patterns at the 500 hPa level*, Int. J. Climatol., 19: 253-269.
- Wibig J., 1998: *Precipitation in Łódź in the period 1931-1995*. Acta Univ. Lodz. , Folia Geogr. Phys. t. 3, p. 433-442.
- Wibig J., 2000: *Oscylacja północnoatlantycka i jej wpływ na kształtowanie pogody i klimatu*. Prz. Geofiz. T. XLV, s. 121-137.
- Wibig J., 2001, *Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na przestrzenny rozkład anomalii temperatury i opadów w Europie*. Wyd. UŁ.
- Wibig J., 2006, *Daily precipitation totals variability in Poland (1951-2000)*. [W:] Extreme hydrometeorological events in Poland and their impacts - European context.

- International Conference, Warsaw, Poland, 7-9 December 2006, s. 86-89. Wyd. Faculty of Earth Sciences, University of Silesia, Sosnowiec-Warszawa.
- Wibig J., Fortuniak K., 1998: *The extreme precipitation conditions in Łódź in the period 1931-1995*. Acta Univ. Lodz., Folia Geogr. Phys., 3, p. 241-249.
- Wibig J., Radziun W., 2019: *Opady atmosferyczne w województwie łódzkim w latach 1961-2015*. Acta Geographica Lodziensia, nr 109, s. 29-47.
- Yonetani T., 1982: *Increase in number of days with heavy precipitation in Tokyo urban area*. J. Appl. Met., vol. 21, s. 1466-1471.
- Żmudzka E., 2009: *Współczesne zmiany klimatu*. Acta Agrophysica 13 (2).

Wykaz stron internetowych:

1. https://dane.imgw.pl/data/dane_pomiarowo_obserwacyjne/dane_meteorologiczne
2. http://pogodynka.pl/polska/mapa_synoptyczna
3. <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list>
4. <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/telepatcalc.shtml>
5. <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/ea.shtml>
6. <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/scand.shtml>
7. <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/eawruss.shtml>

Spis rysunków

Rys. 1. Lokalizacja punktów pomiarowych na obszarze województwa łódzkiego i terenach sąsiednich	13
Fig. 1. Location of measurement points in the Łódź Voivodeship and neighbouring areas ..	13
Rys. 2. Lokalizacja punktów pomiarowych wykorzystanych do analizy zmian intensywności incydentów opadowych w ciepłym półroczu lat 2014-2016 na obszarze aglomeracji łódzkiej oraz w jej okolicach	15
Fig. 2. Location of measurement points used to analyze changes in the intensity of precipitation incidents in the warm half-year of 2014-2016 in the area of the Łódź agglomeration and its vicinity.	15
Rys. 3. Lokalizacja punktów pomiarowych na obszarze województwa łódzkiego wykorzystanych do analizy związku makroskalowych wskaźników cyrkulacji atmosferycznej z opadami (1961-2015)	17
Fig. 3. The location of measurement points in the area of the Łódź Voivodeship used to analyze the relationship between macroscale atmospheric circulation indices and precipitation (1961-2015)	17
Rys. 4. Lokalizacja punktów pomiarowych na obszarze Łodzi wykorzystanych do analizy udziału procentowego opadów atmosferycznych oraz 95-tego percentyla sum dobowych opadu (2011-2016)	19
Fig. 4. The location of measurement points in the area of Łódź used to analyze the percentage of atmospheric precipitation and the 95th percentile of daily total precipitation (2011-2016) ..	19
Rys. 5. Średnia suma roczna opadów atmosferycznych [mm] w okresie 1961-2015 w województwie łódzkim.	26
Fig. 5. Average annual precipitation [mm] in the period 1961-2015 in the Łódź Voivodeship. .	26
Rys. 6. Średnie sezonowe sumy opadów atmosferycznych w mm w woj. łódzkim (1961-2015)	28
Fig. 6. Average seasonal precipitation [mm] in the Łódź Voivodeship (1961-2015)	28
Rys. 7. Odchylenie standardowe [mm] średnich sezonowych sum opadów atmosferycznych w woj. łódzkim (1961-2015)	29
Fig. 7. Standard deviation [mm] of average seasonal precipitation in the Łódź Voivodeship (1961-2015)	29
Rys. 8. Rozkład przestrzenny 95-tego percentyla [mm] sezonowych sum opadów atmosferycznych z lat 1961-2015.	30
Fig. 8. Spatial distribution of the 95th percentile [mm] of seasonal precipitation (1961-2015)	30
Rys. 9. Wartości współczynnika korelacji pomiędzy sumami rocznych opadów atmosferycznych Łodzią, a pozostałymi punktami pomiarowymi na obszarze województwa łódzkiego.	31
Fig. 9. Values of the correlation coefficient between total annual precipitation in Łódź and other measurement points in the Łódź Voivodeship.	31

Rys. 10. Wartości współczynnika korelacji pomiędzy sezonowych sumami opadów atmosferycznych Łodzią, a pozostałymi punktami pomiarowymi na obszarze województwa łódzkiego.	31
Fig. 10. Values of the correlation coefficient between seasonal total precipitation in Łódź and other measurement points in the Łódź Voivodeship.	31
Rys. 11. Wartości współczynnika trendu mm/rok sezonowych sum opadów atmosferycznych w okresie 1961-2015.	35
Fig. 11. Values of the trend coefficient mm / year of seasonal total precipitation in the period 1961-2015.	35
Rys. 12. Procentowe odchylenie sumy rocznej opadów atmosferycznych od średniej wieloletniej (1961-2015) na wybranych stacjach.	38
Fig. 12. Percentage deviation from the long-term average (1961-2015) of the annual total precipitation for selected stations.	38
Rys. 13. Procentowe odchylenie od średniej wieloletniej (1961-2015) sum opadów atmosferycznych zimą na wybranych punktach pomiarowych.	38
Fig. 13. Percentage deviation from the long-term average (1961-2015) of total precipitation in winter for selected measurement points.	38
Rys. 14. Procentowe odchylenie od średniej wieloletniej (1961-2015) sum opadów atmosferycznych wiosną na wybranych punktach pomiarowych.	39
Fig. 14. Percentage deviation from the long-term average (1961-2015) of total precipitation in spring for selected measurement points.	39
Rys. 15. Procentowe odchylenie od średniej wieloletniej (1961-2015) sum opadów atmosferycznych latem dla wybranych punktach pomiarowych.	39
Fig. 15. Percentage deviation from the long-term average (1961-2015) of total precipitation in summer selected for selected measurement points.	39
Rys. 16. Procentowe odchylenie od średniej wieloletniej (1961-2015) sum opadów atmosferycznych jesienią dla wybranych punktach pomiarowych.	40
Fig. 16. Percentage deviation from the long-term average (1961-2015) of total precipitation in autumn for selected measurement points.	40
Rys. 17. Średnia obfitość opadu [mm] w województwie łódzkim w latach (1961-2015)	41
Fig. 17. Average precipitation abundance [mm] in the Łódź Voivodeship during the period (1961-2015)	41
Rys. 18. Średnia sezonowa obfitość opadu [mm] w województwie łódzkim w latach (1961-2015)	42
Fig. 18. Average seasonal precipitation abundance [mm] in the Łódź Voivodeship in the period (1961-2015)	42
Rys. 19. Absolutne maksima opadów dobowych [mm] w poszczególnych porach roku w województwie łódzkim (1961-2015)	43
Fig. 19. Absolute maximum daily precipitation [mm] in seasons in the Łódź Voivodeship (1961-2015)	43
Rys. 20. Udział procentowy dni z opadem [%] w poszczególnych porach roku w woj. łódzkim (1961-2015)	44
Fig. 20. Percentage share of days with precipitation [%] in seasons in the Łódź Voivodeship (1961-2015)	44

Rys. 21. Kwartyle dobowych sum opadów atmosferycznych w sezonach, w województwie łódzkim (1961-2015)	46
Fig. 21. Quartiles of daily total precipitation in seasons in the Łódź Voivodeship (1961-2015)	46
Rys. 22. Kwartyle dobowych sum opadów atmosferycznych zimą (1961-2015)	47
Fig. 22. Quartiles of daily total precipitation in winter (1961-2015)	47
Rys. 23. Kwartyle dobowych sum opadów atmosferycznych wiosną (1961-2015).	48
Fig. 23. Quartiles of daily total precipitation in spring (1961-2015)	48
Rys. 24. Kwartyle dobowych sum opadów atmosferycznych latem (1961-2015)	50
Fig. 24. Quartiles of daily total precipitation in summer (1961-2015)	50
Rys. 25. Kwartyle dobowych sum opadów atmosferycznych jesienią (1961-2015)	51
Fig. 25. Quartiles of daily total precipitation autumn (1961-2015)	51
Rys. 26. Kwartyle dobowych sum opadów atmosferycznych w zależności od typów cyrkulacji atmosferycznej zimą na wybranych punktach pomiarowych (1961-2015). Wartości podane pod osią x odpowiadają wartościom maksymalnym.	53
Fig. 26. Quartiles of daily total precipitation in relation to winter atmospheric circulation types for selected measurement points (1961-2015). The values under the x axis correspond to the maximum values.	53
Rys. 27. Kwartyle dobowych sum opadów atmosferycznych w zależności od cyrkulacji atmosferycznej wiosną na wybranych punktach pomiarowych (1961-2015). Wartości podane pod osią x odpowiadają wartościom maksymalnym.	55
Fig. 27. Quartiles of daily total precipitation depending on spring atmospheric circulation at selected measurement points (1961-2015). The values under the x axis correspond to the maximum values.	55
Rys. 28. Kwartyle dobowych sum opadów atmosferycznych w zależności od cyrkulacji atmosferycznej latem na wybranych punktach pomiarowych (1961-2015). Wartości podane pod osią x odpowiadają wartościom maksymalnym.	56
Fig. 28. Quartiles of daily total precipitation depending on atmospheric circulation in summer at selected measurement points (1961-2015). The values under the x axis correspond to the maximum values.	56
Rys. 29. Kwartyle dobowych sum opadów atmosferycznych w zależności od cyrkulacji atmosferycznej jesienią na wybranych punktach pomiarowych (1961-2015). Wartości podane pod osią x odpowiadają wartościom maksymalnym.	57
Fig. 29. Quartiles of daily total precipitation depending on atmospheric circulation in autumn at selected measurement points (1961-2015). The values under the x axis correspond to the maximum values.	57
Rys. 30. Częstość opadów atmosferycznych [%] w zależności od ich wielkości oraz kierunku adwekcji w porze zimowej (1961-2015)	59
Fig. 30. Precipitation frequency [%] in relation to its height and direction of advection in winter (1961-2015)	59
Rys. 31. Częstość opadów atmosferycznych [%] w zależności od ich wielkości oraz kierunku adwekcji w porze wiosennej (1961-2015)	59
Fig. 31. Precipitation frequency [%] in relation its height and direction of advection in spring (1961-2015)	59

Rys. 32. Częstość opadów atmosferycznych [%] w zależności od ich wielkości oraz kierunku adwekcji w porze letniej (1961-2015)	60
Fig. 32. Precipitation frequency [%] in relation its height and direction of advection in summer (1961-2015)	60
Rys. 33. Częstość opadów atmosferycznych [%] w zależności od ich wielkości oraz kierunku adwekcji w porze jesiennej (1961-2015)	61
Fig. 33. Precipitation frequency [%] in relation its height and direction of advection in the autumn (1961-2015)	61
Rys. 34. Prawdopodobieństwo warunkowe wystąpienia opadu atmosferycznego w zależności od typu cyrkulacji atmosferycznej w poszczególnych sezonach (1961-2015). Liczby pod wykresami reprezentują wartości prawdopodobieństwa warunkowego wystąpienia opadu atmosferycznego w ciągu doby podczas danego typu cyrkulacji atmosferycznej.	63
Fig. 34. Conditional probability of precipitation in relation to the type of atmospheric circulation in seasons (1961-2015). The numbers below x axes present the conditional probability of the occurrence of precipitation during day in relation to atmospheric circulation.	63
Rys. 35. Prawdopodobieństwo warunkowe wystąpienia opadu atmosferycznego [%] w porze zimowej w zależności od jego wysokości oraz kierunku adwekcji.	65
Fig. 35. Conditional probability of precipitation [%] in winter in relation to its height and direction of advection.	65
Rys. 36. Prawdopodobieństwo warunkowe wystąpienia opadu atmosferycznego [%] w porze wiosennej w zależności od jego wysokości oraz kierunku adwekcji.	65
Fig. 36. Conditional probability of precipitation [%] in spring in relation to its height and direction of advection.	65
Rys. 37. Prawdopodobieństwo warunkowe wystąpienia opadu atmosferycznego [%] w porze letniej w zależności od jego wysokości oraz kierunku adwekcji.	66
Fig. 37 Conditional probability of precipitation [%] in summer in relation to its height and direction of advection.	66
Rys. 38. Prawdopodobieństwo warunkowe wystąpienia opadu atmosferycznego [%] w porze jesiennej w zależności od jego wysokości oraz kierunku adwekcji.	67
Fig. 38 Conditional probability of precipitation [%] in autumn in relation to its height and direction of advection.	67
Rys.39. Rozkłady warstwy opadów dla wybranych przypadków.	78
Fig. 39 Distribution of precipitation depth for selected cases.	78
Rys. 40. Znormalizowane rozkłady warstwy opadów dla wszystkich incydentów opadowych.	80
Fig. 40. Normalized distribution of the precipitation depth for all rainfall incidents.	80
Rys. 41. Porównanie znormalizowanych rozkładów warstw opadów między stacjami położonymi poniżej 200 m n.p.m. i powyżej 200 m n.p.m.	81
Fig. 41. The comparison of normalized distribution precipitation depth between stations located below 200 m a.s.l. and above 200 m a.s.l.	81
Rys. 42. Porównanie znormalizowanych rozkładów warstw opadów między stacjami miejskimi i pozamiejskimi.	82

