

Wojciech RADZIUN

Katedra Meteorologii i Klimatologii – Uniwersytet Łódzki

## ZWIĄZEK WYSTĘPOWANIA OPADÓW Z CYRKULACJĄ ATMOSFERYCZNĄ W ŚRODKOWEJ POLSCE (1961-2015)

### PRECIPITATION IN REFERENCE TO ATMOSPHERIC CIRCULATION IN CENTRAL POLAND (1961-2015)

Opady atmosferyczne to jeden z fundamentalnych elementów klimatu danego obszaru. Na ich zmienność i dynamikę wpływa wiele czynników. Za jeden z najważniejszych jest uważana cyrkulacja atmosferyczna (Kozuchowski, Marciniak, 1988; Twardosz, 2000; Wibig, 2000; Piotrowski, 2004, 2009; Twardosz, Cebulska, 2014; Jędruszkiewicz, Zieliński, 2016; Kozuchowski, 2016). Celem niniejszej pracy jest znalezienie odpowiedzi na pytanie, w jakim stopniu cyrkulacja atmosferyczna kształtuje zmienność sum opadów atmosferycznych w środkowej Polsce (województwo łódzkie) w różnych skalach czasowych.

Badany obszar charakteryzuje się kontynentalno-morskim reżimem opadowym (Chomicz, 1971). W latach 1903-2003 średnia roczna suma opadów w Łodzi wyniosła 578 mm, najwięcej opadów wystąpiło latem – 221 mm, z maksymalnymi opadami w lipcu – 91,4 mm. Opady zimą są o połowę niższe niż w lecie, średnio wynoszą 105 mm (Siedlecki, Pawlak, 2004).

Cyrkulacja atmosferyczna może znacząco wpływać na wielkość opadów. Na przykładzie Łodzi stwierdzono, że dużo silniejszy wpływ na wysokie opady atmosferyczne ma typ cyrkulacji niż kierunek adwekcji mas powietrza (Wibig, 1998). Wysokie dobowe sumy opadów (>10 mm) występują najczęściej podczas typu cyrkulacji cyklonalnej północnej bądź północno-wschodniej (Wibig, Foruniak, 1998). Za najwyższe dobowe sumy opadów atmosferycznych w Łodzi jest bardzo często odpowiedzialna zatoka niskiego ciśnienia z towarzyszącym jej

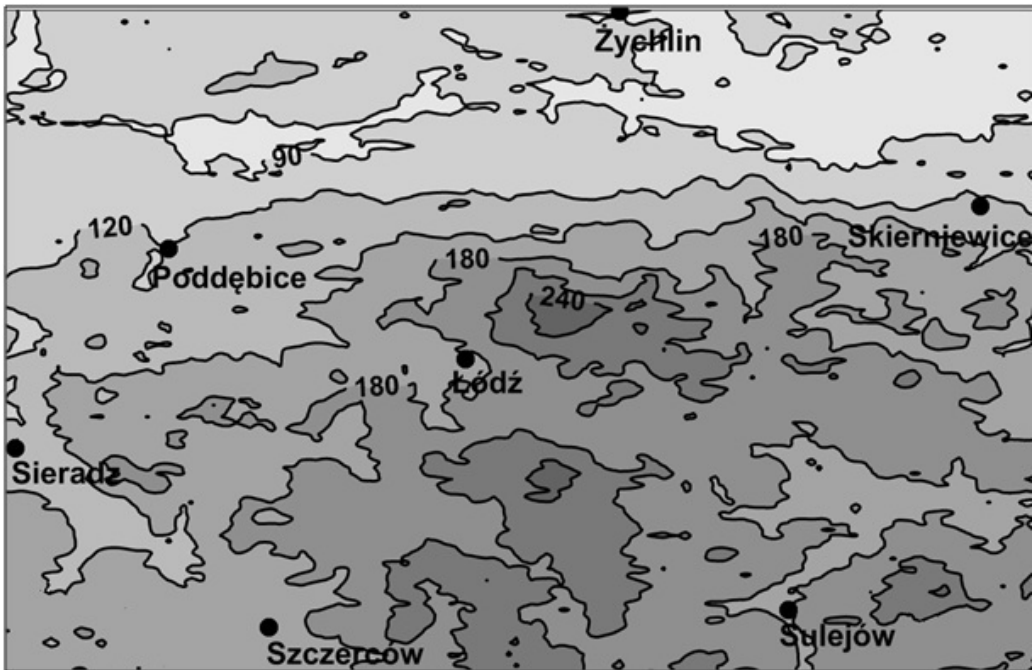
frontem chłodnym (Rzepa, 2004). Zauważono wpływ typu cyrkulacji atmosferycznej i kierunku adwekcji mas powietrza na zmienność dobową opadu na przykładzie Krakowa (Twardosz, 2000). Opady o dużym natężeniu wynikają nie tylko z dostatecznej zawartości wody w atmosferze, ale największe oddziaływanie ma układ cyrkulacyjny, który zapewnia stały dopływ pary wodnej, a następnie jej kondensację (Kožuchowski, 2016). Na powstanie opadu atmosferycznego może mieć także wpływ ukształtowanie terenu. W przypadku województwa łódzkiego, które wchodzi w skład Nizin Środkowych (Kłysik, 2001), z pozornie monotonną orografią terenu, istotną rolę w intensyfikowaniu opadu zdają się odgrywać Wzniesienia Łódzkie, położone na północo-wschód od Łodzi (Jędruszkiewicz, Zieliński, 2016). Obszar ten, również potocznie zwany Wyżyną Łódzką, w najwyższym punkcie, nieopodal wsi Dąbrowa, liczy 282,9 m n.p.m., a wysokości względne nierzadko osiągają blisko 200 m (Moniewski, 1997).

Celem opracowania jest ocena zmienności opadów atmosferycznych w różnych skalach czasowych w środkowej Polsce, określenie sezonowych sum opadów atmosferycznych w zależności od typu cyrkulacji oraz określenie typu cyrkulacji o największym prawdopodobieństwie wystąpienia opadu.

## Metody opracowania

W pracy wykorzystano dobowe sumy opadów atmosferycznych z lat 1961-2015 pochodzące z 7 stacji meteorologicznych IMGW: Szczerców, Poddębice, Skierniewice, Sieradz, Żychlin, Sulejów i Łódź. Na ich podstawie policzono miesięczne sumy opadów z dni z danym typem cyrkulacji atmosferycznej. Punkty pomiarowe znajdowały się na różnej wysokości nad poziomem morza, zaczynając od najniższej położonego: Żychlin (99,3 m), Skierniewice (112,5 m), Poddębice (125,5 m), Sieradz (137,5 m), Sulejów (167,8 m), Szczerców (169,4 m) i Łódź (206 m) (rys. 1).

Do analizy zmienności opadów atmosferycznych i ich związku z typami cyrkulacji atmosferycznej zastosowano kalendarz typów cyrkulacji atmosferycznej opracowany przez Piotrowskiego (2009). Kalendarz jest oparty na automatycznej metodzie klasyfikacji cyrkulacji atmosferycznej według Jenkinsa i Collisona (1977). Aby uzyskać dany typ cyrkulacji, wykorzystano średnie dobowe wartości ciśnienia atmosferycznego na poziomie morza. Na ich podstawie obliczono wirowość ścięcia wiatru geostroficznego i jego kierunek. Pierwszy ze wskaźników opisujący charakter cyrkulacji – wartość dodatnia wskazuje na charakter cyklonalny, a wartość ujemna na typ antycyklonalny. Drugi wskaźnik – pozwala wyznaczyć kierunek napływu mas powietrza. Do oceny warunków cyrkulacyjnych w opracowaniu wykorzystano łącznie 16 typów cyrkulacji atmosferycznej – 8 typów o charakterze cyklonalnym: Nc, NEc, Ec, SEc, Sc, SWc, Wc i NWc oraz 8 o charakterze antycyklonalnym: Na, NEa, Ea, SEa, Sa, SWa, Wa i Nwa.



Rys. 1. Lokalizacja punktów pomiarowych

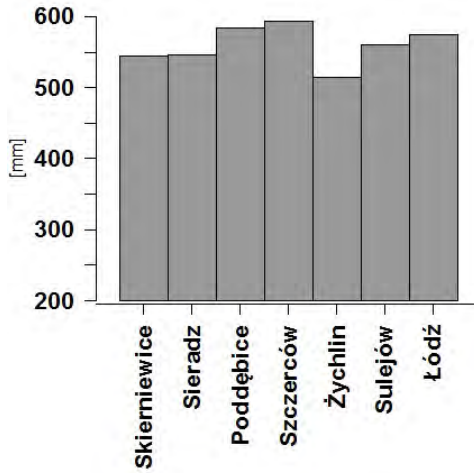
Fig. 1. Location of measurements points

Należy zauważyć, że istotny wpływ na wysokość opadów ma także ich częstość, inaczej mówiąc – liczba dni z opadem, która największe wartości w Polsce osiąga w grudniu bądź styczniu, a drugie maksimum częstości występuje w czerwcu lub lipcu. Najmniejszą częstością dni z opadem charakteryzuje się wiosna, a także sierpień i październik (Kozuchowski, 2015). Największa częstość dni z opadem w Łodzi występuje zimą (48,3), a najmniejszą częstością (38,7) charakteryzuje się wiosna (Podstawczyńska, 2008).

