

DYNAMIKA ZMIAN SUMY I STRUKTURY OPADÓW W WIELKOPOLSCE W LATACH 1981–2020

ANITA WALKOWSKA, MAREK PÓLROLNICZAK*, LESZEK KOLENDOWICZ**

Zakład Meteorologii i Klimatologii, Instytut Geografii Fizycznej i Kształtowania Środowiska
Przyrodniczego, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych,
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, ul. B. Krygowskiego 10, 61-680 Poznań
*0000-0002-2322-9217, **0000-0003-0197-4563

Abstract: *The dynamics of changes in the sum and structure of atmospheric precipitation in Wielkopolska in 1981–2020.* The study analyzes the temporal and spatial variability of atmospheric precipitation and the impact of global climate changes on precipitation in Wielkopolska. The study was based on data provided by the IMGW-PIB and collected from 5 synoptic stations located in central Poland. The average multiannual sums of precipitation, the average number of days with precipitation in total and the particular types of precipitation in 1981–2020 were calculated, and their spatial distribution presented. Moreover, seasonal precipitation totals and statistics for days with precipitation were also calculated, and trends of individual pluviometric characteristics presented. The average annual rainfall was 523 mm, and the average annual rainfall frequency was 163 days. Days with rainfall were more frequent than days with snow (35 days). Over the course of many years, there was an apparent decrease in days with snowfall (-6.5 per decade) and an increase in the number of rainy days (4.3 per decade). Annual precipitation totals show no significant long-term changes.

Keywords: precipitation, rainfall, snowfall, Wielkopolska

WSTĘP

Klimat danego regionu kształtowany jest przez zespół czynników klimatycznych oraz elementów meteorologicznych, których rozkład i charakterystyka uwarunkowana jest cechami geograficznymi i fizycznymi danego obszaru. Elementami meteorologicznymi kształtującymi klimat są między innymi: temperatura powietrza, opady atmosferyczne, promieniowanie słoneczne, wilgotność powietrza oraz kierunek i prędkość wiatru. Jedną z najważniejszych cech charakteryzujących klimat są opady atmosferyczne. Tematyką opadów w Polsce zajmowało się wielu autorów. Tamulewicz (1992) badał stosunki pluwiometryczne na obszarze Niziny Wielkopolskiej. Analizował on dane w podziale na lata 1891–1980, 1931–1980 oraz 1951–1980. Średnie roczne sumy opadów dla tych trzech okresów były zbliżone dla wszystkich stacji Niziny Wielkopolskiej. Na przykład w Kaliszu wartości te wynosiły między 518–536 mm. We wspomnianej pracy porównano również miesięczne sumy opadów atmosferycznych w trzech wieloletnich okresach. Tu także wartości były podobne. Najwyższe wartości przypadały zawsze na lipiec i sierpień, natomiast najniższe na luty i marzec. Według badań, najwyższe

miesięczne sumy opadów w Kaliszu występowały w lipcu (76–84 mm), najniższe w lutym (25–28 mm).

Opadami atmosferycznymi zajmował się również Farat (2010). Podjął się on analizy zmienności opadów w północno-zachodniej Polsce (Pojezierze Pomorskie, Wielkopolskie oraz Nizina Wielkopolska) za okres 1951–2000. Według tych badań, średnia roczna suma opadów w Wielkopolsce wynosiła 555 mm. Na terenie Pojezierza Wielkopolskiego opady atmosferyczne są zróżnicowane, a sumy roczne wahają się od 480 mm do 580 mm. Farat (2010) przedstawił również przebieg rocznych sum opadów i trendów dla poszczególnych punktów pomiarowych, w tym dla dwóch na terenie Wielkopolski, tj. Poznania i Koła – w obu miastach trend był wzrostowy.