Fig. 42. The comparison of normalized distribution of precipitation depth between urban and outskirts stations.	82
Rys. 43. Syntetyczna znormalizowana warstwa opadu dla wszystkich stacji.	83
Fig. 43. Synthetic normalized precipitation depth for all stations.	83
Rys. 44. Znormalizowana warstwa opadów z chmur warstwowych dla wszystkich stacji. .	84
Fig. 44. Normalized precipitation depth from stratified clouds for all stations.	84
Rys. 45. Znormalizowany warstwa opadów z chmur Cumulonimbus dla wszystkich stacji. .	84
Fig. 45. Normalized precipitation depth from Cumulonimbus for all stations.	84
Rys. 46. Procentowy udział opadu na obszarze Łodzi w kolejnych krokach czasowych od momentu pojawienia się opadu atmosferycznego podczas adwekcji zachodniej w półroczu ciepłym.	88
Fig. 46. Percentage share of precipitation in the area of Łódź in subsequent time steps since the appearance of precipitation during west advection in a warm half-year.	88
Rys. 47. Procentowy udział opadu na obszarze Łodzi w kolejnych krokach czasowych od momentu pojawienia się opadu atmosferycznego podczas adwekcji północno-zachodniej w półroczu ciepłym.	90
Fig. 47. Percentage share of precipitation in the area of Łódź in subsequent time steps since the appearance of precipitation during northwest advection in a warm half-year.	90
Rys. 48. Procentowy udział opadu na obszarze Łodzi w kolejnych krokach czasowych od momentu pojawienia się opadu atmosferycznego podczas adwekcji południowo-zachodniej w półroczu ciepłym.	91
Fig. 48. Percentage share of precipitation in the area of Łódź in subsequent time steps since the appearance of precipitation during southwest advection in a warm half-year.	91
Rys. 49. Rozkład przestrzenny 95-tego percentyla dobowych sum opadów atmosferycznych [mm] w półroczu chłodnym i ciepłym (2011-2016)	94
Fig. 49. Spatial distribution of the 95th percentile of daily total precipitation [mm] in the cool and warm half-year (2011-2016)	94
Rys. 50. Rozkład przestrzenny 95-tego percentyla dobowych sum opadów atmosferycznych [mm] w półroczu chłodnym podczas adwekcji z kierunków NW, W i SW (2011-2016) ...	95
Fig. 50. Spatial distribution of the 95th percentile of daily total precipitation [mm] in the cold half-year during advection from directions NW, W and SW (2011-2016)	95
Rys. 51. Rozkład przestrzenny 95-tego percentyla sum dobowych opadów atmosferycznych [mm] w półroczu ciepłym podczas adwekcji z kierunków NW, W i SW (2011-2016)	96
Fig. 51. Spatial distribution of the 95th percentile of daily total precipitation [mm] in the warm half-year during advection from directions NW, W and SW (2011-2016)	96

Spis tabel

Tab. 1. Sumy roczne oraz średnia suma roczna opadów atmosferycznych [mm] na wybranych punktach pomiarowych w województwie łódzkim w okresie 1961-2015.....	25
Tab. 1. Annual total and average annual precipitation [mm] at selected measurement points in the Łódź Voivodeship in the period 1961-2015.....	25
Tab. 2. Średnie miesięczne sumy opadów atmosferycznych [mm] na wybranych punktach pomiarowych w województwie łódzkim w okresie 1961-2015.....	26
Tab. 2. Average monthly precipitation [mm] at selected measurement points in the Łódź Voivodeship in the period 1961-2015.....	26
Tab. 3. Korelacja pomiędzy sumami opadów atmosferycznych zima(biały kolor)//lato(szary kolor) na poszczególnych stacjach w okresie 1961-2015.....	33
Tab. 3. Correlation between winter (white cells)//summer (grey cells) total precipitation at individual stations in the period 1961-2015.....	33
Tab. 4. Korelacja pomiędzy sumami opadów atmosferycznych wiosna (biały kolor)/jesień (szary kolor) na wybranych punktach pomiarowych w województwie łódzkim (1961-2015) ..	33
Tab. 4. Correlation between spring(white cells)/autumn(grey cells) total precipitation at selected measuring points in the Lodz Voivodeship (1961-2015).....	33
Tab.5 Trendy sezonowych sum opadów [mm/rok] w punktach pomiarowych na obszarze województwa łódzkiego w latach 1961-2015.....	36
Tab. 5. Trends of annual and seasonal total precipitation at selected measurement points in the Lodz Voivodeship (1961-2015).....	36
Tab. 6. Korelacja pomiędzy wartościami indeksów cyrkulacji makroskalowej a sumami miesięcznymi opadów atmosferycznych na wybranych punktach pomiarowych w okresie 1961-2015.....	73
Tab. 6. Correlation between macro-scale circulation indices and monthly total precipitation for selected measurement points in the period 1961-2015.....	73
Tab. 7 Liczba indeksów cyrkulacji atmosferycznych istotnie korelujących z opadami w wybranych punktach pomiarowych w poszczególnych miesiącach.....	74
Tab. 7. The number of atmospheric circulation indices significantly correlating with precipitation at selected measurement points in individual months.....	74
Tab. 8 Liczba miesięcy w roku, podczas których dany indeks istotnie koreluje z opadami w wybranych punktach pomiarowych.....	74
Tab. 8 The number of months in a year during which a given index significantly correlates with precipitation at selected measurement points.....	74
Tab. 9. Charakterystyki incydentów opadowych.....	79
Tab. 9. Characteristics of the rainfall incidents.....	79
Tab. 10 Procentowe odchylenie od średniej wieloletniej (1961-2015) sumy rocznej opadów atmosferycznych na wybranych stacjach w województwie łódzkim.....	118
Tab. 10 Percentage deviation from the long-term average (1961-2015) of the annual total precipitation for selected stations.....	118

Tab. 11 Procentowe odchylenie od średniej wieloletniej (1961-2015) sumy opadów atmosferycznych zimą na wybranych stacjach w województwie łódzkim.	119
Tab. 11 Percentage deviation from the long-term average (1961-2015) of winter precipitation total at selected stations.	119
Tab. 12 Procentowe odchylenie od średniej wieloletniej (1961-2015) sumy opadów atmosferycznych wiosną na wybranych stacjach w województwie łódzkim.	120
Tab. 12 Percentage deviation from the long-term average (1961-2015) of spring precipitation total at selected stations.	120
Tab. 13 Procentowe odchylenie od średniej wieloletniej (1961-2015) sumy opadów atmosferycznych latem na wybranych stacjach w województwie łódzkim.	121
Tab. 13 Percentage deviation from the long-term average (1961-2015) of summer precipitation total at selected stations.	121
Tab. 14 Procentowe odchylenie od średniej wieloletniej (1961-2015) sumy opadów atmosferycznych jesienią na wybranych stacjach w województwie łódzkim.	122
Tab. 14 Percentage deviation from the long-term average (1961-2015) of autumn precipitation total at selected stations.	122

Załącznik

Tab. 10 Procentowe odchylenie od średniej wieloletniej (1961-2015) sumy rocznej opadów atmosferycznych na wybranych stacjach w województwie łódzkim.

Tab. 10 Percentage deviation from the long-term average (1961-2015) of the annual total precipitation for selected stations