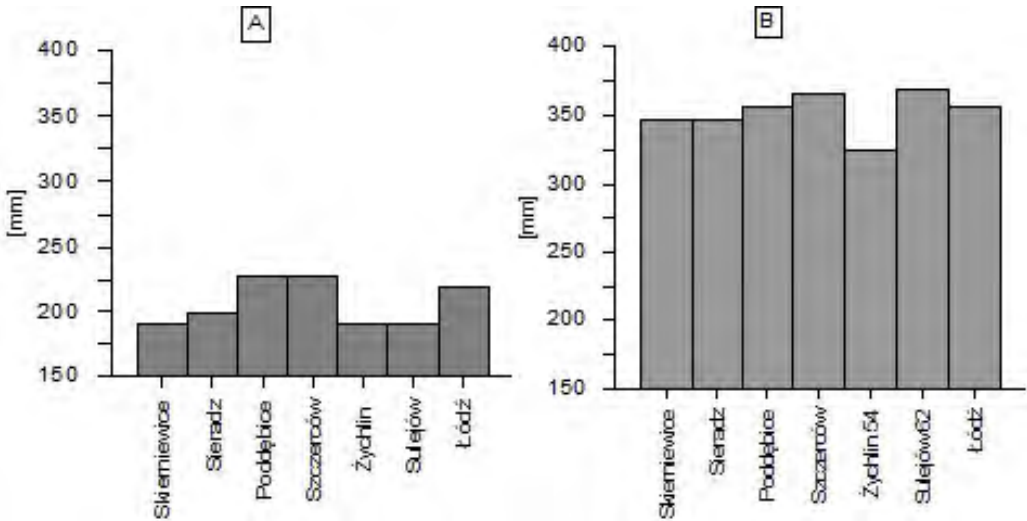
## Sumy opadów atmosferycznych

### Średnie roczne, półroczne, sezonowe

Średnia roczna suma opadów w okresie 1961-2015 w środkowej Polsce jest mało zróżnicowana, wynosi od 515 do 594 mm (rys.2). Najwyższe sumy 594 i 584 mm występowały w zachodniej i południowej części obszaru (Szczerców i Poddębice) (rys. 2).



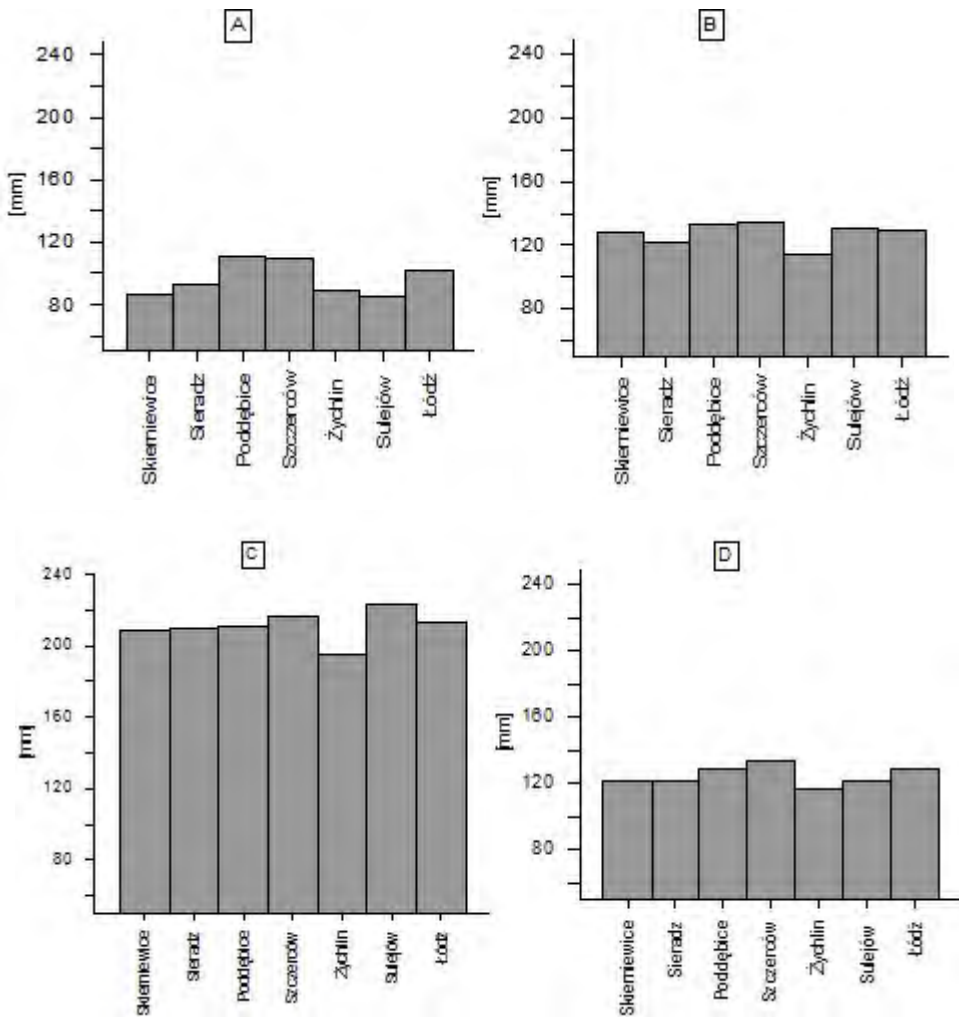
Rys. 2. Średnia roczna suma opadów atmosferycznych w okresie 1961-2015  
 Fig. 2. Mean annual precipitation at selected stations over the years 1961-2015



Rys. 3. Średnie sumy opadów atmosferycznych w półroczu chłodnym (A) oraz ciepłym (B) (1961-2015)  
 Fig. 3. Mean total precipitation for the cool season (A) and the warm season (B) at selected stations over the years 1961-2015

Najniższe opady (515 mm) występują w Żychlinie 540 mm (rys. 2). Rozkład rocznych sum opadów jest mniej więcej równoleżnikowy. Opady wzrastają z północy ku południowi.

Średnia suma opadów atmosferycznych w **półroczu ciepłym** jest średnio 50% wyższa niż w **półroczu chłodnym**. Najwyższe opady występują w południowo-



Rys. 4. Średnie sumy opadów atmosferycznych w poszczególnych porach roku: zima (A), wiosna (B), lato (C), jesień (D) (1961-2015)

Fig. 4. Mean total precipitation for winter (A), spring (B), summer (C), autumn (D) at selected stations over the years 1961-2015

-zachodniej części rozpatrywanego obszaru, w półroczu chłodnym 228 i 227 mm (Szczerców i Poddębice) (rys.3b) i w półroczu ciepłym 366 i 369 mm (Szczerców i Sulejów), 357 mm (Poddębice) (rys.3b). W północnej części badanego obszaru, w Żychlinie występują najniższe opady 190 mm w półroczu chłodnym (rys.3a) i 325 mm w półroczu ciepłym (rys.3b). Niskie opady w półroczu chłodnym – 191 mm występują w Sulejowie.

Najwyższe średnie sezonowe opady atmosferyczne wystąpiły **latem**, z maksymalną wartością 223 mm w Sulejowie. Latem na całym badanym obszarze średnie opady oscylują od 195 do 223 mm, jedynie w Żychlinie wynoszą 195 mm (rys. 4c). Najniższe sezonowe opady stwierdzono **zimą**, z minimalną wartością w Sulejowie 85 mm (rys. 4a). W tej porze roku najwyższe opady wystąpiły w Poddębicach i Szczercowie (110 mm). Średnie opady w porze zimowej na całym obszarze wyniosły 97 mm (rys. 4a). Opady **wiosną** i **jesienią** są bardzo zbliżone, maksymalne sumy sezonowe nie przekraczają 134 mm (Szczerców) i są słabo zróżnicowane między poszczególnymi stacjami (rys. 4 b, d).