Klimat Niziny Wielkopolskiej przedstawił szczegółowo Woś (1994), analizując między innymi opady atmosferyczne. Zgodnie z tym opracowaniem, najbardziej ubogimi w opady obszarami są Pojezierze Gnieźnieńskie, Pojezierze Poznańskie oraz część Kujaw (średnie wieloletnie sumy opadów nie przekraczają 550 mm). Z kolei według analiz Szygi-Pluty (2018), średnia roczna suma opadów w latach 1981–2014 dla województwa wielkopolskiego wynosiła 548 mm, a największe średnie wartości opadów notowane są latem (lipiec), najniższe zimą (luty).

Opadami atmosferycznymi w odniesieniu do całego kraju zainteresowała się między innymi Ziernicka-Wojtaszek (2006). Przeanalizowała dane dla wielolecia 1971–2000. Według badań, średnia roczna suma opadów atmosferycznych dla Polski wynosiła 601 mm.

Celem pracy jest scharakteryzowanie warunków pluwialnych na obszarze województwa wielkopolskiego oraz ocena wpływu globalnych i regionalnych zmian klimatycznych na wielkość, strukturę i rozkład opadów atmosferycznych na badanym obszarze. Ważnym elementem pracy w kontekście zmian klimatycznych jest analiza opadów z podziałem na opady śniegu oraz deszczu.

OBSZAR I METODY BADAŃ

W pracy wykorzystano dane pomiarowe pochodzące ze stacji meteorologicznych należących do sieci Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej Państwowego Instytutu Badawczego (IMGW-PIB). Dane pozyskano dla pięciu stacji leżących na obszarze województwa wielkopolskiego (Leszno, Piła, Koło, Kalisz i Poznań). Do przeprowadzenia analiz obszarowych wykorzystano ponadto dane pochodzące ze stacji w Toruniu oraz Legnicy. Podstawą analiz były miesięczne sumy opadów atmosferycznych oraz miesięczna liczba dni z poszczególnymi rodzajami opadu z lat 1981–2020. Na potrzebę analiz przestrzennych obliczono średnie wieloletnie sumy opadów atmosferycznych oraz średnie wieloletnie liczby dni z opadem atmosferycznym dla roku i sezonów. Przedstawiono również podział liczby dni opadowych na poszczególne typy opadów (deszcz oraz śnieg).

Na potrzeby analiz zmienności czasowej obliczono średnie roczne sumy opadów atmosferycznych dla poszczególnych stacji, średnią roczną sumę dla Wielkopolski (uśrednienie wartości z analizowanych stacji) oraz trend zmian, które określono na podstawie modelu regresji liniowej. Obliczono również średnie roczne liczby dni z opadem atmosferycznym, średnie roczne liczby dni dla poszczególnych rodzajów opadów oraz trendy zmian. Analizy przeprowadzono również dla poszczególnych sezonów: wiosna (marzec, kwiecień, maj), lato (czerwiec, lipiec, sierpień), jesień (wrzesień, listopad, październik), zima (grudzień, styczeń, luty), przedstawiając współczynniki kierunkowe trendów zmian dla poszczególnych okresów. Analizując trendy zmienności, zastosowano test Manna-Kendalla, przyjmując próg istotności statystycznej na poziomie $1-\alpha = 0,05$. Dni z opadami rozumiane są jako dni z wystąpieniem opadu niezależnie od jego wysokości. Dni z opadami śniegu i deszczu z osobną definiowane są na podstawie przeważającej ilości danego opadu w danym dniu. Analizy ilościowe przeprowadzone zostały przy użyciu języka programowania R (R Core Team, 2022), natomiast zobrazowania obszarowe metodą krigingu przy użyciu programu Surfer.