Rok	Bobry	Chelsty	Dobryszce	Kruszów	Krzepocinek	Osjaków	Sadkowie	Szadek	Widawa	Złoczew	Skierbiewice	Sieradz	Poddębice	Szczerców	Żychlin	Sulejów	Łódź	Wieluń	Czartoryja	Cielmiki	Cisowa	Działoszyn
1961	7,9	-8,1	2,3	1,7	31,1	-5,3	7,0	2,7	0,6	4,2	-2,2	8,1	-9,1	11,8	35,3	-13,9	2,9	3,1	1,8	-3,4	-5,0	-6,7
1962	2,0	14,7	1,7	2,1	13,1	-14,8	14,4	-3,0	8,3	1,1	8,0	-6,5	-15,0	23,6	12,3	15,1	15,0	2,8	3,3	15,3	-6,6	1,7
1963	-26,9	-9,5	-23,4	-18,4	-3,9	-12,2	-14,3	-14,3	-2,6	-9,1	-6,6	-10,6	-18,6	-11,8	-18,0	-11,7	-20,0	-14,7	-8,4	-18,9	-20,4	-14,5
1964	-9,8	-0,8	4,3	-15,6	-8,7	-8,0	-5,8	-20,5	-30,5	-7,2	-8,2	-21,7	-30,6	-6,9	-8,7	-8,2	-10,7	0,4	-4,4	-3,9	-19,9	-12,0
1965	-6,0	9,4	-15,0	2,1	16,1	-21,0	-7,1	-9,4	-10,1	6,8	-4,5	-8,7	-7,3	-1,3	19,3	11,5	-6,6	-9,0	8,9	-1,6	-14,6	-3,7
1966	17,9	31,3	21,5	19,8	36,4	7,5	38,3	28,9	11,5	24,2	39,3	18,1	23,6	27,1	25,7	38,7	37,6	25,0	9,5	37,6	16,4	24,6
1967	-3,1	6,1	7,7	7,8	30,4	7,4	15,3	17,6	-6,7	0,4	30,2	12,5	10,7	18,2	40,0	17,2	24,6	23,9	7,6	-3,4	6,6	14,3
1968	-4,0	10,1	-2,7	-7,8	1,6	-1,1	-15,9	-8,9	3,6	-4,5	-9,9	-2,9	-6,6	7,5	-11,9	-7,1	-5,0	14,8	11,7	5,4	-2,3	4,6
1969	-20,2	-19,5	-11,0	-33,8	-13,5	-17,0	-31,5	-20,4	-19,0	-24,2	-17,7	-10,2	-20,9	bd	-14,8	-21,7	-27,2	-7,1	-13,9	-31,6	-22,5	-16,4
1970	4,2	41,9	25,8	21,0	29,5	28,3	33,5	39,2	5,7	13,9	37,8	36,1	18,2	14,9	66,8	27,0	7,7	21,5	23,9	29,1	12,1	22,1
1971	-5,3	-14,7	4,6	2,5	-13,5	1,2	-17,9	1,8	-8,4	-3,0	8,2	19,4	8,2	bd	11,9	-8,9	-5,6	14,8	17,8	-3,3	4,6	22,0
1972	-7,3	28,7	5,9	0,9	-1,1	-18,9	27,2	-15,0	-33,3	-14,0	8,4	-5,2	-6,1	-16,2	12,6	16,9	-2,6	4,3	-9,9	-4,2	-8,5	-14,7
1973	-16,0	-8,1	0,9	-9,2	4,0	37,2	-7,3	-5,4	-20,9	8,0	-13,1	-1,1	-4,5	-5,9	2,8	-21,8	2,7	-3,3	5,1	-2,0	-16,8	-0,7
1974	22,9	52,5	46,3	28,1	5,0	45,3	37,1	25,3	58,9	44,0	34,9	30,9	20,5	28,4	19,5	26,8	27,6	53,8	20,4	31,7	25,8	38,9
1975	-18,8	3,4	24,5	3,2	-15,1	-10,5	-21,5	-13,6	6,7	-0,4	5,9	-12,4	-7,6	-11,9	-27,2	-12,1	-5,5	-5,7	-22,4	0,1	-6,7	-2,4
1976	-21,0	-26,2	-2,0	-14,0	-5,8	7,8	-7,2	-13,7	-5,1	-10,4	-14,7	-4,7	-6,7	2,3	-1,3	-16,7	-11,0	-7,3	1,3	-17,9	-12,2	-12,9
1977	15,0	8,6	9,4	16,9	49,2	11,1	19,8	56,5	32,7	27,7	29,9	36,9	40,3	25,2	57,1	16,5	14,9	13,4	33,4	17,2	17,4	26,5
1978	-7,9	3,2	3,1	17,2	-8,6	1,3	23,8	-5,1	9,2	-3,8	-0,6	2,0	6,6	-4,4	17,7	4,4	6,3	5,0	14,5	3,4	14,5	10,3
1979	-4,6	-13,3	-9,9	12,1	0,7	11,5	-10,2	5,5	bd	-14,5	-8,3	8,7	-8,2	-4,2	1,6	-14,7	4,3	-0,2	-7,8	-0,1	3,2	17,4
1980	-4,6	16,7	0,8	14,4	14,7	4,9	19,9	15,3	17,8	0,8	6,5	0,5	12,2	5,4	12,2	1,2	20,1	-5,2	2,0	-7,3	4,5	-6,5
1981	11,0	22,4	23,9	22,7	0,9	51,6	-2,3	22,7	30,7	33,3	22,3	21,8	24,9	30,1	21,2	13,4	15,6	26,2	30,6	13,7	44,7	33,5
1982	-30,7	-20,0	-20,7	-25,3	-23,0	-7,9	-27,0	-21,4	-19,6	-9,7	-18,4	-22,8	-8,5	-22,3	-22,2	-34,3	-25,8	-21,8	-30,2	-28,8	-14,5	-16,1
1983	-24,3	-21,4	-28,4	6,0	-25,1	-12,6	-20,1	-22,2	-13,1	-21,0	-20,3	-56,2	-15,2	-12,0	-3,1	-25,2	-24,1	-28,2	-22,1	-17,6	-14,5	-23,4
1984	-22,1	-21,1	-23,8	-4,1	-10,0	-2,6	-16,4	-6,6	-8,1	-5,1	-5,1	-10,2	-6,8	-10,3	-7,5	-18,1	-11,7	-18,2	-15,7	-21,4	-3,8	-3,1
1985	5,0	4,0	0,9	26,6	17,4	28,9	-9,6	-1,9	18,9	16,5	-5,2	-2,1	4,5	24,9	4,9	15,3	20,4	13,7	13,8	6,7	26,1	21,1
1986	-14,5	-25,9	-8,2	-9,4	-19,6	1,5	-10,2	-13,4	4,0	-3,1	-8,0	-11,8	1,0	3,8	8,3	-16,4	-5,6	-8,4	-3,9	-11,2	8,4	-9,4
1987	-10,0	-23,4	-7,5	1,4	-1,0	2,3	0,8	-6,2	10,9	0,4	-4,7	-7,3	10,4	-2,2	15,3	-9,9	-1,2	-3,8	-2,8	7,8	17,1	9,1
1988	-6,9	-16,2	-7,5	-1,4	0,0	6,4	-20,0	-5,4	7,9	-0,8	-10,3	-13,5	8,8	19,7	-25,6	-9,6	4,7	-10,8	-7,2	-23,8	1,8	-9,0
1989	-18,9	-11,9	-29,6	-28,1	-30,3	-27,2	-9,6	-27,3	-24,5	-29,8	-20,0	-31,5	-25,6	-27,8	-21,0	-12,7	-16,4	-38,8	-33,2	-17,4	-21,5	-35,6
1990	-10,9	-5,1	-26,3	-10,3	-10,7	-14,9	-13,3	-21,3	-21,1	-14,6	-10,0	-6,5	-4,3	-9,6	-9,7	-8,2	-11,5	-16,6	-14,9	-8,6	-7,3	-20,9
1991	-14,2	-31,7	-8,3	-29,0	-14,3	-25,6	-3,4	-8,3	-12,5	-13,3	-23,9	-16,8	-2,6	-7,7	-16,1	-25,8	-23,2	-20,1	-11,8	-17,9	-7,9	-16,4
1992	-5,2	-17,0	-20,0	-18,4	-27,1	-25,4	-9,0	-20,4	-20,4	-30,7	-25,8	-13,1	-23,6	-19,5	-66,0	-15,8	-20,4	-27,5	-23,4	-0,3	-14,2	-30,7
1993	-4,9	-13,4	-13,2	-9,6	14,3	-2,6	-19,9	18,8	-1,3	6,2	-5,5	5,0	1,8	10,0	-0,4	-11,5	5,8	-5,1	9,1	-4,3	0,1	-19,8
1994	26,1	4,3	8,0	-4,1	-0,1	-5,1	10,9	1,7	1,1	4,9	14,5	0,3	-5,2	17,1	-9,9	10,9	-6,0	0,4	3,3	15,8	12,3	-2,3
1995	-0,5	-24,8	-19,0	-19,1	7,1	2,2	-3,1	0,6	-4,6	-10,0	-1,7	3,0	16,9	-12,3	-22,5	-14,5	-17,6	-9,4	3,8	-8,2	7,4	-9,6
1996	15,5	8,6	-1,4	-15,4	-2,7	0,0	16,7	-2,6	-0,2	-10,1	0,9	8,6	-13,7	-5,6	-14,0	3,3	-12,3	-2,2	-9,6	25,9	-0,3	-6,5
1997	33,6	11,0	17,8	8,3	11,2	22,6	-2,4	10,1	45,9	25,6	7,3	27,0	14,6	40,4	-8,9	24,6	18,8	43,3	18,5	18,3	31,3	26,6
1998	26,9	6,8	3,3	16,2	9,8	10,6	10,1	9,1	18,3	9,8	3,8	5,1	6,7	19,3	-25,6	9,2	18,1	9,4	5,6	5,4	6,2	15,6
1999	0,1	-0,9	-1,9	-7,9	-0,6	1,8	-7,3	10,2	0,2	9,1	-10,0	0,9	17,5	-7,1	-34,3	-1,8	-0,4	1,2	8,4	-4,3	-0,9	-7,1
2000	37,7	3,6	25,6	15,7	16,2	15,6	2,9	13,9	25,1	18,2	-2,7	6,2	7,8	19,8	0,4	19,4	20,1	22,1	20,8	28,4	17,8	13,6
2001	35,1	20,6	23,5	23,7	26,7	18,3	9,1	33,3	26,2	25,5	1,0	41,3	34,9	20,8	10,8	26,9	22,8	38,9	26,3	28,4	17,0	11,8
2002	16,1	6,7	-3,7	17,8	-5,4	-21,0	-14,4	-2,8	-6,4	-15,5	-7,2	5,6	14,3	-12,6	-8,3	29,0	15,3	-16,3	-24,2	10,4	-16,2	-12,8
2003	-20,4	-15,6	-22,2	-12,5	-34,5	-29,3	-17,1	-20,1	-22,4	-29,5	-25,2	-23,4	-25,2	-15,7	-10,4	-21,8	-8,0	-14,5	-29,1	-18,2	-26,5	-27,2
2004	-3,9	-7,3	-9,6	-12,4	-9,1	-11,5	-3,2	-3,1	-9,0	-7,2	-10,2	-1,7	-4,0	-2,7	-7,6	-12,2	-5,2	-9,1	-11,2	2,0	-10,5	-4,4
2005	-5,1	-6,3	-4,6	-8,0	-18,4	-4,3	-12,7	-6,8	-7,9	-10,7	-1,7	-9,2	-5,3	-9,0	-9,5	-14,7	-14,0	-7,0	-10,0	-9,2	0,3	0,5
2006	-8,8	-17,7	-9,2	-17,3	-23,0	-13,1	-8,8	-14,4	-1,7	-12,0	-9,5	-19,3	-18,1	-2,6	-19,3	-14,3	-16,7	-5,5	-6,9	-26,0	-16,7	-13,2
2007	13,7	-5,2	14,8	10,5	17,9	15,9	-2,6	7,7	25,3	17,0	0,6	16,1	12,2	12,2	2,5	-0,6	16,3	8,7	13,2	13,3	12,4	18,2
2008	-1,5	-1,6	-6,2	-7,5	-15,0	-16,5	-8,8	-8,5	-7,2	-7,3	-4,2	-20,1	-7,5	-4,5	-8,3	-1,0	-5,3	-11,5	-14,0	7,1	-16,1	-6,1
2009	22,4	6,9	14,9	18,9	0,9	8,5	5,3	21,9	11,4	23,9	20,1	5,7	6,5	29,4	21,5	25,4	15,5	14,6	22,8	7,4	0,6	18,4
2010	43,3	54,7	34,0	28,2	46,9	37,1	38,8	43,3	52,5	46,6	21,7	40,9	53,5	57,5	38,9	29,6	33,1	34,0	44,1	36,0	43,3	47,6
2011	-9,4	-15,7	-2,4	-3,4	-22,8	-29,2	2,7	-18,1	-9,2	-25,3	19,3	-17,6	-26,5	-13,5	-10,3	-2,8	-16,0	-25,3	-28,8	-26,1	-27,6	-20,9
2012	-3,3	-14,5	4,0	4,3	-15,9	-12,3	8,8	-16,0	-4,9	-10,4	-6,3	-15,3	-15,1	0,8	7,7	-13,4	-9,4	-15,8	-9,7	-6,4	-8,8	-6,5
2013	4,6	11,1	4,5	6,4	7,6	21,0	40,8	21,1	20,3	20,7	17,0	22,1	13,0	21,6	11,1	11,1	12,1	5,1	20,7	2,4	12,9	22,5
2014	33,9	49,3	25,0	6,9	-1,8	8,7	18,8	-6,6	6,8	13,1	6,4	25,4	-5,9	11,9	-7,6	48,9	-6,4	7,3	4,5	17,3	9,2	14,9
2015	-23,8	-19,7	-21,1	-21,5	-28,1	-46,6	-22,0	-24,1	-29,9	-44,7	-22,1	-25,7	-35,3	-44,0	-25,7	-20,8	-30,9	-39,2	-31,2	-39,0	-31,1	-44,2

Tab. 11 Procentowe odchylenie od średniej wieloletniej (1961-2015) sumy opadów atmosferycznych zimą na wybranych stacjach w województwie łódzkim.

Tab. 11 Percentage deviation from the long-term average (1961-2015) of winter precipitation total at selected stations