### Średnie sezonowe sumy opadów w różnych typach cyrkulacji

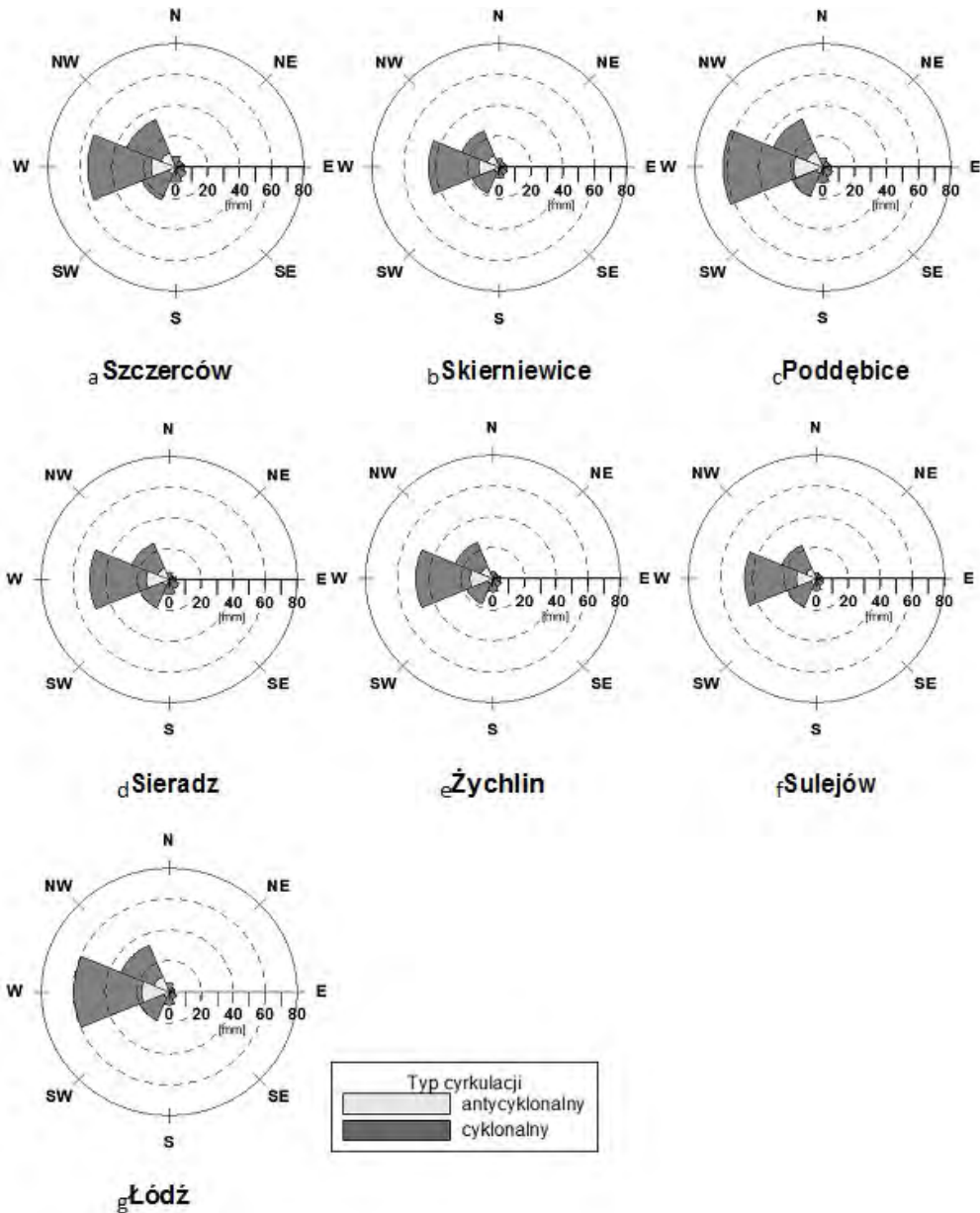
**W zimie** w środkowej Polsce stwierdzono najwyższe sumy opadów podczas cyrkulacji cyklonalnej (rys. 5). Podczas cyrkulacji antycyklonalnej opady wystąpiły przy adwekcji z kierunków NW i W, kiedy nie przekroczyły odpowiednio 10 mm i 20 mm na żadnej uwzględnionej stacji (rys.5). Na wszystkich stacjach najwyższe opady atmosferyczne występują podczas adwekcji z sektorów: W, z maksimum 60 mm w Łodzi i 55 mm w Szczercowie (rys. 5a, g) oraz NW, z najwyższą sumą 33 mm w Łodzi i Szczercowie (rys. 5 c, g, a). Znaczne opady związane są także z cyrkulacją SW, podczas której na uwzględnionych stacjach średnie opady wyniosły od 18 mm w Skierniewicach i Żychlinie do 23 mm w Szczercowie (rys.5a). Podczas pozostałych typów cyrkulacji sumy opadów były mniejsze i bardzo zbliżone na całym badanym obszarze.

**Wiosną** najwyższe opady atmosferyczne wystąpiły podczas adwekcji z sektora W i wahały się od 33 mm (Żychlin) do 40 i 41 mm (Szczerców i Łódź) (rys. 6a, e, g). Warto zwrócić uwagę na napływ mas z kierunku SW, kiedy to maksymalne opady wyniosły 33 mm w Łodzi (rys. 6g). Poza tym wyższe opady niż przy do pozostałych kierunkach stwierdzono podczas cyrkulacji NW, z najwyższą wartością 22 mm w Poddębicach i Łodzi (rys. 6 c, g). Należy zauważyć, że podczas cyrkulacji cyklonalnej średnie sumy nie były niższe niż 10 mm. Najniższe opady na wiosnę pojawiały się podczas adwekcji z kierunku północnego i wahały się od 10 mm w Poddębicach i Łodzi (rys. 6c, g) do 15 mm w Skierniewicach (rys. 6b).

W przypadku cyrkulacji o charakterze antycyklonalnym średnie sumy opadów wahały się od 1 mm podczas napływu mas powietrza z kierunku północnego do 11 mm przy adwekcji z zachodu (rys. 6). Nie zaobserwowano znaczących różnic sumy opadów między stacjami (rys. 6).

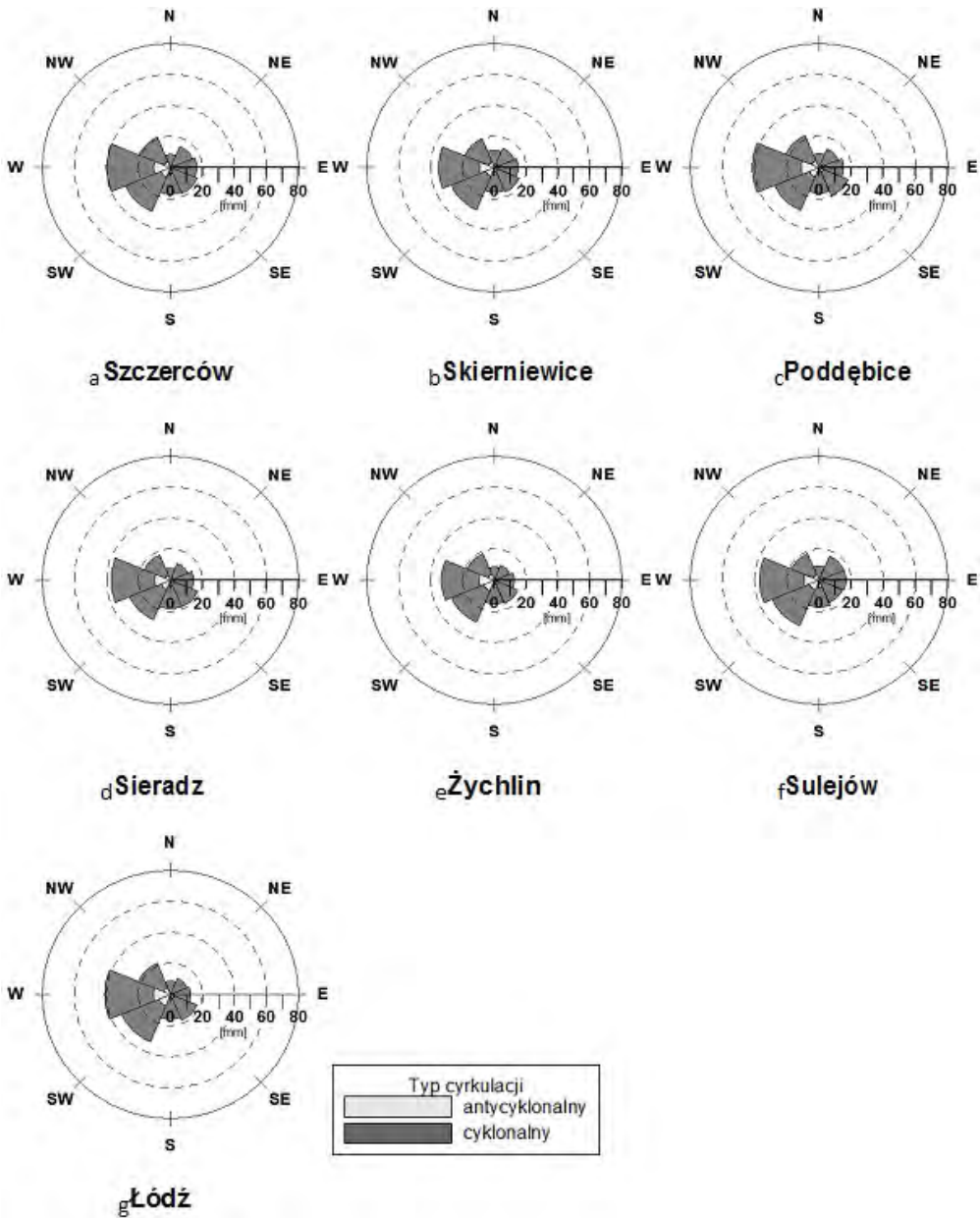
**W porze letniej** występują najwyższe w porównaniu z innymi porami roku opady. Największe sumy stwierdzono podczas adwekcji z zachodu i południo-zachodu, na każdej ze stacji przekroczyły 60 mm (rys. 7). Maksimum wystąpiło w Szczercowie (78 mm) i Łodzi (73 mm) podczas cyrkulacji SW (rys. 8 a, g),