Opracowanie skupia się na obszarze województwa wielkopolskiego (ryc. 1), którego granice są mocno zbliżone do granic krainy geograficznej – Wielkopolska. Zgodnie z najnowszą regionalizacją fizycznogeograficzną opracowaną przez Solona i in. (2018), Wielkopolska znajduje się w obrębie dwóch podprowincji fizycznogeograficznych, tj. Pojezierzy Południowobałtyckich na północy oraz Nizin Środkowopolskich na południu. Na obszarze pojezierzy dominują krajobrazy o młodoglacjalnej rzeźbie oraz liczne jeziora związane z działalnością lądolodu (złodowacenie bałtyckie). Na obszarze nizin również dominuje polodowcowa rzeźba terenu, lecz ze starszych złodowaceń. Krajobrazy pozbawione są jednak jezior. Większość obszaru Wielkopolski stanowią płaskie, miejscami faliste wysoczyzny, a także równiny. Wysokości terenu na obszarze województwa nie przekraczają 300 m n.p.m. Najwyższym wzniesieniem Wielkopolski jest Kobyla Góra (284 m n.p.m.), najniższy punkt znajduje się natomiast w Dolinie Noteci (31 m n.p.m.).

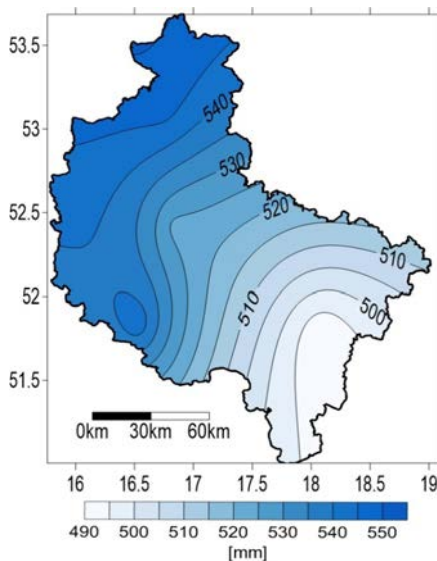


Ryc. 1. Rozmieszczenie stacji meteorologicznych
Fig. 1. Location of meteorological stations

REZULTATY BADAŃ

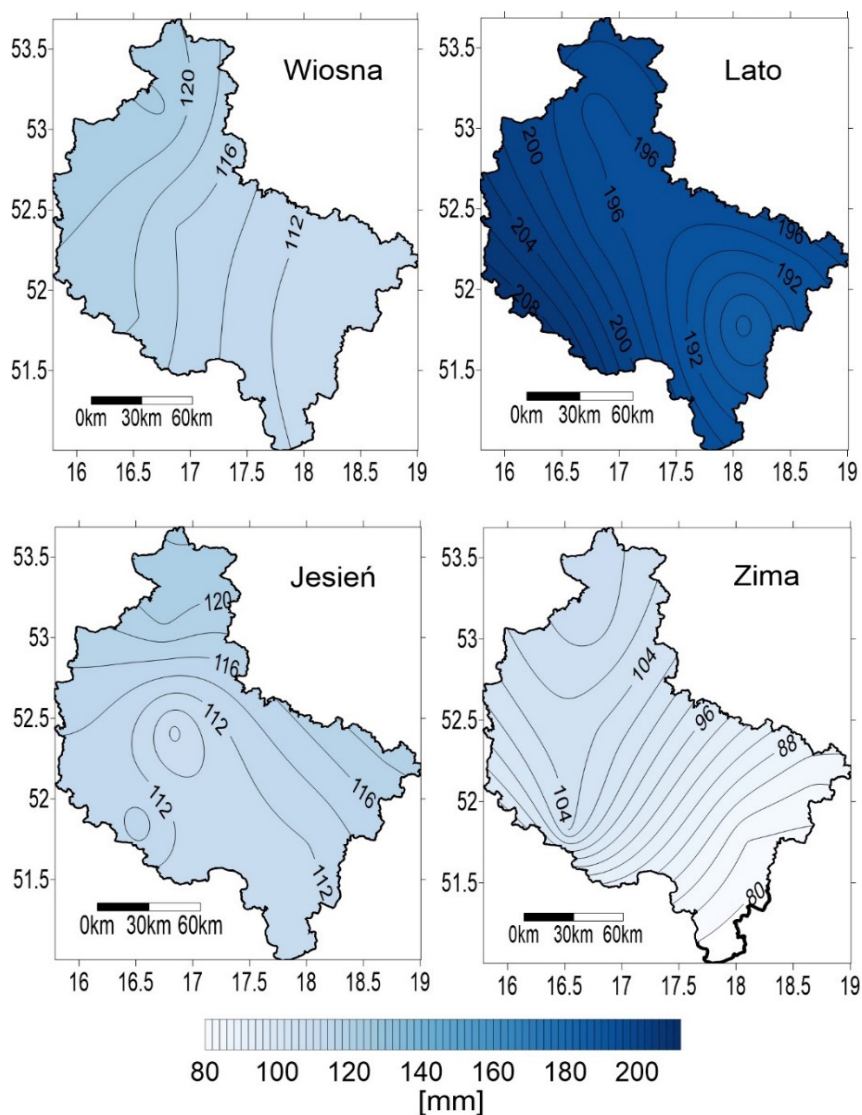
Rozkład przestrzenny sum opadowych w Wielkopolsce