Rok	Bobry	Chelsty	Dobryszce	Kruszów	Krzepocinek	Osjaków	Sadkowie	Szadek	Widawa	Złoczew	Skieniewice	Sieradz	Poddębice	Szczerców	Żychlin	Sulejów	Łódź	Wieluń	Czartoryja	Cielmiki	Cisowa	Działoszyn
1960/61	-19.9	-2.5	-15.5	-29.4	-20.2	-31.6	-3.1	-0.8	0.0	-11.3	-36.4	-3.3	-41.3	-2.4	-35.7	-64.7	-23.5	-7.5	-2.0	-16.4	-15.5	-16.1
1961/62	-27.2	-11.3	-20.9	10.3	-0.7	-29.2	-22.5	-16.8	-9.7	-10.7	-2.0	20.3	-31.8	16.6	-6.8	-17.4	-24.5	2.9	-6.1	-11.8	-21.2	-4.7
1963/64	-54.0	-53.9	-53.9	-44.0	-47.4	-50.0	-49.7	-49.5	-32.6	-14.7	-48.0	-29.0	-46.7	-42.0	-49.2	-52.0	-53.4	-21.5	-22.0	-40.2	-44.4	-27.6
1964/65	-44.0	-42.3	-43.3	-28.0	-27.7	-34.2	-30.4	-38.9	-63.9	-25.7	-58.5	-40.2	-25.7	-15.3	-32.6	-37.3	-43.1	-19.4	-23.6	-32.5	-29.8	-24.6
1965/66	4.1	27.3	-28.1	-10.6	-9.8	-6.3	-0.9	-19.7	-2.3	33.3	-25.5	-16.7	-9.1	11.9	12.5	3.2	-13.0	3.8	2.5	-7.9	-10.8	5.6
1966/67	30.1	32.8	14.6	25.2	72.3	17.9	18.9	23.5	-4.6	40.4	25.5	32.6	47.9	42.3	20.6	43.6	40.2	49.1	27.2	51.2	34.7	45.3
1967/68	27.4	45.4	47.1	59.5	107.7	35.1	31.2	53.6	15.9	44.4	48.9	54.7	53.1	82.2	89.9	71.2	59.3	62.4	50.9	26.4	37.2	34.4
1968/69	-12.1	-18.5	4.7	-25.4	-14.5	-6.2	-39.3	-14.5	-22.6	-12.3	-38.9	-18.1	-14.5	-3.5	-22.5	-33.8	-21.9	3.1	-2.4	-2.9	-12.1	-2.1
1969/70	-18.5	-11.5	-20.1	-35.0	-30.0	-25.7	-36.8	-37.3	-36.0	-12.2	-34.3	-2.4	-38.8	bd	-22.7	-34.2	-38.4	-11.0	-19.8	-14.4	-24.7	-11.0
1970/71	11.8	37.0	50.9	24.5	20.5	24.4	6.9	20.7	-3.9	31.8	23.3	43.0	22.4	19.3	44.4	24.9	0.8	37.4	32.5	59.7	14.6	38.1
1971/72	22.9	8.9	47.1	7.6	-13.8	-3.5	-4.7	-16.4	-48.6	2.0	0.2	-5.6	-7.8	bd	-6.3	4.1	-10.2	18.6	4.9	22.0	4.1	21.0
1972/73	-59.5	-77.5	-66.4	-63.8	-72.2	-66.9	-66.3	-73.2	-79.6	-68.9	-63.6	-60.5	-72.2	-74.7	-63.1	-69.5	-74.6	-57.2	-69.6	-65.4	-66.4	-60.5
1973/74	-0.1	-7.6	33.7	-5.8	11.2	82.4	-2.6	9.7	-24.4	36.1	-19.6	23.6	1.7	32.7	4.4	-27.6	-7.7	35.5	8.2	9.6	-1.9	32.8
1974/75	31.8	45.0	52.4	52.9	32.6	58.3	47.6	48.2	55.7	39.8	81.8	49.5	58.9	38.1	50.0	46.5	53.6	51.6	42.7	30.7	21.8	49.7
1975/76	-50.9	-34.3	-37.1	-34.3	-41.4	-38.5	-32.2	-44.8	-66.3	-31.6	-40.8	-48.1	-36.2	-39.2	-52.2	-47.2	-22.1	-28.8	-41.8	-32.7	-52.5	-39.4
1976/77	15.9	2.4	21.1	23.0	14.2	40.5	1.2	31.4	54.2	38.2	3.4	28.8	21.2	28.5	23.4	17.0	8.1	46.1	36.9	17.1	17.3	28.4
1977/78	26.2	14.7	20.6	13.5	21.4	34.1	12.3	40.6	55.4	32.2	21.6	55.8	34.2	42.4	16.3	26.8	8.8	54.8	43.7	36.9	38.5	47.1
1978/79	-15.5	-16.4	-16.6	3.4	-18.9	-7.6	12.1	-20.0	2.4	-7.0	-14.0	-18.7	-14.1	-17.6	14.6	-13.1	-22.2	-11.3	-5.7	-17.4	-9.2	-10.6
1979/80	4.7	11.2	16.9	39.5	44.1	26.9	38.9	30.6	bd	23.3	26.5	31.7	8.1	18.1	43.7	33.5	28.2	14.5	24.7	21.7	12.9	2.2
1980/81	-42.8	-46.3	-35.2	-39.7	-35.9	-41.7	-53.0	-28.1	-22.9	-29.0	-47.9	-44.6	-40.1	-45.0	-4.4	-39.7	-42.8	-38.9	-26.4	-50.2	-42.3	-56.0
1981/82	22.3	16.3	27.2	47.9	31.2	52.5	-50.7	33.1	51.1	44.7	23.6	21.5	40.8	43.1	49.9	14.1	26.3	24.2	39.9	32.7	42.2	23.5
1982/83	-3.3	17.3	-23.9	7.3	-21.5	1.3	-8.3	-14.2	-3.4	-23.3	-4.2	-28.6	-11.6	-9.7	-19.2	-5.2	-15.5	-23.3	-27.5	-9.1	-11.1	-9.3
1983/84	25.6	24.3	12.7	58.5	25.5	27.4	43.5	20.0	58.2	22.0	52.8	17.8	38.6	32.5	64.3	33.0	35.4	17.3	29.8	33.2	30.8	25.8
1984/85	-47.7	-42.1	-35.1	-22.3	-43.5	-34.2	-50.3	-39.9	-38.5	-33.0	-59.0	-47.4	-44.1	-36.4	-31.3	-35.3	-40.2	-46.4	-44.1	-39.9	-42.3	-36.7
1985/86	2.8	-5.4	11.9	26.4	25.1	28.4	36.3	5.8	26.6	19.5	17.2	-13.0	12.5	12.0	47.8	24.9	16.0	0.7	13.2	20.2	23.9	23.1
1986/87	-3.2	-7.7	0.6	22.0	21.9	11.7	8.3	11.0	20.2	24.9	21.1	14.0	21.4	31.4	37.4	2.6	10.6	-3.7	11.5	11.1	36.5	9.4
1987/88	-19.9	-12.4	10.0	13.9	-7.9	8.7	18.8	2.1	0.2	4.2	20.0	2.8	16.1	-3.3	9.2	-7.1	3.6	-12.7	9.1	13.7	4.9	5.1
1988/89	11.5	45.9	19.5	37.3	14.9	22.2	36.6	7.0	5.3	15.8	34.3	5.0	26.2	26.8	-51.9	32.6	41.1	-8.6	7.8	13.3	19.0	6.9
1989/90	-59.8	-57.7	-58.1	-31.4	-20.9	-34.9	-17.5	-38.0	-44.0	-42.5	-11.7	-45.1	-26.5	-50.0	-13.1	-43.0	-14.6	-58.0	-37.4	-54.9	-44.5	-57.0
1990/91	-28.8	-32.1	-23.2	-31.4	-25.1	-19.6	-41.4	-27.1	-16.1	-19.2	-30.4	7.6	-28.2	-10.4	-25.7	-18.3	-20.1	-27.6	-15.8	-30.2	-10.9	-22.6
1991/92	-20.0	-43.9	-30.9	-41.0	-27.4	-33.3	-7.2	-31.5	-37.7	-35.1	-40.2	-44.1	-23.5	-29.4	-24.2	-34.9	-32.2	-33.8	-28.6	-38.5	-27.8	-51.0
1992/93	1.8	-0.8	-3.4	-2.5	-2.6	-5.6	12.0	-14.7	-0.8	-14.9	4.0	1.9	-7.7	3.5	-72.4	10.6	5.0	-2.4	-14.3	-1.1	19.6	-5.3
1993/94	32.3	9.5	46.2	45.3	53.9	41.3	25.9	46.7	36.0	37.1	27.6	46.8	60.8	34.7	24.5	31.2	56.0	31.4	54.2	-7.3	66.9	14.2
1994/95	11.4	4.9	-7.5	-16.0	23.4	-8.0	-5.3	0.9	-4.2	-2.6	-9.1	-5.2	-10.7	6.6	-28.9	4.8	2.5	-4.4	-6.2	-2.3	-0.7	-22.3
1995/96	10.9	-22.2	5.2	-20.6	-9.2	-8.8	-13.9	-9.6	-17.4	-20.6	-19.0	-26.2	-0.5	-1.1	-85.6	-10.7	-6.5	-6.2	-10.4	-6.3	5.6	-18.2
1996/97	-50.2	-65.5	-45.1	-65.3	-36.3	-52.0	-60.8	-40.3	-40.9	-59.0	-53.3	-43.2	-38.9	-52.8	-44.6	-59.5	-52.1	-46.6	-42.6	-58.3	-44.8	-51.8
1997/98	-21.6	-23.8	-22.7	-42.5	-29.6	-30.0	-46.0	-29.1	2.1	-31.9	-43.0	-12.3	-41.4	-12.3	-46.5	-18.3	-29.6	-22.3	-27.9	-27.2	-29.5	-35.1
1998/99	20.7	12.9	16.0	34.1	39.2	-4.4	23.1	8.9	16.6	8.8	-5.3	-0.3	23.4	25.9	-9.9	39.1	36.0	0.8	-2.3	10.4	7.5	5.4
1999/00	11.3	-23.5	-13.6	-5.0	5.2	5.2	-24.5	12.1	22.5	-7.7	-18.9	-3.0	17.2	10.3	-16.1	0.1	11.4	3.9	0.7	-11.8	6.1	-6.4
2000/01	27.9	3.5	20.5	23.6	24.6	18.4	33.0	26.2	22.7	12.4	4.8	6.8	-2.7	17.2	6.8	30.4	18.6	26.6	11.8	20.6	24.1	16.7
2001/02	0.6	-23.4	-16.9	-36.3	-51.0	-25.4	-18.0	-30.5	-8.5	-30.2	-31.8	-32.2	-20.8	-23.2	-28.1	-30.5	-14.4	-18.9	-29.4	-1.7	-7.4	-22.9
2002/03	0.1	4.9	-14.9	-4.7	-1.0	-20.5	-27.3	1.9	-2.9	-17.7	-12.0	-4.4	5.4	-25.7	23.3	26.3	19.6	-10.2	-17.4	9.3	-17.7	-21.8
2003/04	-23.8	-17.9	-29.2	-2.3	-19.5	-20.4	-24.2	-10.7	-9.4	-14.8	-7.5	-21.9	-16.6	-28.3	2.5	-17.2	-5.0	-13.0	-27.5	-9.4	-17.5	-24.9
2004/05	30.9	7.2	1.9	-4.6	-7.5	24.7	30.1	5.1	20.3	-4.0	45.0	13.3	17.3	4.0	1.8	-1.4	31.5	4.4	-0.6	32.5	20.3	18.3
2005/06	125.9	98.8	101.2	70.4	51.3	115.8	96.7	98.2	111.6	78.5	87.7	70.5	58.2	95.9	51.4	73.7	76.1	100.9	92.1	119.8	103.8	134.3
2006/07	-10.2	12.0	-9.3	-21.1	-18.2	-21.0	3.4	-19.0	-8.2	-22.6	10.6	-27.0	-10.1	-4.9	-4.8	-2.1	-17.2	-16.9	-27.3	-10.4	-18.2	-10.1
2007/08	33.8	49.5	32.3	39.1	23.3	42.6	65.9	41.6	46.4	36.0	33.3	55.8	34.7	17.3	46.4	36.9	44.9	39.0	42.1	28.4	38.4	32.7
2008/09	-7.5	10.1	5.1	4.5	49.0	-6.3	39.4	27.4	-0.4	-0.8	64.9	6.4	36.4	25.7	37.1	27.3	20.5	-2.0	2.3	-4.7	-7.6	1.2
2009/10	22.9	10.7	22.5	-19.6	-8.5	6.9	17.2	15.9	35.5	25.5	20.2	11.4	31.7	23.4	3.5	11.4	2.3	6.0	11.6	16.2	16.2	32.4
2010/11	33.0	36.3	25.1	22.5	-8.5	14.2	46.7	42.5	57.5	24.0	12.0	26.3	25.0	19.6	25.2	-2.2	6.2	6.4	16.1	16.7	15.2	32.6
2011/12	-12.5	20.5	-4.3	-16.7	7.7	-23.3	5.7	-14.6	2.8	-19.5	8.1	-20.1	-17.3	-9.4	-16.5	12.9	5.4	-18.5	-24.8	-22.3	-15.4	-5.1
2012/13	7.3	11.2	7.0	-3.9	-6.8	7.9	24.9	25.4	19.9	20.0	30.1	15.0	3.7	11.1	29.3	5.5	8.9	-7.5	15.5	3.3	6.9	15.6
2013/14	30.4	24.2	8.1	5.7	2.8	-2.7	32.0	25.7	14.4	7.7	20.4	27.9	8.2	20.2	39.0	7.5	-4.5	-1.8	11.5	0.3	-1.7	14.1
2014/15	16.4	51.8	-1.6	16.9	6.6	-7.4	48.6	-1.3	24.0	-2.0	32.2	5.6	20.8	4.9	26.6	34.9	8.8	-15.8	-2.3	-7.7	-17.7	-9.3
2015/16	-1.7	3.9	-5.1	-31.5	-51.9	-49.7	-80.4	-35.3	-27.3	-77.7	-26.1	-35.5	-66.7	-61.4	-31.4	-8.2	-36.7	-45.3	-37.7	-21.9	-23.3	-53.4

Tab. 12 Procentowe odchylenie od średniej wieloletniej (1961-2015) sumy opadów atmosferycznych wiosną na wybranych stacjach w województwie łódzkim.