Rys. 5. Średnia suma opadów atmosferycznych zimą w zależności od typu cyrkulacji atmosferycznej na stacjach: Szczerców (a), Skierniewice (b), Poddębice (c), Sieradz (d), Żychlin (e), Sulejów (f), Łódź (g) (1961-2015)

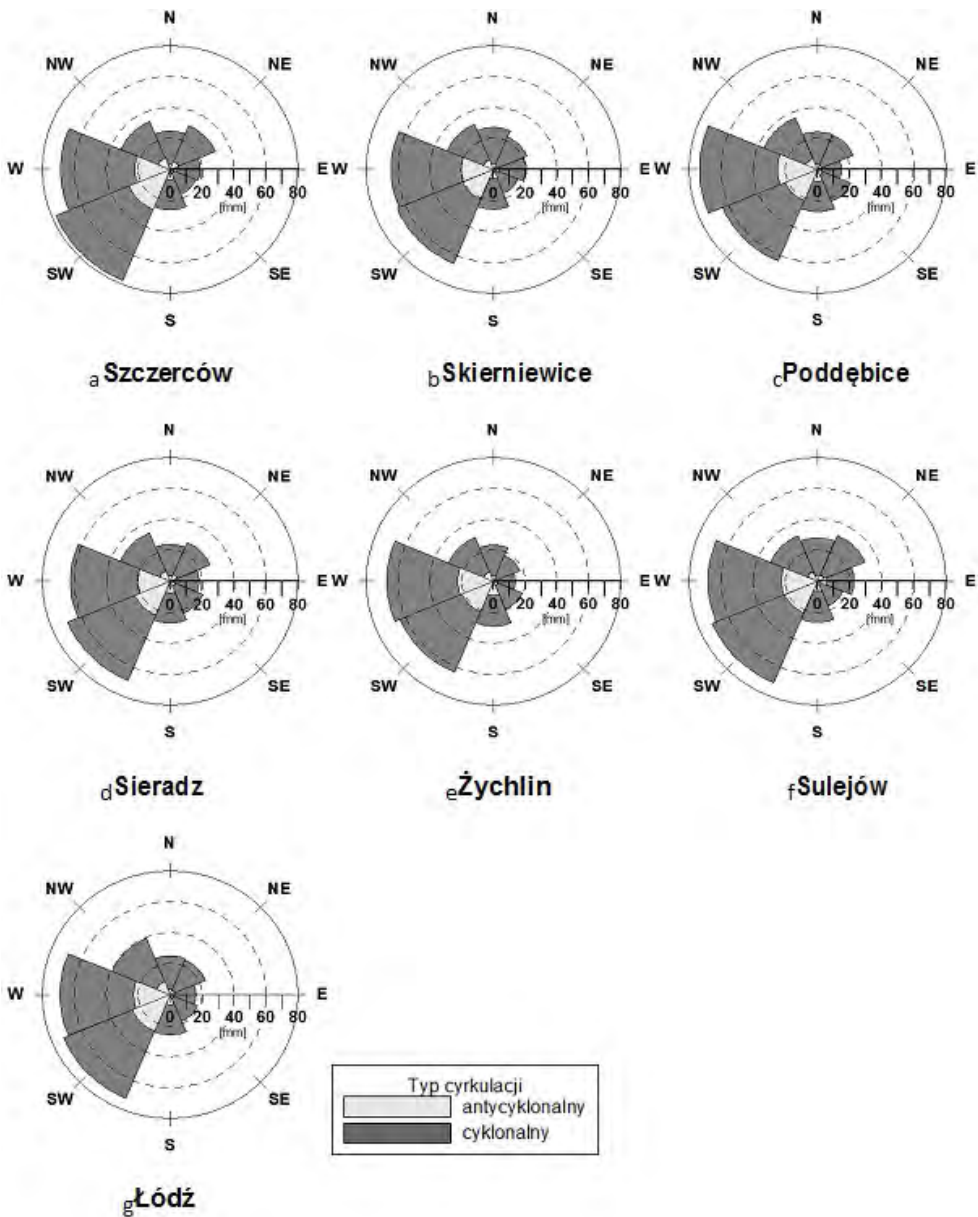
Fig. 5. Mean total precipitation in winter in relation to the type of atmospheric circulation at selected stations: Szczerców (a), Skierniewice (b), Poddębice (c), Sieradz (d), Żychlin (e), Sulejów (f), Łódź (g) over the years 1961-2015



Rys. 6. Średnia suma opadów atmosferycznych wiosną, w zależności od typu cyrkulacji atmosferycznej w okresie 1961-2015 na wybranych stacjach: Szczerców (a), Skierniewice (b), Poddębice (c), Sieradz (d), Żychlin (e), Sulejów (f), Łódź (g)

Fig. 6. Mean total precipitation in spring in relation to the type of atmospheric circulation at selected stations: Szczerców (a), Skierniewice (b), Poddębice (c), Sieradz (d), Żychlin (e), Sulejów (f), Łódź (g) over the years 1961-2015





Rys. 7. Średnia suma opadów atmosferycznych latem w zależności od typu cyrkulacji atmosferycznej na stacjach: Szczerców (a), Skierniewice (b), Poddębice (c), Sieradz (d), Żychlin (e), Sulejów (f), Łódź (g) (1961-2015)

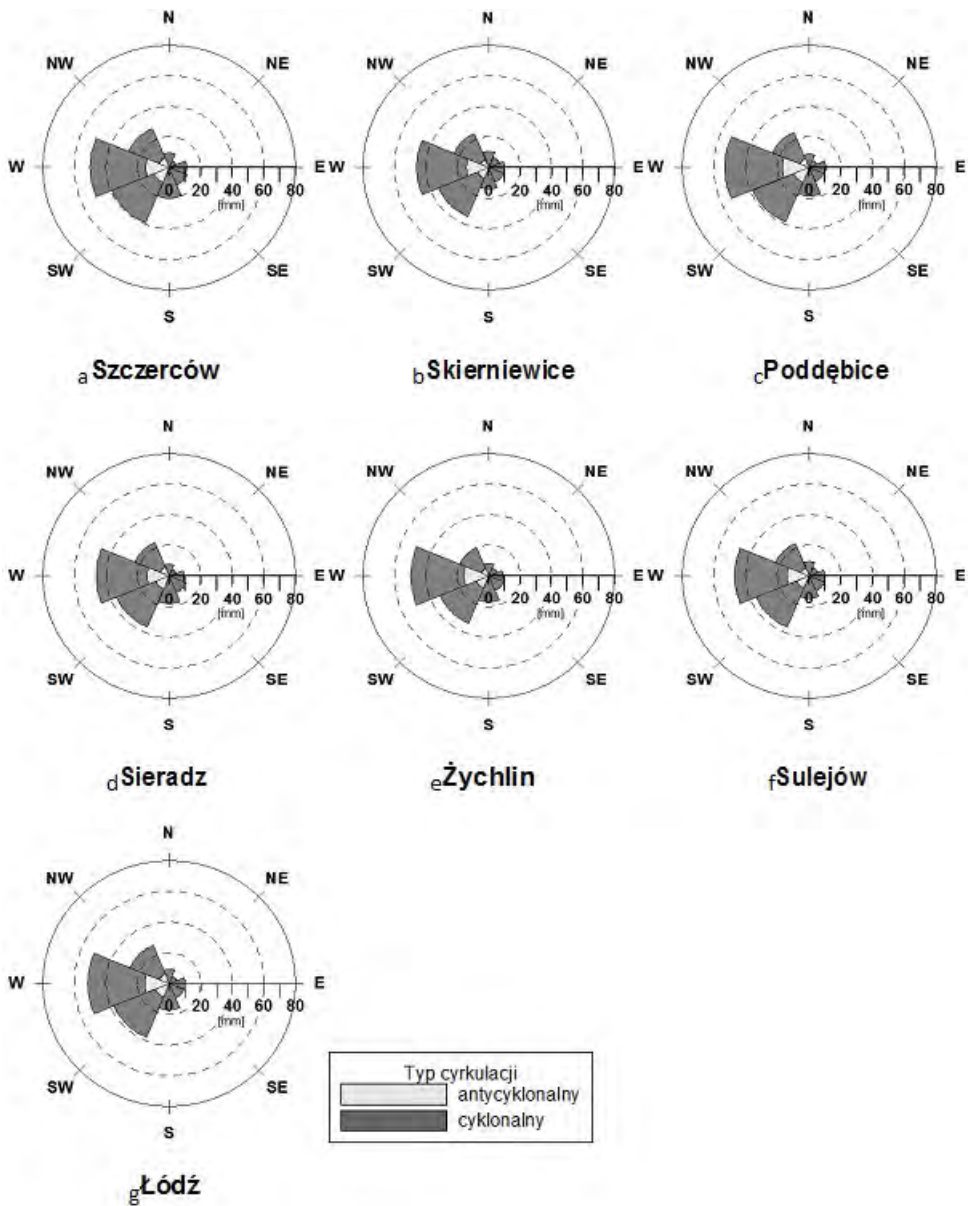
Fig. 7. Mean total precipitation in summer in relation to the type of atmospheric circulation at selected stations: Szczerców (a), Skierniewice (b), Poddębice (c), Sieradz (d), Żychlin (e), Sulejów (f), Łódź (g) over the years 1961-2015