Średnia suma opadów z pięciu stacji synoptycznych na terenie województwa wielkopolskiego w analizowanym okresie 1981–2020 wyniosła 523 mm. Najwyższe sumy występują na północy i zachodzie województwa (dla stacji Piła średnia wieloletnia suma wynosi 548 mm, niewiele mniej dla Leszna – 543 mm), najniższe z kolei na południowym wschodzie (Kalisz – 491 mm) (ryc. 2).



Ryc. 2. Średnia roczna suma opadów atmosferycznych w Wielkopolsce w latach 1981–2020
 Fig. 2. Average annual sum of atmospheric precipitation in Wielkopolska in the years 1981–2020

Najwyższe sumy opadowe występują w okresie letnim, najniższe opady odnotowano zimą (ryc. 3). Latem najwyższe wartości sum opadowych występują na południowym zachodzie województwa (Leszno – 206 mm), a najniższe na wschodzie (Kalisz – 185 mm). W okresie zimowym najwyższe opady notowane są na północy (Piła – 109 mm), najniższe na południowym wschodzie (Kalisz – 82 mm). Wiosną i jesienią mimo zbliżonych wartości sum opadu występują spore różnice w ich rozkładzie przestrzennym. Wiosną najwyższe wartości notuje się na północy województwa (Piła – 122 mm), najniższe na wschodzie (Kalisz – 110 mm, Koło – 112 mm). Jesienią najwyższe wartości opadów występują na północy (Piła – 121 mm), natomiast najniższe w centrum Wielkopolski (Poznań – 107 mm) oraz nieco wyższe na południowym wschodzie (Kalisz – 112 mm).



Ryc. 3. Sezonowe średnie sumy opadów atmosferycznych (mm) w Wielkopolsce (1981–2020)
 Fig. 3. Seasonal average sums of atmospheric precipitation (mm) in Greater Poland (1981–2020)

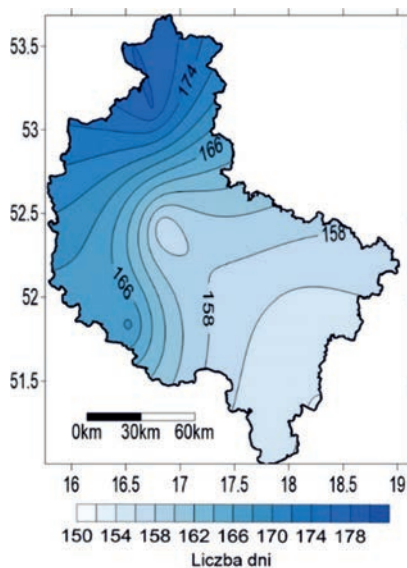
Rozkład przestrzenny liczby dni z opadem w Wielkopolsce