Tab. 12 Percentage deviation from the long-term average (1961-2015) of spring precipitation total at selected stations

Rok	Bobry	Chelsty	Dobryszce	Kruszów	Krzepocinek	Osjaków	Sadkowie	Szadek	Widawa	Złoczew	Skierbiewice	Sieradz	Podgębice	Szczerców	Żychlin	Sulejów	Łódź	Wieluń	Czartoryja	Cieletniki	Cisowa	Działoszyn
1961	-3.5	-36.7	-5.7	9.9	-10.7	-6.4	-12.1	-18.4	-21.6	5.7	-16.9	-3.3	-3.5	12.9	-3.2	-73.3	5.8	6.7	-5.2	-22.1	-7.3	-8.0
1962	67.6	72.7	81.1	83.3	105.0	41.7	133.0	53.6	112.9	76.4	100.7	38.8	31.9	106.8	107.9	109.5	94.2	67.9	58.5	82.3	55.2	76.2
1963	-26.1	2.3	-4.3	-32.3	9.7	-20.2	-30.3	-4.0	-14.9	-40.6	-12.3	-40.2	-21.9	-4.4	-33.9	19.1	-20.4	-39.1	-28.9	5.8	8.5	-13.4
1964	-46.9	-27.1	-22.8	-47.7	-20.3	-1.8	-54.6	-35.0	-76.1	-7.2	-56.4	-36.9	-45.0	-32.5	-31.9	-40.3	-49.1	-26.3	-16.8	-22.2	-41.6	-26.4
1965	1.6	34.8	34.0	43.5	69.1	17.0	5.7	44.4	39.8	49.1	15.6	20.6	22.4	30.3	64.8	49.8	37.2	14.9	80.4	21.6	21.2	29.3
1966	-0.3	49.9	17.0	-20.8	-9.9	-12.3	-0.5	13.7	-16.4	3.0	-10.9	-9.3	-11.2	-8.5	-18.0	19.0	7.0	-9.1	-27.6	2.9	-21.8	-10.1
1967	-0.7	25.5	3.7	15.2	29.6	25.8	23.4	21.2	-6.9	9.2	71.4	12.1	28.3	28.3	34.8	10.5	12.4	38.8	16.0	11.3	16.9	64.1
1968	1.9	28.7	-4.1	6.0	12.4	-4.7	-17.5	14.3	44.9	5.1	-30.2	40.0	8.8	-8.0	11.7	-2.5	3.9	9.3	18.7	21.5	-4.1	-3.7
1969	-30.8	-23.6	-21.7	-32.6	-19.4	-2.9	-35.9	-9.1	-29.3	-23.2	-20.7	-19.8	-20.5	bd	-26.0	10.0	-21.6	11.8	-1.8	-30.9	-22.0	-20.8
1970	-16.6	1.2	-12.0	34.4	51.4	-0.1	66.9	14.6	-41.3	10.2	54.6	15.4	36.8	-0.1	103.1	4.2	24.4	8.0	7.9	-16.0	-21.8	-2.1
1971	11.0	-15.4	2.7	17.8	-10.1	-1.3	-25.9	25.5	39.8	-8.8	-14.7	45.7	-6.4	bd	70.4	-11.7	-5.2	21.4	31.7	19.4	35.6	30.7
1972	26.6	62.4	46.0	45.5	0.9	20.9	33.9	9.1	7.3	8.6	24.2	14.1	28.4	32.3	55.1	24.1	62.8	19.5	3.5	31.6	25.8	20.8
1973	-38.8	-27.2	-29.6	-30.5	12.3	-4.1	-18.8	-38.8	-61.3	-21.7	-20.4	-6.0	-7.0	-34.2	-11.9	-22.0	2.6	-26.7	-14.2	-24.3	-25.8	-30.5
1974	-22.7	-25.0	-12.5	-34.0	-56.3	-13.8	-40.0	-17.3	12.6	19.4	-43.8	-14.4	-42.1	-21.2	-46.2	-41.4	-27.9	12.7	-8.9	-2.2	1.6	-18.1
1975	-11.7	12.2	13.0	-14.3	11.8	5.7	-33.2	-12.5	9.2	-22.1	11.4	-39.5	-5.8	-26.7	-16.7	-5.4	-15.6	-23.4	-52.0	2.5	-25.1	15.8
1976	-44.6	-34.7	-26.5	-39.2	-38.2	-18.9	-37.8	-37.6	-24.8	-42.7	-36.1	-42.8	-32.8	-26.0	-27.2	-37.2	-49.3	-36.8	-33.0	-38.4	-37.3	-38.8
1977	6.7	-14.4	0.8	16.5	19.6	-9.4	1.8	28.0	4.8	4.2	24.7	-9.7	14.5	6.4	103.6	-6.3	6.6	-4.1	10.5	5.8	-8.1	-14.0
1978	-14.7	-7.4	-5.6	-23.7	-34.6	-16.4	25.0	-28.9	-20.6	-24.0	-13.3	-26.3	-9.6	-24.5	-27.6	-24.3	-21.3	4.1	-11.0	-9.9	9.0	-4.6
1979	6.5	-25.4	-4.6	1.1	-22.1	8.0	-37.1	-11.3	bd	-19.0	-42.1	-16.2	-30.0	12.7	-8.2	-21.3	-22.6	-8.2	-16.4	-0.5	-4.1	6.0
1980	-8.7	-8.4	4.5	-1.8	-32.1	-9.9	-17.5	-23.4	2.7	-15.0	-30.7	-15.9	-25.8	-17.0	-28.3	-6.1	-18.7	-11.7	-7.4	1.0	-18.0	-24.4
1981	-14.6	-0.8	-12.2	-8.9	-20.3	4.8	-11.1	-5.9	-15.7	-4.8	-23.8	-19.4	-13.1	-5.6	-30.8	-8.8	-22.9	-6.1	-0.8	-0.5	17.3	-1.7
1982	-45.8	-49.0	-12.4	-35.0	17.3	-25.9	-31.9	17.3	-27.1	-0.4	-21.3	25.8	19.2	-29.3	-8.9	-50.9	-30.1	-13.7	4.2	-44.6	-24.3	-46.4
1983	20.9	32.5	4.7	48.1	-17.9	33.5	33.4	0.6	17.6	21.0	16.2	-30.8	3.5	13.0	19.5	2.7	12.7	-7.2	-6.8	25.5	15.5	4.4
1984	-10.8	-18.7	-24.0	-12.4	-11.2	2.2	-1.8	-9.8	0.5	17.5	11.6	11.9	1.9	-13.0	-13.4	-20.5	-20.8	8.3	-25.6	-2.2	-1.5	14.2
1985	-4.9	-24.4	-19.4	13.8	-3.7	31.0	-26.7	-19.3	15.0	-6.0	-3.0	-9.8	36.6	45.2	-25.0	17.2	-10.9	3.5	-5.7	0.2	18.7	11.3
1986	-34.9	-38.7	-23.5	-15.7	-11.9	-23.5	-17.4	-25.4	-15.8	-21.6	0.5	-9.8	-3.9	-7.3	38.9	-26.7	14.4	-30.8	-2.1	-32.6	-21.3	-21.1
1987	-10.8	-33.3	-19.0	-31.1	-43.8	-24.3	-21.7	-42.7	-8.9	-26.1	-38.1	-33.7	-43.7	-21.4	-37.2	-17.9	-19.7	-12.3	-29.6	-2.7	6.7	7.8
1988	-17.0	-24.8	-20.4	-7.0	-34.3	7.0	-34.8	-23.2	-6.1	-2.1	-17.8	-11.6	-4.3	-14.8	-6.1	-34.3	-23.8	-16.1	-11.8	-27.5	-16.3	-21.9
1989	-15.8	-10.2	-23.9	-26.8	-40.8	-14.3	-16.0	-32.3	-29.4	-36.9	-28.0	-28.6	-26.5	-37.1	-21.3	-14.4	-9.6	-23.8	-33.6	-10.7	-9.6	-24.2
1990	-27.4	-25.2	-33.4	-13.9	-41.5	-46.0	-14.2	-50.1	-57.3	-40.5	-7.2	-40.8	-13.0	-22.0	-25.8	-13.0	-32.9	-45.5	-37.8	-23.8	-42.7	-48.8
1991	-29.3	-32.7	-31.4	-37.9	-22.6	-26.2	-10.4	-21.0	-17.5	2.3	-23.3	-8.2	-20.4	-31.3	-18.7	-47.3	-35.1	-12.2	-2.2	-41.2	-9.7	-15.9
1992	-3.9	-1.8	-13.9	-4.5	-3.6	-11.4	1.5	3.5	14.7	-4.7	-24.6	-4.8	-3.7	7.1	bd	-7.1	-18.5	-0.8	16.8	5.5	-0.7	-12.3
1993	-28.6	-13.4	-25.5	-34.5	-30.6	-29.7	-10.7	-14.8	-29.4	-12.8	-12.0	-30.9	-36.3	-16.7	-48.8	-26.1	-4.3	-22.5	-25.2	-10.6	-32.1	-46.4
1994	83.8	56.2	59.6	67.7	70.8	41.7	82.3	48.2	52.2	38.2	84.3	50.8	56.1	80.1	49.2	75.4	54.2	39.1	39.8	60.8	65.8	35.7
1995	8.1	-1.5	-11.6	-14.2	-27.1	-4.5	-0.5	-14.7	-24.6	-14.8	5.8	-20.5	-16.9	0.7	-14.5	7.7	-9.6	-33.2	1.7	-12.5	0.6	-20.9
1996	28.1	-1.3	9.8	-12.8	-36.7	44.3	2.7	4.1	21.8	4.5	-3.4	-16.9	-17.3	3.6	-20.0	-3.2	6.7	19.4	6.8	36.4	32.9	23.8
1997	-1.4	9.0	-5.8	14.9	9.8	15.4	-20.0	-6.4	19.0	-0.7	6.7	8.5	17.1	11.6	0.8	14.0	-1.2	18.9	2.8	-12.0	1.9	-2.8
1998	7.8	-13.8	8.6	-0.1	-19.8	-2.1	3.6	11.8	-3.2	-10.7	9.5	-12.5	-9.3	8.4	7.3	-11.3	17.1	-18.3	-9.4	-2.2	-23.0	-19.3
1999	8.5	-10.6	-6.5	5.9	11.1	-7.7	15.9	23.9	21.8	21.0	-5.7	17.8	41.9	-7.8	-51.0	21.8	10.7	4.3	30.5	-30.8	22.3	4.7
2000	25.9	12.1	1.1	-13.5	41.0	23.9	-23.6	6.2	21.5	21.4	-18.5	-0.6	4.8	2.6	28.2	-9.6	17.1	40.0	32.4	7.1	36.0	22.1
2001	60.8	49.2	49.6	21.1	23.2	39.5	53.5	46.6	62.4	55.4	36.4	76.6	48.6	50.0	23.6	47.9	32.4	80.3	71.1	63.0	38.8	44.1
2002	15.6	38.6	-1.2	-3.9	-2.7	-25.2	-14.5	17.8	12.1	-17.6	-18.5	-10.1	11.5	4.4	-40.6	55.0	32.6	-27.4	-36.7	22.0	-39.5	-23.3
2003	-12.1	-13.7	-18.4	-19.6	-39.6	-31.4	-8.5	0.6	-9.7	-1.3	-26.9	1.5	-29.3	0.2	-38.9	-10.9	-7.1	6.6	-19.2	-3.8	-6.2	-12.6
2004	14.6	26.7	6.7	14.6	31.0	2.4	17.9	4.1	9.9	39.1	13.5	24.2	31.7	16.5	0.6	29.5	11.9	15.3	9.7	15.1	13.9	5.9
2005	2.8	20.9	8.9	5.2	28.5	-2.7	-10.6	24.1	-1.6	-7.2	14.2	16.7	39.0	-4.0	8.8	4.1	-1.9	-16.4	-4.0	-5.4	-11.8	-16.1
2006	-6.7	-28.5	1.3	-7.7	1.0	-11.0	-9.7	-15.2	-5.6	-24.4	-7.5	-15.8	-7.1	-1.6	-12.3	-27.0	-8.7	-10.8	-17.9	-11.4	-16.1	1.2
2007	-28.0	-15.1	-26.4	-16.9	14.0	13.3	0.5	-3.0	11.1	-6.1	7.1	5.8	-8.3	-7.2	7.5	-30.7	-6.9	-0.2	-16.8	-29.4	-27.1	-11.6
2008	7.9	22.7	22.1	-5.8	-17.2	1.9	-5.6	-13.2	2.9	0.4	2.0	-12.3	-19.5	26.3	-13.4	19.3	-0.2	-1.0	-3.9	6.4	-4.4	15.4
2009	-7.8	-14.5	-20.6	-28.9	0.8	-13.9	-23.7	-16.4	-32.0	-11.6	-8.9	-30.1	-8.5	-25.2	24.4	4.0	-17.2	-12.0	-22.8	-8.7	-17.8	-8.7
2010	80.7	89.1	51.2	67.9	144.6	95.0	50.9	107.2	116.2	90.8	42.9	99.9	106.8	131.9	68.2	63.7	76.7	95.4	93.5	66.5	122.1	114.1
2011	3.7	-32.0	-10.8	20.9	-42.1	-52.8	-25.4	-44.9	-45.1	-49.3	10.1	-50.5	-43.4	-36.8	-27.6	-34.8	-18.8	-43.0	-49.6	-13.2	-41.6	-33.3
2012	-13.5	-39.6	-14.6	-21.8	-56.3	-47.7	-6.3	-43.4	-41.2	-51.8	-26.0	-44.6	-53.9	-31.7	-14.0	-39.9	-39.2	-49.6	-54.7	-29.6	-45.6	-31.2
2013	42.0	36.6	63.1	42.3	28.0	76.6	99.6	86.5	93.7	81.4	68.7	91.0	42.7	97.1	42.9	31.6	47.3	59.5	108.6	18.2	70.9	78.7
2014	69.3	53.1	76.3	61.0	63.4	19.0	45.0	34.4	51.8	47.7	29.9	142.2	56.4	32.2	0.5	84.8	36.4	24.3	35.9	30.4	35.1	57.8
2015	-22.9	-23.6	-41.6	-7.0	-28.7	-48.3	10.0	-23.2	-34.6	-55.9	1.5	-36.7	-48.9	-44.2	-24.5	1.5	-36.2	-41.3	-41.7	-41.0	-44.0	-51.0