w Poddębicach (73 mm) oraz Łodzi (69 mm) podczas cyrkulacji W (rys.7 c, g). Stosunkowo wysokie są również opady przy cyrkulacji z kierunku NW, w Łodzi ich średnia sezonowa wartość wyniosła 39 mm (rys. 7 g). Podczas adwekcji z pozostałych kierunków adwekcji opady były wyraźnie niższe (rys. 7). Najniższe opady były podczas cyrkulacji wschodniej i południowo-wschodniej kiedy na żadnej ze stacji, nie przekraczały 20 mm (rys. 7). W lecie zróżnicowanie sum opadów w środkowej części Polski jest niewielkie, nieznacznie wyższe opady w Szczercowie, Poddębicach i Łodzi wystąpiły podczas adwekcji z W, SW i NW (rys. 7a, c g).

**Jesienią** podczas dni z opadem występuje wyraźna dominacja układów cyklonalnych w stosunku do antycyklonalnych, w proporcji 5:1 na korzyść tych pierwszych. Podczas cyrkulacji antycyklonalnej z kierunków N-E-S średnie sezonowe opady atmosferyczne były niewielkie i wahały się od 1 mm do 3 mm na wszystkich stacjach (rys. 8). W środkowej Polsce w porze jesiennej średnio najwięcej opadów spadło podczas adwekcji z kierunków zachodnich: W, SW i NW (rys. 8). Najwyższe opady występowały w zachodniej i środkowej części badanego obszaru. Podczas cyrkulacji zachodniej na stacjach w Poddębicach, Łodzi i Szczercowie stwierdzono odpowiednio 53, 52 i 50 mm opadu (rys. 8 c, g, a). Wysokie sumy wystąpiły również podczas adwekcji z SW (Szczerców – 37 mm, Poddębice, Łódź po 38 mm) i NW; opady wahały się wówczas od 20 mm w Żychlinie do 28 mm w Szczercowie (rys. 8 a, e). Przy adwekcji z sektora południowego opady nie przekroczyły 20 mm na żadnej ze stacji. Najniższe opady atmosferyczne stwierdzono na północnej i wschodniej części uwzględnianego obszaru (Skierniewice, Żychlin, Sulejów) – średnio niższe o ok. 10 mm niż na pozostałych stacjach (rys. 8 b, e, f). Najniższe opady atmosferyczne wystąpiły przy napływie mas powietrza z kierunków: N, NE, E i SE. Sumy opadów wówczas nie przekroczyły 10 mm, a podczas adwekcji NE nawet 5 mm (rys. 8).

### **Prawdopodobieństwo warunkowe wystąpienia opadów atmosferycznych w zależności od typu cyrkulacji atmosferycznej (1961-2015)**

**Zimą** najwyższe prawdopodobieństwo wystąpienia opadów atmosferycznych stwierdzono podczas cyrkulacji cyklonalnej. Jego wartość nie spadła poniżej 50% na całym uwzględnionym obszarze, niezależnie od kierunku adwekcji (rys. 9). Najwyższe wartości, ok. 80%, stwierdzono podczas adwekcji z kierunków NW i W (rys. 9). Prawdopodobieństwo wystąpienia opadu podczas adwekcji z N i S jest również znaczne i przekracza na wielu stacjach 60%, a w Łodzi nawet 80% (rys. 9, 9g). Najniższym prawdopodobieństwem cechują się typy S i SW (poniżej 60%). Najmniejsze prawdopodobieństwo wystąpiło w Żychlinie, a najwyższe w Łodzi (rys. 9e, g). Między pozostałymi stacjami nie było znaczących różnic.



Rys. 8. Średnia suma opadów atmosferycznych jesienią w zależności od typu cyrkulacji atmosferycznej na stacjach: Szczerców (a), Skierniewice (b), Poddębice (c), Sieradz (d), Żychlin (e), Sulejów (f), Łódź (g) (1961-2015)

Fig. 8. Mean total precipitation in autumn in relation to the type of atmospheric circulation at selected stations: Szczerców (a), Skierniewice (b), Poddębice (c), Sieradz (d), Żychlin (e), Sulejów (f), Łódź (g) over the years 1961-2015

W przypadku cyrkulacji antycyklonalnej najwyższe prawdopodobieństwo wystąpienia opadu przekracza 50% podczas adwekcji z N, NW i W, natomiast najniższe (nieprzekraczające 20%) zachodzi podczas napływu mas powietrza z kierunków NE, E, SE i S (rys. 9). Ogólnie nie stwierdzono wyraźnych różnic w prawdopodobieństwie wystąpienia opadu w środkowej Polsce. Jedynie Żychlin cechuje się niższymi wartościami, średnio o ok. 5% (rys. 9e).

Prawdopodobieństwo wystąpienia opadu podczas typu antycyklonalnego jest ok. 6-krotnie większe z sektora zachodniego niż wschodniego (rys. 9). Podczas typów cyklonalnych nie ma aż tak wyraźnej dysproporcji (rys. 9).

**Wiosną** największe prawdopodobieństwo wystąpienia opadów atmosferycznych występuje podczas typów cyklonalnych (rys. 10). Najwyższe wartości są związane z napływem mas powietrza z NW, W i SW – powyżej 70% na wszystkich stacjach, z maksimum 80% w Łodzi podczas adwekcji z kierunku W (rys. 10g). Najmniejsze prawdopodobieństwo zachodzi podczas adwekcji NE, E, SE i S – poniżej 60% (rys. 10).

Nieznacznie większe prawdopodobieństwo pojawienia się opadu można zauważyć w Łodzi, a najniższe w Żychlinie (rys. 10e, g). Na pozostałych stacjach wartości prawdopodobieństwa są do siebie zbliżone (rys. 10).

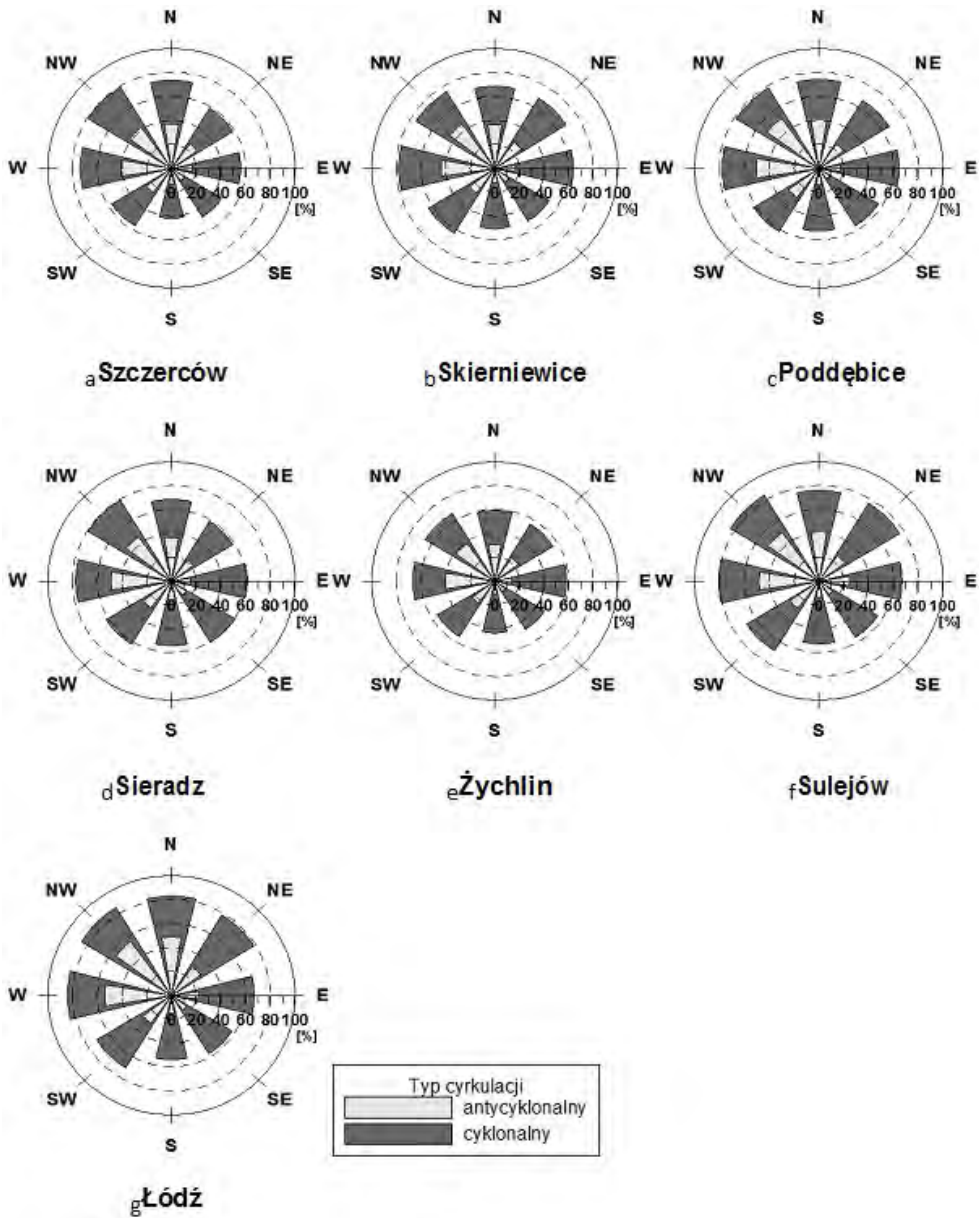
Zdecydowanie mniejsze prawdopodobieństwo wystąpienia opadów atmosferycznych stwierdzono podczas cyrkulacji antycyklonalnej, podczas której najwyższe wartości (40%) wystąpiły podczas cyrkulacji zachodniej (rys. 10). Nieco mniejsze prawdopodobieństwo (ok. 30%) było związane z adwekcją NW i SW, a najmniejsze z adwekcją z kierunków NE, E i SE, kiedy nie przekroczyło 10% na żadnej ze stacji.