Przeanalizowano rozkład przestrzenny liczby dni z opadem atmosferycznym (łącznie liczba dni z opadami deszczu i śniegu) i przedstawiono na ryc. 4. Największa średnia roczna liczba dni z opadem w latach 1981–2020 wystąpiła na

północy Wielkopolski (Piła – 178 dni). Najmniejsza liczba dni wystąpiła na południowym wschodzie (Kalisz – 154 dni). Podobnie niską liczbę dni z opadami odnotowano w centrum województwa (Poznań – 156 dni).

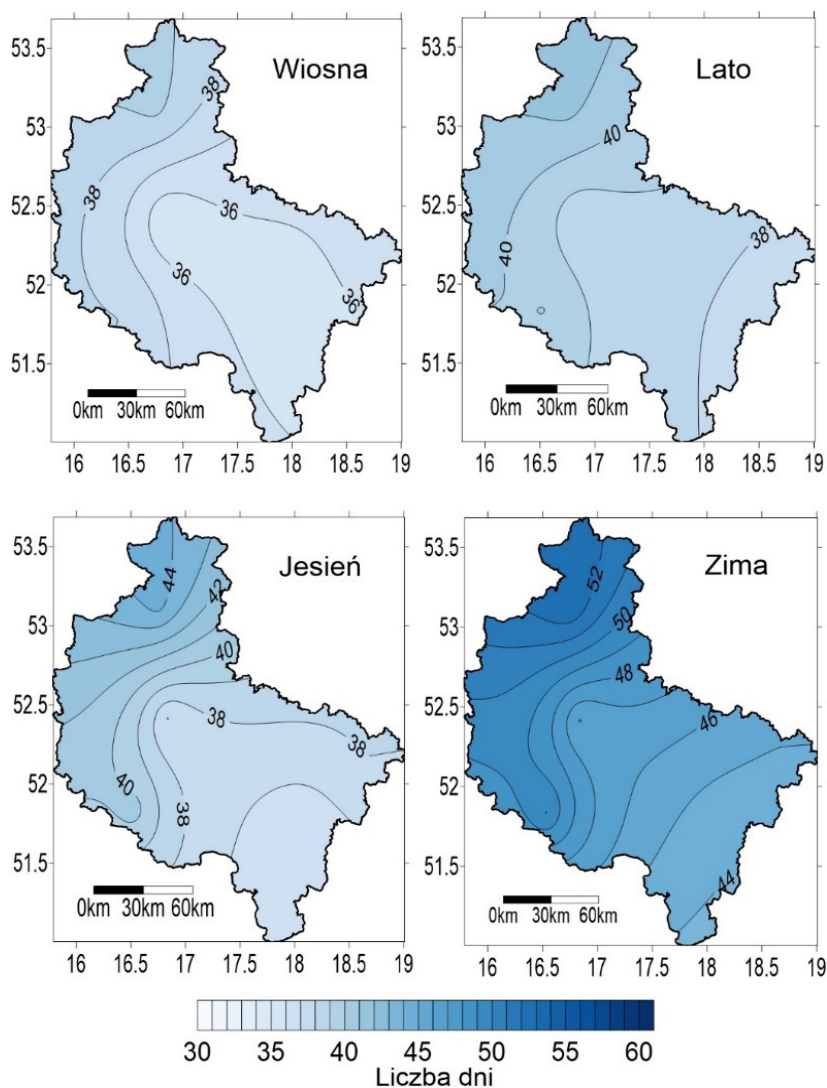
Dane przeanalizowano również dla poszczególnych sezonów. Rozkład przestrzenny wygląda podobnie jak w ujęciu rocznym – najwięcej dni opadowych odnotowuje się na północnym zachodzie obszaru, natomiast najmniej na południowym wschodzie (ryc. 5). Największa liczba dni z opadem atmosferycznym występuje zimą (Piła – 53 dni, Kalisz – 44 dni), natomiast najmniejsza wiosną. Najwięcej dni z opadem odnotowano na północy województwa (Piła – 39 dni), najmniej w centrum i na południowym wschodzie (Poznań – 35 dni, Kalisz i Koło – 36 dni). Niewiele więcej dni z opadem pojawia się latem i jesienią. W okresie letnim liczba dni z opadem na badanym obszarze mieści się w przedziale 38–41 dni, jesienią z kolei w przedziale 36–44 dni. Wiosna i lato odznaczają się największą jednorodnością pod względem obszarowym. Różnica wartości skrajnych wynosi zaledwie trzy dni w średniej wieloletniej liczbie dni z opadem między północnym a południowo-wschodnim krańcem Wielkopolski.