Tab. 13 Procentowe odchylenie od średniej wieloletniej (1961-2015) sumy opadów atmosferycznych latem na wybranych stacjach w województwie łódzkim.

Tab. 13 Percentage deviation from the long-term average (1961-2015) of summer precipitation total at selected stations

Rok	Bobry	Chelsty	Dobryszce	Kruszów	Krzepocinek	Osieków	Sadkowie	Szadek	Władowa	Złoczew	Skierbiewice	Sieradz	Poddębice	Szczerców	Żychlin	Sulejów	Łódź	Wieluń	Czartoryja	Cielitki	Cisowa	Działoszyń
1961	50.9	15.1	27.3	25.1	107.9	28.4	24.1	30.5	30.0	18.5	21.3	37.1	30.7	43.0	106.6	29.6	23.2	20.5	21.2	23.5	16.2	4.5
1962	-16.6	-10.9	-29.3	-44.0	-38.1	-40.3	-32.1	-35.1	-43.0	-37.9	-30.8	-47.5	-42.8	-25.3	-27.7	-20.1	1.3	-40.4	-22.2	-3.9	-38.1	-40.6
1963	-29.8	-45.7	-41.3	-38.0	-33.8	-22.5	-35.7	-26.5	-23.4	-21.5	-16.5	-3.7	-17.7	-35.6	-21.0	-43.3	-43.4	-24.1	-12.5	-45.5	-41.8	-31.9
1964	23.2	18.1	44.4	-4.4	-11.9	-9.2	28.4	-24.4	-10.2	-21.7	28.8	-22.8	-37.0	6.6	8.9	2.1	12.3	13.3	-4.0	23.2	-11.8	-10.7
1965	-9.9	5.1	-29.0	-3.2	22.6	-42.3	-0.4	-30.8	-37.8	-10.4	0.1	-10.5	-22.1	-25.6	-6.2	0.6	-16.1	-22.4	-13.3	-0.4	-27.2	-15.7
1966	37.7	39.5	33.0	30.7	30.9	0.1	72.0	38.6	27.1	14.1	71.7	14.8	30.1	12.7	23.6	62.1	54.0	35.1	3.2	78.4	31.2	29.5
1967	-5.1	-13.1	-1.7	-13.1	9.6	-23.3	31.8	-4.8	-26.2	-38.5	22.9	-4.3	-4.3	-17.6	35.5	16.8	7.8	-4.8	-27.7	-14.4	-7.0	-12.7
1968	3.6	13.0	10.2	-1.0	-1.4	-1.5	5.8	-11.5	5.6	-19.3	-5.2	-20.2	-12.1	8.4	-34.3	1.9	7.0	25.0	-7.0	17.7	2.9	19.3
1969	8.7	-0.6	17.6	-29.8	14.2	-5.1	-25.3	-1.6	-2.8	-20.5	4.7	6.3	8.1	bd	2.7	-22.0	-15.8	3.8	-19.6	-30.4	-12.0	2.9
1970	-5.1	63.9	17.2	3.3	6.7	30.9	23.7	58.5	22.7	2.6	32.7	50.8	-4.5	12.0	49.3	37.5	-4.5	11.5	22.2	35.8	15.9	9.7
1971	-27.7	-38.9	-15.3	-14.7	-26.0	3.2	-32.9	-14.3	-14.7	-13.9	11.1	15.3	13.8	bd	-11.3	-20.8	-6.9	11.9	12.0	-28.3	-3.7	20.3
1972	8.4	80.2	32.8	29.1	57.3	-9.0	75.1	25.0	-24.3	26.9	30.2	28.9	22.4	-1.7	46.7	74.2	6.4	38.9	27.1	18.7	18.9	-5.7
1973	0.1	-5.6	3.0	-4.3	15.4	40.4	0.1	5.8	4.1	32.4	-3.7	-1.7	-12.9	-2.4	8.9	-20.4	19.2	-2.7	18.8	11.4	-15.2	12.2
1974	24.3	71.8	54.6	25.5	-2.7	34.7	43.8	7.3	52.2	34.9	29.7	25.8	6.6	22.3	25.4	40.8	27.9	47.1	4.8	24.5	10.9	31.6
1975	-28.0	-2.5	16.1	20.5	-30.3	-21.8	-15.3	-8.2	10.2	8.6	14.1	7.5	-7.4	-32.8	-34.7	-22.4	-2.3	-2.9	-8.5	-19.0	11.6	-15.5
1976	-35.7	-60.3	-19.8	-52.8	-35.2	-12.8	-26.3	-50.2	-49.0	-33.8	-35.6	-21.8	-35.6	-10.2	-27.2	-50.6	-28.9	-38.6	-23.0	-40.8	-31.5	-38.6
1977	37.3	41.9	33.4	36.6	104.2	33.5	56.7	100.1	68.7	67.7	65.3	74.6	84.2	69.1	77.6	51.2	39.0	25.5	72.7	34.9	46.4	69.8
1978	-18.5	2.7	-5.6	24.9	-4.9	-13.8	8.7	-9.3	3.6	-8.6	-3.2	-2.1	5.5	-11.3	25.5	14.6	20.5	-13.3	18.7	-14.8	0.4	3.9
1979	-0.4	-21.1	-22.3	7.0	-20.2	2.2	-1.9	-10.6	bd	-50.8	-3.7	0.7	-16.6	-18.7	-34.7	-34.1	3.1	-18.3	-26.2	-7.5	-8.9	40.0
1980	9.5	48.8	13.1	50.1	76.6	40.3	56.4	76.9	56.8	33.1	50.9	25.2	76.3	52.4	56.7	15.9	75.4	15.8	25.2	-2.6	34.7	18.1
1981	5.3	40.5	17.4	19.5	-2.7	52.5	12.0	30.9	37.9	37.4	60.9	24.2	34.8	39.1	33.5	24.6	31.1	20.3	39.9	-7.1	42.7	28.9
1982	-17.8	-9.8	-10.9	-20.7	-20.6	32.0	-24.8	-18.6	6.9	27.7	-0.9	-19.2	11.1	5.0	-6.6	-29.6	-2.0	4.6	-25.5	-14.4	23.4	28.9
1983	-56.3	-56.3	-61.6	-18.4	-46.4	-46.7	-57.8	-52.8	-50.1	-58.4	-52.2	bd	-53.0	-37.9	-31.0	-48.3	-62.9	-51.5	-51.6	-43.5	-43.0	-46.0
1984	-43.5	-36.8	-38.3	-20.4	-34.0	-16.8	-27.3	-31.2	-36.2	-22.1	-19.5	-31.5	-19.8	-14.3	-26.1	-25.2	-20.8	-36.8	-18.7	-33.1	-11.8	-15.6
1985	45.3	46.4	39.3	64.1	64.2	71.7	1.6	26.6	59.8	73.3	5.9	37.6	11.4	61.2	30.6	40.1	71.4	64.4	67.0	36.2	67.7	63.5
1986	-2.8	-19.6	1.1	-13.4	-34.1	20.9	-8.2	-4.0	18.8	3.3	-19.5	-20.0	7.6	9.8	-6.8	-15.5	-9.1	15.5	1.0	8.7	25.9	0.2
1987	-1.5	-11.8	-12.8	3.6	9.5	5.6	9.7	-1.6	14.9	11.9	-4.1	-24.3	15.4	-5.5	42.9	-9.9	1.4	-1.1	-7.6	23.0	26.0	9.1
1988	6.3	-23.0	3.2	-6.8	28.9	9.1	-26.6	12.9	36.3	0.8	-8.7	-12.7	28.8	70.6	1.9	8.1	22.2	-3.6	-4.7	-28.3	13.4	8.6
1989	-10.1	9.0	-18.4	-31.1	-28.5	-31.3	-1.4	-20.9	-22.3	-29.5	-16.8	-30.4	-23.5	-20.5	-11.0	-0.9	-16.8	-41.2	-37.3	-5.6	-22.8	-35.2
1990	-31.2	0.1	-53.4	-17.6	-21.9	-28.6	-24.6	-25.2	-28.8	-25.9	-21.4	-24.2	-16.1	-31.5	-30.2	-20.6	-22.4	-15.4	-25.1	-19.0	-12.2	-27.4
1991	-11.4	-31.2	11.2	-20.6	-11.2	-28.3	4.2	5.6	-6.6	-24.7	-20.3	-18.1	23.7	16.7	-10.0	-20.1	-12.9	-26.0	-20.9	-2.5	-11.4	-13.3
1992	-31.1	-49.7	-48.6	-54.4	-56.5	-51.8	-56.2	-44.6	-63.9	-63.4	-73.3	-18.6	-55.9	-56.7	-61.9	-50.1	-60.1	-66.9	-56.4	-17.6	-52.1	-61.8
1993	-13.0	-23.0	-26.8	-21.6	0.0	-18.2	-32.8	0.3	-4.4	-0.3	-20.3	-4.8	-18.9	10.0	-11.6	-18.1	-16.3	-16.8	-0.6	-2.6	-26.7	-42.3
1994	-6.2	-46.0	-21.2	-44.2	-46.8	-24.1	-30.3	-26.9	-26.8	-15.9	-39.8	-28.4	-51.3	-14.5	-51.2	-33.0	-49.8	-18.2	-10.6	-22.3	-15.1	-20.0
1995	-6.5	-26.6	-22.5	-19.4	38.9	27.1	-0.1	23.3	17.2	16.2	-0.7	47.4	50.3	-13.4	-18.2	-26.5	-25.6	14.8	34.5	-15.3	21.0	7.8
1996	17.1	27.6	-0.6	-9.8	16.1	6.0	45.0	8.6	7.9	9.4	16.8	45.1	-6.2	17.2	-1.6	15.0	-19.1	8.2	-2.3	36.4	0.1	1.4
1997	87.8	38.3	52.9	26.8	33.3	70.5	20.1	49.7	107.9	81.9	28.9	65.1	52.2	95.9	-3.5	54.9	50.5	115.4	69.8	64.0	98.4	93.4
1998	32.0	10.1	-16.9	4.2	10.2	13.1	12.2	-3.3	17.7	-0.6	4.3	-6.3	-1.0	5.0	-41.6	4.0	5.6	-3.8	-6.5	2.9	6.2	23.2
1999	-16.8	17.3	2.8	-6.3	5.7	9.6	-10.2	15.8	-17.0	8.0	-6.1	5.5	16.4	-27.7	-32.2	-4.9	0.0	-2.5	6.7	4.8	-23.0	-21.8
2000	70.9	19.3	51.5	43.2	21.8	17.8	18.9	31.4	36.5	34.6	9.4	20.0	26.8	40.8	2.6	36.3	34.3	24.1	44.0	67.4	19.3	18.4
2001	39.7	37.3	36.2	52.4	63.2	34.5	6.3	73.7	27.3	52.2	0.8	68.4	58.7	17.8	9.8	41.0	26.5	40.1	42.8	25.8	6.7	2.1
2002	18.7	-25.3	-2.1	45.8	-25.9	-30.2	-26.4	-30.4	-29.5	-16.9	-12.1	17.3	7.2	-35.5	-3.1	15.4	-2.6	-23.0	-26.3	2.6	-17.9	-13.4
2003	-40.1	-22.7	-32.4	-26.1	-37.9	-45.0	-32.4	-37.7	-38.3	-47.2	-60.1	-41.8	-33.6	-31.8	1.2	-48.7	-26.9	-25.1	-38.4	-45.8	-50.1	-45.1
2004	-39.3	-35.7	-36.1	-39.7	-34.5	-39.4	-30.6	-16.1	-42.9	-38.0	-51.8	-12.6	-45.5	-31.8	-20.7	-49.0	-31.8	-31.6	-33.6	-17.7	-40.9	-24.0
2005	-41.7	-48.4	-33.7	-35.7	-52.5	-34.6	-40.3	-52.3	-43.6	-37.6	-14.7	-38.1	-37.3	-40.1	-30.7	-40.3	-45.3	-35.8	-44.9	-42.6	-19.4	-25.8
2006	-29.7	-23.9	-21.8	-17.4	-28.2	-25.3	-17.9	-5.6	9.7	-9.0	-8.2	-24.4	-21.3	-7.4	-16.3	-16.0	-21.0	2.7	1.4	-50.4	-28.1	-36.5
2007	22.6	-22.2	35.7	18.9	37.1	26.0	-21.2	10.6	42.8	37.7	-6.3	17.3	25.5	20.6	0.7	6.2	30.4	15.8	30.0	31.3	36.3	44.4
2008	-7.1	-26.1	-27.1	-5.2	-30.3	-30.6	-28.6	-15.3	-19.2	-20.8	-20.6	-32.8	-10.8	-22.2	-18.9	-25.1	-12.7	-20.6	-27.5	14.4	-20.5	-9.9
2009	38.1	8.3	34.0	73.1	4.4	29.3	0.2	52.5	23.0	51.1	35.7	22.2	1.9	86.8	48.6	38.6	44.3	45.3	65.5	2.3	8.9	18.9
2010	34.4	65.8	39.8	11.0	14.9	25.9	28.0	1.8	22.2	27.2	-2.8	18.1	28.3	44.5	-1.6	22.9	16.6	8.7	12.9	40.2	21.9	27.7
2011	13.0	15.7	42.3	34.6	-0.1	5.1	60.6	26.4	42.5	12.7	88.9	28.6	-1.2	29.6	45.1	43.9	7.6	4.7	4.9	-12.7	0.8	8.5
2012	-17.1	-30.0	11.5	37.3	-1.2	-6.1	5.4	-34.2	-4.1	-7.6	-8.4	-24.4	-7.6	14.0	19.1	-17.4	-1.3	-3.9	2.3	-13.2	3.1	-9.9
2013	-18.7	-5.6	-20.3	-1.6	-1.1	22.4	34.2	-3.5	2.3	15.9	-2.7	-2.9	13.5	-5.7	-13.7	12.6	6.6	-7.4	-2.2	1.2	4.5	14.0
2014	33.9	74.8	16.2	-11.3	-32.9	19.9	21.4	-21.1	-11.4	2.7	6.1	-9.0	-40.9	21.4	-8.6	67.0	-24.9	11.5	-6.8	32.9	15.7	14.2
2015	-50.4	-38.0	-28.0	-40.1	-41.7	-54.3	-38.7	-40.0	-36.2	-46.0	-51.5	-44.6	-34.6	-54.8	-49.0	-45.0	-43.7	-46.1	-37.0	-60.8	-38.9	-55.6