Podczas cyrkulacji antycyklonalnej stwierdzono blisko 5-krotnie większe prawdopodobieństwo opadów podczas adwekcji z sektora zachodniego niż z kierunku wschodniego (rys. 10).

**W lecie** największe prawdopodobieństwo opadu zachodzi podczas cyrkulacji cyklonalnej z kierunku SW – 80% (z wyjątkiem Szczercowa) (rys. 11). Najniższym prawdopodobieństwem wystąpienia opadu podczas cyrkulacji cyklonalnej (nieprzekraczającym 60%) na wszystkich stacjach wyróżnia się typ cyrkulacji wschodniej.

Nieznacznie wyższe prawdopodobieństwo wystąpienia opadów w stosunku do pozostałych stacji stwierdzono w Łodzi i Sulejowie (rys. 11 f, g), a najniższe w Poddębicach i Żychlinie (rys. 11 c, e) – średnie różnice są mniejsze niż 5%.

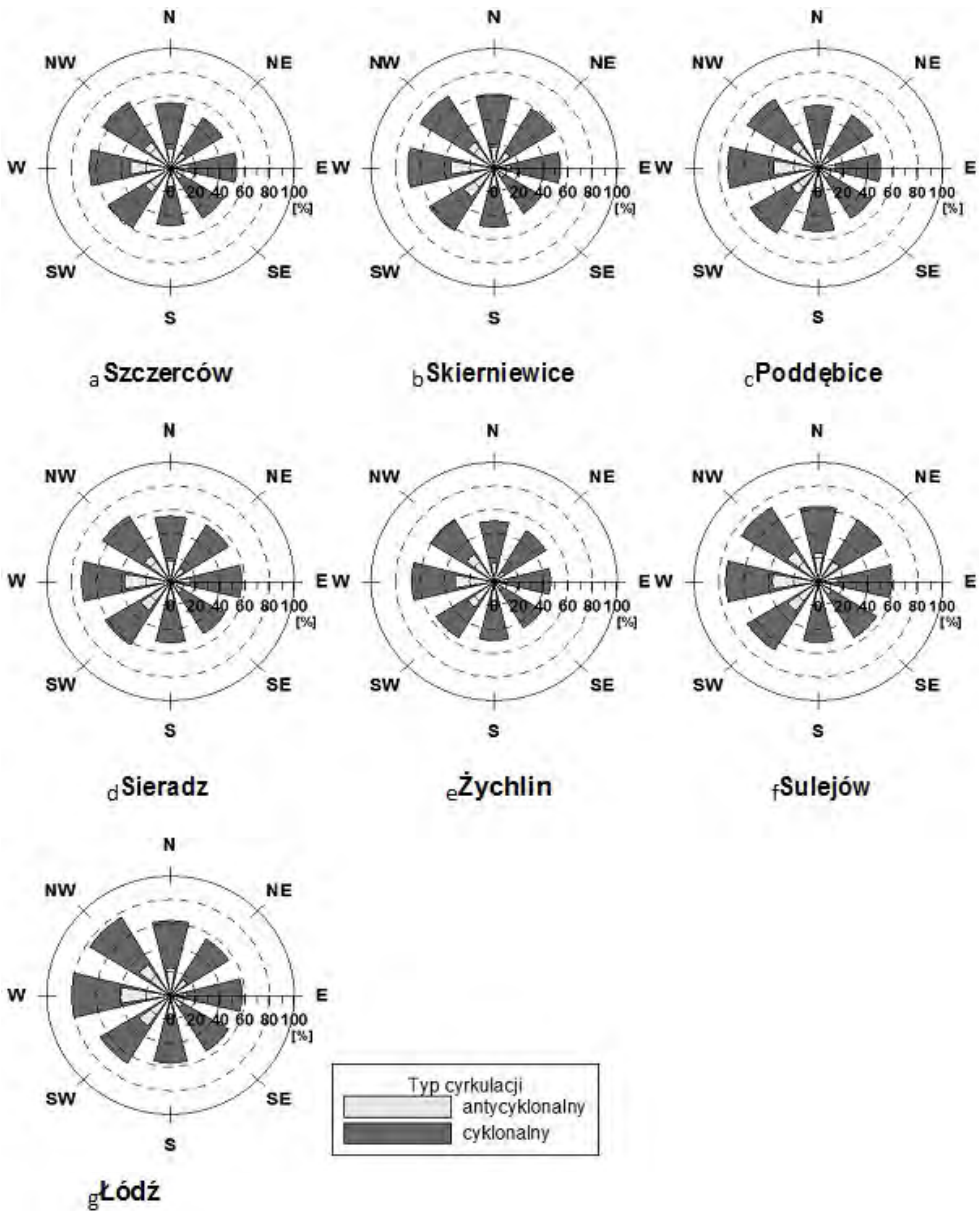
W przypadku cyrkulacji antycyklonalnej zróżnicowanie prawdopodobieństwa między stacjami jest nieznaczne. Najwyższe prawdopodobieństwo opadu jest powiązane z cyrkulacją z kierunków SW i W; nie przekracza ono 45%, co oznacza, że jest prawie o połowę mniejsze w porównaniu do opadu podczas cyrkulacji cyklonalnej z tych kierunków (rys. 11). Prawdopodobieństwo jest najmniejsze podczas cyrkulacji antycyklonalnej E, kiedy nie przekracza 10%. Latem prawdo-



Rys. 9. Prawdopodobieństwo wystąpienia opadów atmosferycznych w zimie w zależności od typu cyrkulacji atmosferycznej na stacjach: Szczerców (a), Skierniewice (b), Poddębice (c), Sieradz (d), Żychlin (e), Sulejów (f), Łódź (g) (1961-2015)

Fig. 9. Probability of precipitation in winter season in relation to the type of atmospheric circulation at selected stations: Szczerców (a), Skierniewice (b), Poddębice (c), Sieradz (d), Żychlin (e), Sulejów (f), Łódź (g) over the years 1961-2015