Porównując sumy opadów i liczby dni z opadem w sezonach, można zauważyć, że w sezonie letnim, kiedy sumy są najwyższe w ciągu roku, występuje najmniej dni z opadem. Zimą z kolei sumy opadów są najniższe w roku, za to występuje wtedy najwięcej dni z opadem.



Ryc. 4. Średnia roczna liczba dni z opadem w Wielkopolsce w latach 1981–2020

Fig. 4. Average annual number of days with precipitation in Wielkopolska in the years 1981–2020

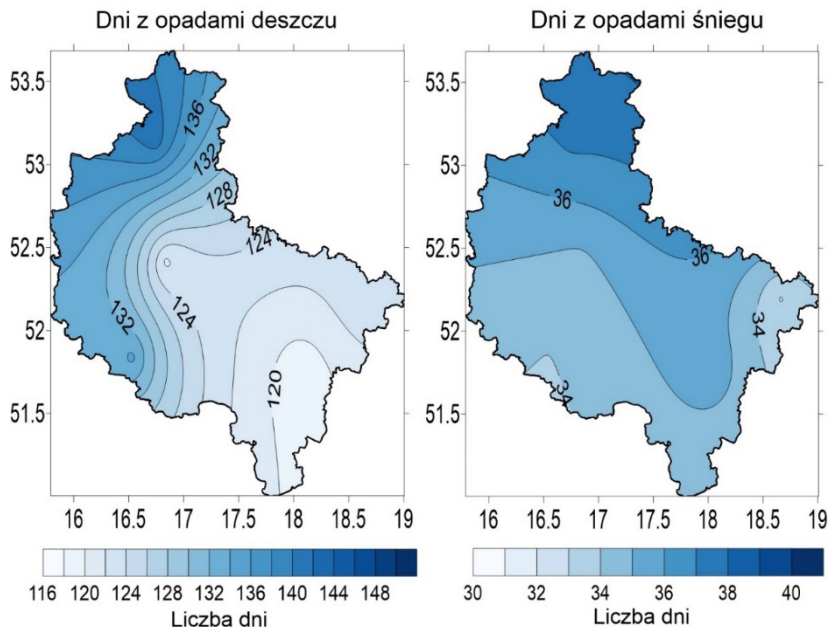


Ryc. 5. Średnia liczba dni z opadem atmosferycznym w Wielkopolsce wg sezonów w latach 1981–2020

Fig. 5. Average number of days with precipitation in Wielkopolska by seasons in 1981–2020

Analizy dotyczące liczby dni z opadem przeprowadzono również dla poszczególnych rodzajów opadów atmosferycznych – deszczu i śniegu. Rozkład przestrzenny analizowanych wartości przedstawiono na ryc. 6. Najwięcej dni deszczowych odnotowano na północy województwa (Piła – 141 dni), najmniej w centrum i na południowym wschodzie (Poznań – 122 dni, Kalisz – 119 dni). W przypadku liczby dni z opadem śniegu najwyższe wartości występują na

północy (Piła – 37 dni), najniższe natomiast występują na południu i wschodzie województwa (Leszno – 34 dni, Koło – 33 dni).