Tab. 14 Procentowe odchylenie od średniej wieloletniej (1961-2015) sumy opadów atmosferycznych jesienią na wybranych stacjach w województwie łódzkim.

Tab. 14 Percentage deviation from the long-term average (1961-2015) of autumn precipitation total at selected stations

Rok	Bobry	Chelsty	Dobryszce	Kruszów	Krzepocinek	Osjaków	Sadkowie	Szadek	Widawa	Złoczew	Skieriewice	Sieradz	Podgębce	Szczerców	Żychlin	Sulejów	Łódź	Wieluń	Czartoryja	Cieletniki	Cisowa	Działoszyn
1961	-30.9	-21.8	-16.9	-16.9	-19.9	-36.2	4.1	-17.1	-25.1	-6.5	-1.5	-21.8	-51.6	-27.0	9.6	6.4	-12.5	-20.8	-18.7	-18.5	-28.1	-16.7
1962	-13.8	15.9	-12.5	-12.9	18.1	-19.5	1.8	2.9	5.5	-1.1	-17.3	-1.1	-4.4	24.8	-0.2	-0.3	-10.1	5.6	-2.4	-3.5	-6.2	2.0
1963	-0.7	72.1	13.0	49.7	65.5	42.5	63.8	23.8	65.6	46.8	46.7	20.7	7.3	43.5	26.5	40.7	45.3	32.0	29.4	16.6	5.1	24.6
1964	1.5	24.0	6.0	9.8	22.6	8.8	2.4	14.8	6.1	32.1	17.1	9.4	-9.7	3.8	3.4	28.2	15.3	23.2	23.5	-7.5	-2.4	10.6
1965	-15.6	-23.0	-33.5	-19.9	-29.3	-37.4	-36.0	-20.4	-19.2	-30.8	-18.5	-28.4	-12.9	-4.7	22.3	-4.3	-29.3	-22.4	-20.5	-23.7	-33.9	-24.8
1966	-6.2	-3.7	12.5	38.6	66.1	30.8	33.3	33.0	25.4	47.1	47.6	39.8	28.2	72.4	75.9	13.8	38.8	25.0	40.5	-4.9	15.8	35.6
1967	-26.8	-9.3	-5.9	-11.4	9.5	14.7	-32.6	19.3	7.0	16.0	-14.9	9.4	-19.6	12.6	14.3	-12.4	36.5	25.0	18.0	-24.3	-7.4	-7.3
1968	-16.9	5.7	-30.0	-17.5	7.6	7.0	-34.8	-23.3	-18.6	16.4	24.9	-3.9	-6.7	30.5	10.3	-10.0	-19.9	12.9	46.0	-26.3	-0.5	-6.6
1969	-59.6	-53.7	-41.0	-40.4	-42.6	-43.0	-34.1	-46.6	-22.0	-41.4	-40.2	-35.2	-52.9	bd	-26.7	-46.7	-42.8	-41.9	-12.0	-48.0	-38.2	-49.1
1970	36.5	50.6	60.8	32.9	53.0	55.8	35.8	48.4	30.4	20.3	39.4	25.9	32.1	30.8	77.5	34.2	16.6	39.4	34.7	42.5	38.4	55.4
1971	-7.4	11.2	4.5	10.3	4.7	4.5	6.6	18.5	-12.9	16.0	33.5	19.6	27.8	bd	7.1	6.9	-0.4	9.6	24.2	-5.4	-12.8	16.7
1972	-28.9	-20.8	-22.4	-32.5	-50.4	-35.7	5.8	-52.7	-50.2	-54.3	7.2	-40.3	-31.1	-38.8	-27.0	-35.4	-25.0	-19.8	-29.9	-33.3	-39.0	-29.5
1973	-31.7	7.5	2.6	1.2	-29.1	36.9	-11.8	-2.5	-19.9	-25.7	-16.6	-14.4	6.1	-15.2	6.0	-20.3	-16.2	-10.4	-0.4	-9.8	-22.6	-19.0
1974	62.9	107.1	91.4	73.1	59.4	110.9	95.5	76.1	116.1	86.5	93.1	70.0	74.8	78.9	50.5	61.6	61.6	110.0	54.2	81.4	77.5	101.2
1975	15.3	31.2	105.5	25.9	3.2	13.5	-12.9	2.9	55.4	33.6	20.6	7.4	14.9	58.1	-5.9	24.0	12.6	26.8	0.8	55.9	20.8	30.9
1976	-0.2	21.6	36.2	41.4	62.2	40.9	50.4	29.2	38.0	16.7	30.4	36.4	42.8	28.3	47.9	44.0	41.3	33.0	42.4	15.3	19.8	24.2
1977	-23.3	-28.6	-32.7	-11.5	5.8	-22.1	-19.8	29.6	-15.9	-16.8	-19.2	3.7	1.3	-39.8	9.2	-29.6	-11.8	-21.2	-14.7	-15.9	-21.3	-22.1
1978	23.9	29.3	44.9	58.3	18.8	50.1	57.0	37.0	51.9	26.8	27.3	52.9	42.6	37.1	51.7	29.2	33.2	49.4	49.8	65.3	62.5	53.0
1979	-31.3	-4.5	-17.5	7.4	27.0	17.4	-33.0	26.2	bd	15.3	-6.0	29.3	13.8	-16.1	39.0	-5.8	13.8	26.3	1.6	-4.4	21.9	3.0
1980	6.4	32.7	6.5	21.1	-6.4	1.9	47.3	-6.9	1.2	-9.1	10.4	8.9	-7.0	-5.9	-9.2	11.0	18.0	-6.3	-1.2	9.9	17.8	10.1
1981	39.5	20.3	72.2	37.7	5.8	96.6	16.7	29.2	47.4	54.5	4.4	58.6	34.6	40.2	29.8	16.6	19.9	71.9	38.8	49.5	77.7	85.6
1982	-58.7	-33.4	-44.5	-51.6	-68.6	-60.2	-39.4	-69.6	-67.7	-67.0	-56.0	-72.3	-66.2	-68.8	-63.3	-45.1	-68.6	-72.8	-73.2	-51.8	-68.4	-66.9
1983	-58.7	-50.9	-42.8	-43.1	-33.3	-37.5	-54.7	-31.9	-38.4	-40.3	-58.6	-62.8	-19.8	-32.0	-30.9	-54.0	-44.6	-48.5	-34.9	-60.8	-37.1	-53.2
1984	23.0	18.4	11.5	46.5	56.8	40.5	12.3	62.6	52.5	24.0	41.3	33.4	37.3	20.3	47.4	9.7	35.1	7.0	22.7	-7.8	39.0	27.4
1985	-51.7	-32.3	-53.1	-20.6	-46.9	-40.1	-44.8	-35.7	-48.9	-54.6	-43.1	-54.3	-46.7	-41.9	-41.6	-38.5	-28.5	-48.9	-49.9	-46.9	-31.5	-42.6
1986	-21.6	-36.0	-15.1	-24.4	-33.5	-12.4	-20.0	-36.5	-13.6	-19.3	-18.8	-19.7	-22.2	-17.5	-18.9	-19.9	-32.8	-28.0	-26.6	-39.6	-13.3	-28.8
1987	-15.7	-40.7	-0.5	19.7	29.5	18.6	-4.9	15.5	31.7	4.7	11.8	40.0	53.4	22.8	25.8	-3.2	9.1	7.9	20.7	-11.3	23.4	13.8
1988	-33.6	-39.4	-35.4	-21.3	-25.7	-11.2	-34.4	-26.5	-22.3	-16.4	-37.9	-30.8	-25.0	-32.8	-69.9	-44.4	-24.4	-18.7	-19.4	-41.7	-13.1	-38.4
1989	-4.2	-17.6	-30.6	-21.6	-29.6	-27.4	-11.4	-23.3	-8.2	-12.2	-23.0	-25.9	-27.2	-12.0	-43.3	-11.1	-23.8	-35.4	-22.7	-14.7	-12.3	-30.8
1990	56.4	26.3	26.1	23.6	50.1	41.6	27.1	17.7	21.8	33.0	21.4	46.9	44.2	38.1	52.5	26.5	34.5	20.5	23.8	42.7	39.4	20.0
1991	2.4	-22.8	3.0	-22.8	-1.6	-14.5	-6.9	1.7	2.4	8.3	-18.5	-2.2	-8.6	-5.3	-17.5	-6.7	-21.1	-7.7	7.2	-2.4	16.2	5.5
1992	32.1	11.7	8.8	11.7	-18.8	-14.0	46.2	-10.9	0.8	-17.8	32.1	-23.2	-5.5	-5.7	-34.5	19.0	23.0	-10.4	-18.3	23.4	4.9	-17.4
1993	4.5	-13.1	-27.4	-13.5	54.5	13.8	-39.9	57.6	1.1	8.5	2.2	25.0	24.3	16.1	46.1	-13.5	12.2	3.2	19.4	1.8	20.2	18.4
1994	31.0	35.5	15.0	-1.6	-9.0	-19.8	21.5	1.4	1.4	14.9	50.3	4.2	10.8	13.5	15.5	25.2	-0.7	-6.0	-2.3	45.9	13.1	4.7
1995	-8.8	-48.1	-42.4	-22.2	-0.6	-21.5	-3.0	-11.5	-10.6	-38.3	1.6	-27.7	12.9	-32.6	11.1	-19.4	-21.4	-26.7	-30.2	7.3	-6.0	-20.5
1996	52.3	38.9	23.0	17.0	24.2	-11.8	38.1	4.6	-2.4	-13.5	18.4	10.8	-0.7	-12.2	-5.2	32.8	11.6	-7.0	-8.9	63.7	2.7	-14.6
1997	23.1	-9.4	17.8	16.6	5.1	-3.1	8.2	-3.1	6.1	11.8	8.0	9.8	-0.4	23.9	1.6	10.6	25.0	2.2	-6.8	9.8	4.0	-7.2
1998	43.8	18.6	21.4	36.2	17.4	31.3	3.7	26.1	41.0	47.5	3.4	46.1	21.3	47.4	-43.5	20.2	25.3	67.4	45.8	14.2	34.6	47.0
1999	11.1	-6.1	5.3	-27.1	-27.3	-3.7	-13.0	-13.4	-10.2	13.7	-14.8	-20.8	-5.6	12.0	-35.2	-23.2	-21.4	2.1	-3.7	15.1	5.6	5.3
2000	1.6	-6.7	12.1	-6.3	-24.6	1.6	-19.8	-15.9	12.1	-6.4	-12.2	-11.4	-10.6	5.7	-35.4	12.3	0.9	-3.8	-19.0	-8.5	-8.4	-5.7
2001	27.2	-7.7	7.4	33.2	25.5	6.6	-11.4	10.2	17.3	1.5	-12.1	16.4	30.2	33.1	29.7	18.4	36.9	39.3	4.4	19.4	32.2	22.8
2002	25.0	29.7	0.6	14.5	23.7	-2.6	15.6	15.9	10.5	-9.1	16.6	8.4	36.0	17.8	-9.5	27.3	24.2	1.9	-14.8	11.8	11.2	6.3
2003	7.0	-3.9	-2.4	7.7	-34.5	-9.8	5.6	-20.9	-19.1	-42.0	23.1	-17.6	-14.7	4.6	-11.8	12.1	19.9	-20.7	-25.3	6.0	-16.4	-13.4
2004	8.5	-4.9	8.5	-2.5	-7.4	-10.7	-1.1	3.2	4.8	-6.6	-4.8	-19.9	7.9	18.8	-1.1	1.9	-7.8	-8.6	-5.3	-2.9	-12.2	0.2
2005	-56.5	-37.0	-60.7	-45.7	-59.0	-55.3	-45.9	-53.1	-49.7	-48.5	-62.1	-46.0	-54.1	-50.7	-39.1	-50.0	-46.5	-35.9	-47.9	-59.3	-42.2	-45.2
2006	25.8	-16.5	1.2	-23.4	-42.0	10.2	-1.0	-23.7	-11.1	4.9	-28.6	-8.2	-31.1	5.9	-42.1	-6.1	-17.1	-4.5	8.2	-12.7	2.3	8.9
2007	27.6	-4.2	8.8	-0.6	-15.0	-18.8	-23.2	-14.2	-5.8	-9.6	-18.5	-6.4	-7.2	14.0	-33.4	-6.4	-6.3	-18.1	-8.6	17.3	-7.6	-7.2
2008	2.6	6.7	-10.9	-23.5	-33.9	-21.0	-12.7	-22.8	-2.7	1.2	-33.7	-26.4	-27.3	-31.5	-20.8	1.1	-19.0	-15.1	-16.4	4.8	-28.0	-27.5
2009	27.8	24.4	14.2	13.8	1.9	-0.6	34.4	16.6	15.4	14.2	24.2	8.2	8.2	-3.0	-12.1	34.5	11.4	-1.4	9.5	26.8	-7.2	34.1
2010	26.0	12.0	12.2	20.9	44.0	14.8	39.6	46.0	37.1	53.2	47.9	33.3	63.4	35.8	79.2	26.9	38.2	33.0	69.0	10.8	21.2	24.7
2011	-59.8	-78.1	-69.7	-77.3	-64.6	-64.5	-70.8	-64.2	-67.6	-67.4	-81.4	-62.5	-57.7	-62.3	-80.2	-64.4	-69.3	-61.7	-64.9	-66.0	-69.7	-71.0
2012	22.7	20.8	8.8	-15.4	-6.8	-2.8	18.0	5.0	9.2	0.0	-8.7	6.0	-3.3	3.6	-6.5	9.8	-7.8	-6.5	-6.2	22.6	-3.9	6.7
2013	-17.1	3.5	-20.4	-16.4	5.3	-17.9	-0.7	-8.4	-16.0	-20.4	-6.8	-7.1	-14.6	-8.4	-0.7	-11.4	-0.9	-26.0	-20.9	-11.2	-20.3	-14.2
2014	9.4	-0.7	6.9	-27.4	-20.6	-6.2	-33.3	-28.6	-20.0	8.5	-37.1	-15.5	-36.5	-17.2	-40.1	-13.4	-30.7	0.9	-2.7	-3.6	-5.2	-8.6
2015	2.9	-0.8	-0.2	2.5	13.6	-30.1	16.4	9.0	-17.4	-2.8	5.9	25.1	4.4	-12.6	16.0	-9.5	0.2	-20.5	-6.4	-13.2	-11.9	-10.7