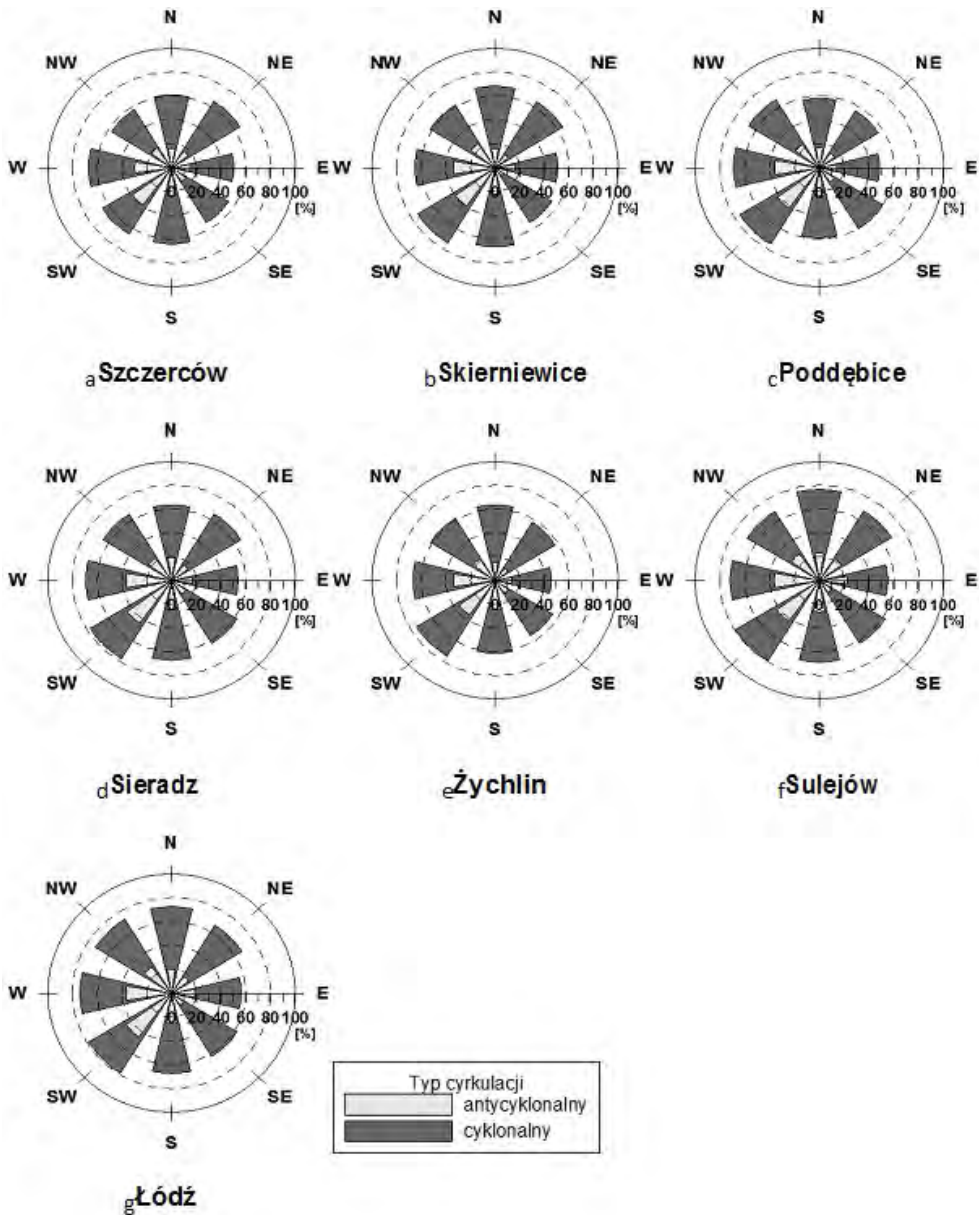




Rys. 10. Prawdopodobieństwo wystąpienia opadów atmosferycznych w sezonie wiosennym w zależności od typu cyrkulacji atmosferycznej na stacjach: Szczerców (a), Skierniewice (b), Poddębice (c), Sieradz (d), Żychlin (e), Sulejów (f), Łódź (g) (1961-2015)

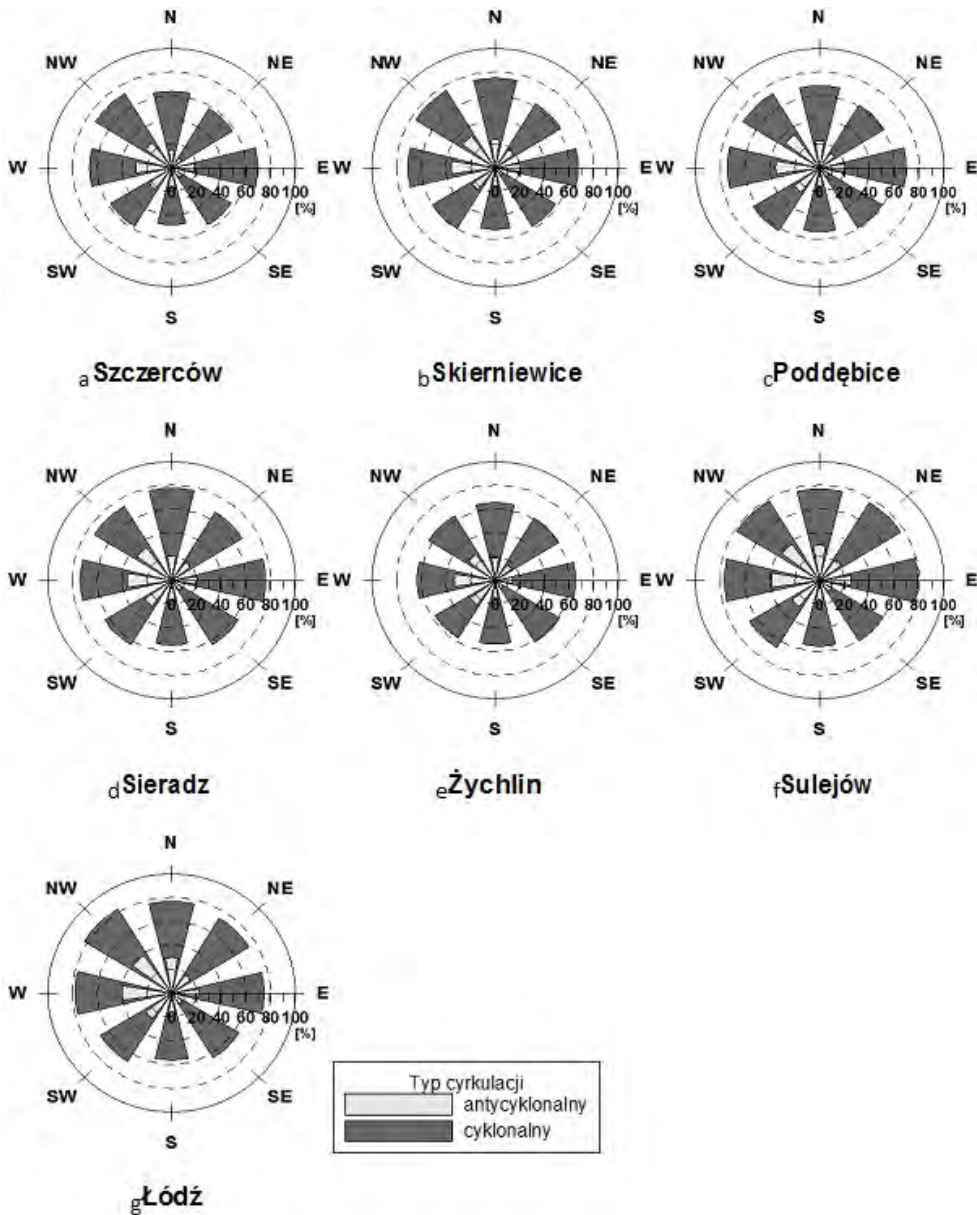
Fig. 10. Probability of precipitation in spring season in relation to the type of atmospheric circulation at selected stations: Szczerców (a), Skierniewice (b), Poddębice (c), Sieradz (d), Żychlin (e), Sulejów (f), Łódź (g) over the years 1961-2015





Rys. 11. Prawdopodobieństwo wystąpienia opadów atmosferycznych w lecie w zależności od typu cyrkulacji atmosferycznej na stacjach: Szczerców (a), Skierniewice (b), Poddębice (c), Sieradz (d), Żychlin (e), Sulejów (f), Łódź (g) (1961-2015)

Fig. 11. Probability of precipitation in summer season in relation to the type of atmospheric circulation at selected stations: Szczerców (a), Skierniewice (b), Poddębice (c), Sieradz (d), Żychlin (e), Sulejów (f), Łódź (g) over the years 1961-2015



Rys. 12. Prawdopodobieństwo wystąpienia opadów atmosferycznych w jesieni w zależności od typu cyrkulacji atmosferycznej na stacjach: Szczerców (a), Skierniewice (b), Poddębice (c), Sieradz (d), Żychlin (e), Sulejów (f), Łódź (g) (1961-2015)

Fig. 12. Probability of precipitation in autumn season in relation to the type of atmospheric circulation at selected stations: Szczerców (a), Skierniewice (b), Poddębice (c), Sieradz (d), Żychlin (e), Sulejów (f), Łódź (g) over the years 1961-2015

podobieństwo opadów atmosferycznych podczas cyrkulacji antycyklonalnej z kierunków SW i W jest znacznie większe niż z kierunków NE, E i SE.

**Jesienią** najwyższe prawdopodobieństwo wystąpienia opadu występuje podczas cyrkulacji cyklonalnej z kierunku wschodniego, kiedy waha się między 70 a 80%, z maksymalną wartością w Sulejowie (rys. 12, 12 f). Najniższe prawdopodobieństwo zachodzi podczas adwekcji z kierunku południowego, kiedy nie przekracza 60% na żadnej ze stacji. Prawdopodobieństwo wystąpienia opadu jest bardzo zbliżone na wszystkich 7 stacjach. Nieznacznie większe prawdopodobieństwo opadów jest związane z adwekcją z kierunków W, N i E, a mniejsze z pozostałych kierunków.