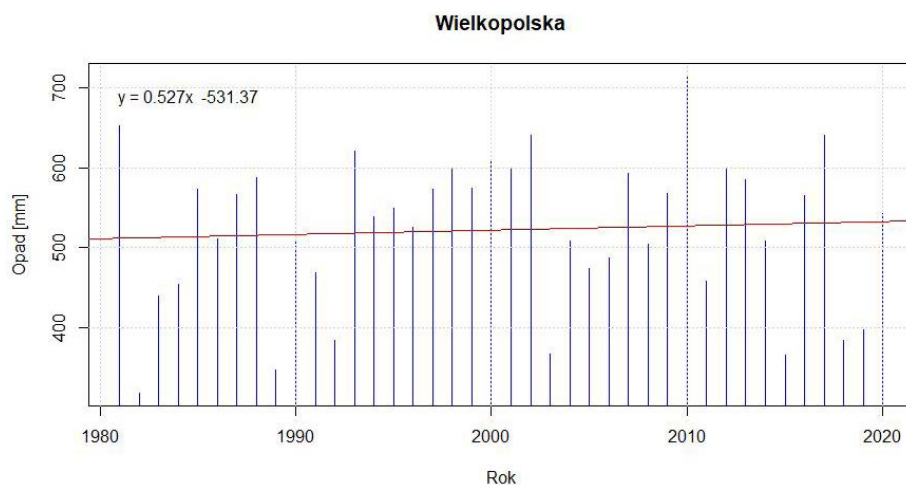
Ryc. 6. Średnia roczna liczba dni z opadami deszczu i śniegu w Wielkopolsce w latach 1981–2020

Fig. 6. Average annual number of days with rain and snowfall in Wielkopolska in the years 1981–2020

Zmienność czasowa opadów w Wielkopolsce

Zmienność sum opadów atmosferycznych

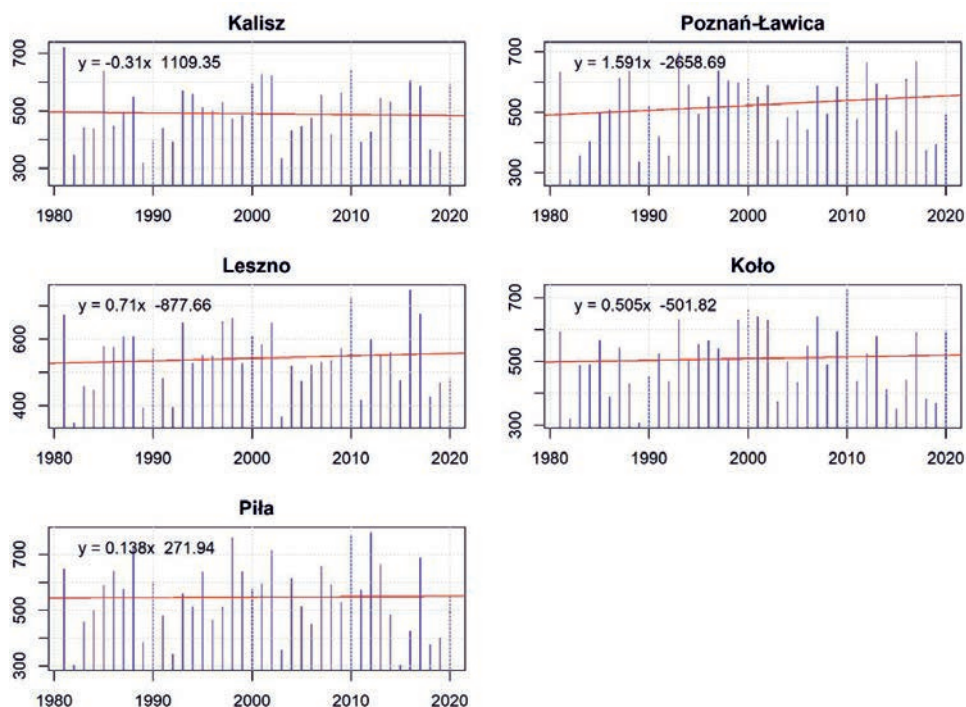
Przeanalizowano rozkład czasowy oraz trend zmienności średnich rocznych sum opadów atmosferycznych. W przebiegu wieloletnim widoczna jest duża zmienność wysokości sum opadu z roku na rok (ryc. 7). Stosunkowo niewielkie zmiany zauważalne są w okresie od 1993 do 2002 roku. Do lat z wysokimi opadami (≥ 600 mm) zaliczają się lata: 1981, 1993, 1998, 2000, 2002, 2010 oraz 2017. Lata suche, w których roczne wysokości opadów osiągały poniżej 400 mm, to rok 1982, 1989, 1992, 2003, 2015, 2018 oraz 2019. Obliczony trend zmienności sum opadów dla Wielkopolski wykazujący wzrost o 5 mm/10 lat jest jednak zmianą nieistotną statystycznie.