Summary

Precipitation has been analyzed by many scientists. The main aim of this study is to characterize precipitation against the background of atmospheric circulation in the Łódź Voivodeship and analysis of rainfall incidents on a local scale based on the network of measurement points in the Łódź agglomeration. Previous precipitation analyzes in this area will be extended and updated with the precipitation data from the beginning of the 21st century.

The distribution of average total precipitation in the period 1961-2015 shows their differentiation in the Łódź Province. The average annual total of precipitation in this multiannual period ranges from 550 mm in the north to 650 mm in the south of the study area. The highest precipitation occurs in July and the lowest in January. Precipitation varies considerably from season to season. The highest total occur in summer and are twice as high as in winter, which indicates a continental precipitation regime. Total precipitation in spring are characterized by the lowest spatial differentiation in the Łódź Province. Taking into account the precipitation efficiency (the average total per day with precipitation from all measurement points), it reached the highest values in the summer. Winter is characterized by twice lower values than in summer.

The high frequency of western advection of humid air masses from the Atlantic in the winter is the reason of the highest share of days with precipitation in the Łódź Voivodeship at this season.

The highest values of the 95th percentile occurred in summer due to the frequent occurrence of convective rainfall.

Percentage deviation from the average long term annual total precipitation in the Łódź Voivodeship ranged on average from -50% to 50%. Winter was characterized by certain, 2-3-year-long excesses and shortages of precipitation occurring alternately. Percentage deviations from the perennial average in winter, on average, are twice as high as the deviations of the long term average annual total. In spring, the longest period of low precipitation occurred from the beginning of the 1960s to the beginning of the 1990s. A longer period in summer with a deficit of rainfall was recorded from the beginning of 1980s to the beginning of 1990s. Summer rainfall above the norm occurred from the late 1960s to the early 1980s. In autumn, alternating decade-long excesses and shortages of precipitation were observed.

The standard deviation of precipitation in the Łódź Voivodeship tend to increase from north to south with the highest values in summer. The highest deviation values in summer

may be the result of the high frequency of convective precipitation in this season. In winter, in turn, the standard deviation was the lowest, which may be caused by frequent but not very heavy rainfall.

In winter, the lowest variation in the daily total precipitation was recorded in the Łódź Province, in the multiyear period 1961-2015. This is probably due to the high frequency of low intensity precipitation from stratified clouds at this season. In summer, the diversity was the greatest, which may be caused by high frequency of precipitation from the *Cumulonimbus* clouds, which characterized by a high intensity, but a small spatial extent.

In winter and spring in most parts of the Łódź Voivodeship an increase in the annual rainfall was noted, when in summer and autumn the trend was reversed.

In all seasons the highest average daily total precipitation occurred during cyclonal types. Winter was characterized by the highest daily rainfalls during atmospheric circulation type Wc (west cyclonic). In summer, the average daily total precipitation were twice as high as in winter and were characterized by the highest values during the SEc and SWc atmospheric circulation. In all seasons, during the anticyclonal types, the lowest average daily total precipitation occurred with the minimum in the Na type, which was caused by the low humidity of the Arctic air masses flowing in from the north. In the Łódź Voivodeship precipitation is most common during north-west, west and south-west advections, which shows the great influence of the Atlantic Ocean in generating precipitation. The lowest frequency is characteristic of precipitation during advection from the directions: NE, E and SE, depending on the season, the reason being dry continental air masses transferred from the above directions. Precipitation of 1,1-5,0 mm (light rainfall) prevails in the histogram for the frequency of the total precipitation during the year, especially clearly visible during winter and autumn. In summer there is an increase in frequency of moderate (5-10 mm) and strong (>10,0 mm) rainfall, compared with other seasons, which is caused by an increase in frequency of intense convective rainfall.

The probability of precipitation in the Łódź Voivodeship is the highest during cyclonic circulation in all seasons, which is influenced by the atmospheric fronts and connected with fronts precipitation. In winter, the highest values of the probability of precipitation occurred during types: Wc, NWc, Nc and NEc. In spring, the probability of precipitation was highest during types Wc and NWc. In summer, the rainfall was most likely to occur during the Ec type. In autumn, the probability of precipitation the highest during the Ec type, and then the highest amounts of precipitation were also obtained. Anticyclonic types were characterized by the lowest probability of precipitation in the Łódź Voivodeship with the minimum during the

SEa type in spring, summer and autumn and the Sa type in winter. The influx of dry air masses from Asia Minor is not conducive for precipitation. In winter the highest probability of very light rainfall (0,1-1,0 mm) is visible, with maximum values during advection from the west. In all seasons, the lowest probability is characterized by the moderate (5,1-10,0 mm) and strong (>10,0 mm) precipitation, the highest values of which occur in summer. The greatest correlation between the occurrence of circulation macrotypes (NAO, EA, EA/WR, SCA and POL) with precipitation in the Łódź Voivodeship was recorded in autumn and winter. The SCA and POL macrotypes have the strongest impact on the average precipitation total in the Łódź Voivodeship, the weakest the EA/WR type. Weak correlations prevailed.

On the basis of selected rainfall incidents in the Łódź agglomeration, it was found that the rainfall genesis is the decisive factor that affects the precipitation intensity course. It was shown that the course of the precipitation layer from stratiform clouds was uniform. In the case of *Cumulonimbus* clouds, the course of the precipitation layer was more dynamic and the highest increases in the precipitation layer occurred from 30 to 75% of its duration.

During selected rainfall incidents in the area of Łódź, during the advections from selected directions (NW, W and SW) within 60 minutes, a clear differentiation of the spatial and temporal distribution of the average percentage of rainfall is observed. The highest average percentage of rainfall occurs on the leeward side of the city during the advection from the analyzed directions. During the influx of air masses from the west the highest rainfall intensity is in the eastern part of Łódź during 35-40 minutes of rainfall duration, in the case of advection of air masses from the south-west it is eastern or north-eastern part of the city during 40-45 and 45-50 minutes of rainfall duration, and in the north-west advection southern part of Łódź in 15-20 minutes of rainfall duration.

In the cool half-year during the influx of air masses from the most rainy directions (NW, S and SW) the highest values of the 95th percentile of the daily total precipitation were observed from the western and north-western part of Łódź and NW advection. In the warm half-year, the highest values of the 95th percentile occurred during the SW advections in the western, eastern and southern part of the city. In the peripheral zones of the city, the highest values of the 95th percentile of the daily total precipitation were observed, while in its center its lowest values were usually recorded.

The increase in the average of the annual air temperature in Poland causes a decrease in a frequency of long term rainfall, and consequently the phenomenon of drought has intensified in recent years. At the same time, an intensification of the intensive rainfall is observed, especially in summer. The dynamism of the above phenomena in recent years

suggest that it is important to extent the analyzes of precipitation based on data from the beginning of the 21st century, which this work supplements.