Podczas cyrkulacji antycyklonalnej prawdopodobieństwo opadu przy adwekcji z kierunków zachodnich jest średnio niższe o ok. 30% w porównaniu do cyrkulacji cyklonalnej (rys. 12). Prawdopodobieństwo jest najmniejsze przy adwekcji z kierunków N, E i S, kiedy waha się od 5% w Żychlinie do 25% w Sulejowie (rys. 12e, f).

## Podsumowanie

Najwyższe sumy opadów wystąpiły w porze letniej, kiedy były dwukrotnie wyższe niż zimą. Najniższe sumy opadów atmosferycznych przypadły na zimę. Wiosną i jesienią było najmniejsze zróżnicowanie opadów między uwzględnionymi stacjami. Nieco wyższe średnie roczne sumy opadów atmosferycznych otrzymuje część południowo-zachodnia uwzględnionego obszaru (Poddębice, Szczerców). Zależność tę stwierdzono również w zimie i latem. W północnej części środkowej Polski (Żychlin) średnie sumy opadów są nieco niższe niż na pozostałych stacjach. Jednoznacznie nie można stwierdzić, czy ma na to wpływ rzeźba terenu, jednak należy zauważyć, że Żychlin jest punktem najniżej położonym (99,3 m n.p.m.) spośród uwzględnionych stacji.

W ciągu całego roku najwyższe średnie sumy opadów atmosferycznych występowały podczas adwekcji z kierunków zachodnich: NW, W i SW, które były średnio pięciokrotnie wyższe podczas cyrkulacji cyklonalnej niż antycyklonalnej.

Najwyższe średnie sumy opadów występowały w porze letniej podczas adwekcji z kierunków S i SW w południowo-zachodniej części środkowej Polski (województwa łódzkiego), co wynika z dużej częstości adwekcji mas powietrza z tych kierunków w ciągu roku (Kłysik, 2001). Najniższe średnie sumy opadów atmosferycznych stwierdzono podczas napływu mas powietrza z sektora wschodniego: NE, E i SE, przy cyrkulacji antycyklonalnej. Najmniejszym zróżnicowaniem sum opadów cechuje się wiosna.

Najwyższe prawdopodobieństwo wystąpienia opadów atmosferycznych, które wahało się od 40 do 80%, zachodzi podczas cyrkulacji cyklonalnej. W poszczególnych

porach roku najwyższe wartości wystąpiły podczas adwekcji z innych kierunków. W zimie maksymalne wartości (ok. 80%) stwierdzono podczas napływu mas powietrza z kierunków NW i W, wiosną (ok. 70%) z NW, W i SW, latem (ok. 80%) z kierunku SW i jesienią (70-80%) podczas adwekcji z sektora E. Ogólnie najniższe prawdopodobieństwo pojawienia się opadu atmosferycznego wystąpiło wiosną; średnio niższe o ok. 10% w porównaniu do pozostałej części roku.

Podczas cyrkulacji antycyklonalnej najwyższe prawdopodobieństwo wystąpienia opadu jest przy kierunkach zachodnich: NW, W i SW, kiedy nie przekracza 45%. Najmniejsze prawdopodobieństwo występuje podczas adwekcji z kierunków wschodnich: NE, E i SE (między 5-25 %). We wszystkich porach roku wartości są do siebie zbliżone.

Zimą prawdopodobieństwo wystąpienia opadu jest wyższe średnio o 10% niż wiosną (rys. 8, 9).

Realizacja celów prac badawczych odbywa się w ramach grantu Narodowego Centrum Nauki nr rej. 2012/05/B/ST10/00945.

Materiały wpłynęły do redakcji 31 VIII 2017.

#### Literatura

- Chomicz K., 1971, *Struktura opadów atmosferycznych w Polsce*. Prace PIHM, 101.
- Jenkinson A. F., Collison P., 1977, *An initial climatology of gales over the North Sea*. Synoptic Climatology Branch Memorandum no. 62, Meteorological Office, Bracknell.
- Jędruszkiewicz J., Zieliński M., 2016, *Zróżnicowanie dobowych sum opadów w Łodzi i okolicach na tle cyrkulacji atmosferycznej*. Acta Geogr. Lodz. 104: 201-211.
- Kłysik K., 2001. *Warunki klimatyczne*. [w:] Liszewski S. (red.) *Zarys monografii województwa łódzkiego*. Łódzkie Towarzystwo Naukowe, Łódź, 61-68.
- Kożuchowski K., 2015, *Obfitość opadów w Polsce w przebiegu rocznym*. Prz. Geof., 60, 1-2, 27-38.
- Kożuchowski K., 2016, *Zawartość wody opadowej w atmosferze i opady w Polsce*. Prz. Geof., 61, 3-4, 151-169.
- Kożuchowski K., Marciniak K., 1988, *Variability of mean monthly temperatures and semi-annual precipitation totals in Europe in relation to hemispheric circulation patterns*. Journal of Climatology, 8, 198-199.
- Moniewski P., 1997, *Zróżnicowanie strefy krawędzowej Wyżyny Łódzkiej i ich gospodarcze wykorzystanie*. Acta Univ. Lodz. 2, 153-168.
- Piotrowski P., 2004, *Okresy bezopadowe w Łodzi w latach 1903-2003*. Acta Geogr. Lodz. 89, 103-113.
- Piotrowski P., 2009, *Obiektywna metoda klasyfikacji cyrkulacji atmosferycznej dla Polski*. Acta Univ. Lodz. Folia Geogr. Phys. 10.
- Podstawczyńska A., 2007, *Okresy suche i wilgotne w Łodzi w XX wieku*. Acta Univ. Lodz. Folia Geogr. Phys. 8, 9-25.
- Rzepa M., 2004, *Najwyższe dobowe, pięciodniowe i dziesięciodniowe sumy opadów atmosferycznych w Łodzi w latach 1903-2003*. Acta Geogr. Lodz. 89, 87-99.

- Siedlecki M., Pawlak W., 2004, *Sumy miesięczne opadów atmosferycznych w Łodzi w latach 1903-2003*. Acta Geogr. Lodz. 89, 73-84.
- Twardosz R., 2000, *Opady normalne i anomalne w Krakowie w latach 1850-1998*. Prz. Geof., 2, 171-182.
- Twardosz R., Cebulska M., 2014, *Anomalie wysokie miesięczne opady atmosferyczne w polskich Karpatach i na ich przedpolu (1881-2010)*. Prace Geograficzne 138: 7-26
- Wibig J., 1998, *Precipitation in the period 1931-1995*. Acta Univ. Lodz., Folia Geogr. Phys., 3, 433-442.
- Wibig J., 2000, *Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na rozkład przestrzenny anomalii temperatury i opadów w Europie*. Wyd. UŁ, Łódź, 154-161.
- Wibig J., Fortuniak K., 1998, *The extreme precipitation conditions in Łódź in the period 1931-1995*. Acta Univ. Lodz., Folia Geogr. Phys., 3, 241-249.

### Streszczenie

Celem opracowania jest poznanie zmienności opadów atmosferycznych podczas różnych typów cyrkulacji w latach 1961-2015. Dane pochodzą z 7 stacji meteorologicznych IMGW znajdujących się na obszarze województwa łódzkiego: Szczerców, Skierniewice, Poddębice, Sieradz, Żychlin, Sulejów oraz Łódź. Podstawą badań są opady dobowe oraz kalendarz typów cyrkulacji. We wszystkich porach roku stwierdzono najwyższe średnie opady atmosferyczne podczas cyrkulacji o charakterze cyklonalnym z kierunków NW, W i SW. Najwyższe sezonowe opady atmosferyczne (ok. 80 mm w Szczercowie) występowały latem przy adwekcji z kierunku SW. Na wiosnę występuje najmniejsze zróżnicowanie opadów atmosferycznych ze względu na kierunek adwekcji. Największe prawdopodobieństwo wystąpienia opadów atmosferycznych stwierdzono podczas typów cyklonalnych - 40-80%, zdecydowanie najmniejsze podczas cyrkulacji antycyklonalnej, rzędu od ok. 10% z kierunku SE jesienią do 45% z kierunku SW latem.

Słowa kluczowe: opad atmosferyczny, cyrkulacja atmosferyczna, prawdopodobieństwo

### Summary

The aim of paper is to analyze the variability of the precipitation during different types of circulation over the years 1961-2015. The database derives from seven IMGW weather stations i. e. Szczerców, Skierniewice, Poddębice, Sieradz, Żychlin, Sulejów and Łódź. All of them are located in Central Poland. The basis of the study is the daily precipitation and the atmospheric circulation calendar. The highest mean precipitation were observed during the cyclonic circulation with advection from NW, W and SW in all seasons. The highest seasonal precipitation (about 80 mm) was recorded in summer at the Szczerców station for SW sector. Moreover the least diversity of precipitation concerning the different directions of advection was found in spring. The highest probability of rainfall from 40 to 80% were observed during cyclonic circulation. Considerable lower values were marked over anticyclonic circulation from 10% in autumn for SE advection to 45% in summer for SW advection.

Key words: precipitation, atmospheric circulation, probability

Wojciech Radziun  
wojtekradziun@tlen.pl  
Katedra Meteorologii i Klimatologii, Uniwersytet Łódzki