Ryc. 7. Średnie roczne sumy opadów atmosferycznych (mm) wraz z trendem liniowym w Wielkopolsce w latach 1981–2020

Fig. 7. Average annual sum of atmospheric precipitation (mm) along with a linear trend in Greater Poland in the years 1981–2020

Przeanalizowano także rozkłady czasowe i trendy dla poszczególnych stacji (ryc. 8). W Kaliszu wystąpiło najwięcej suchych lat (roczna suma opadów nie przekraczała 400 mm) – dziewięć przypadków, z czego stosunkowo najwięcej w ostatniej dekadzie (tj. 2011–2020). Najmniej suchych lat odnotowano na stacji w Lesznie (cztery przypadki), z czego ostatnim rokiem był 2003. Najwięcej lat z dużymi wysokościami opadu (≥ 600 mm) odnotowano w Pile – 14 lat. Najmniej natomiast wystąpiło na stacji w Kaliszu – sześć lat. Kalisz stanowi również jedyną stację, wykazującą ujemny trend zmienności sum opadowych (spadek o 3 mm/10 lat). Pozostałe stacje wykazują trend dodatni, wśród których wyróżnia się stacja Poznań-Ławica z największym trendem wzrostowym (wzrost o 15,9 mm/10 lat). Żaden z trendów nie wykazuje istotności statystycznej.



Ryc. 8. Średnie roczne sumy opadów atmosferycznych (mm) dla stacji meteorologicznych w Wielkopolsce w latach 1981–2020

Fig. 8. Average annual sums of atmospheric precipitation (mm) for meteorological stations in Wielkopolska in the years 1981–2020

Tabela 1 prezentuje zmienność średnich sum opadowych dla sezonów dla całego regionu oraz dla poszczególnych stacji. W Wielkopolsce jedynym okresem wykazującym spadek sum opadowych jest zima (-0,6 mm/10 lat). Największy wzrost natomiast pojawia się w okresie jesiennym (5 mm/10 lat). Jesień stanowi jedyny okres, dla którego wszystkie stacje charakteryzują się tendencją do wzrostu opadów atmosferycznych. Najwyższą tendencję wzrostową jesienią wykazuje stacja Leszno – 9 mm/10 lat. Trend ujemny wykazały w okresie zimowym wszystkie stacje oprócz Poznania, gdzie trend wzrostowy jest stosunkowo wysoki, lecz nieistotny statystycznie – 8 mm/10 lat. Poznań-Ławica jest jedyną stacją z omawianych, dla której we wszystkich sezonach zaznacza się dodatnie tendencje opadów atmosferycznych. Żaden z wymienionych trendów nie jest jednak istotny statystycznie.

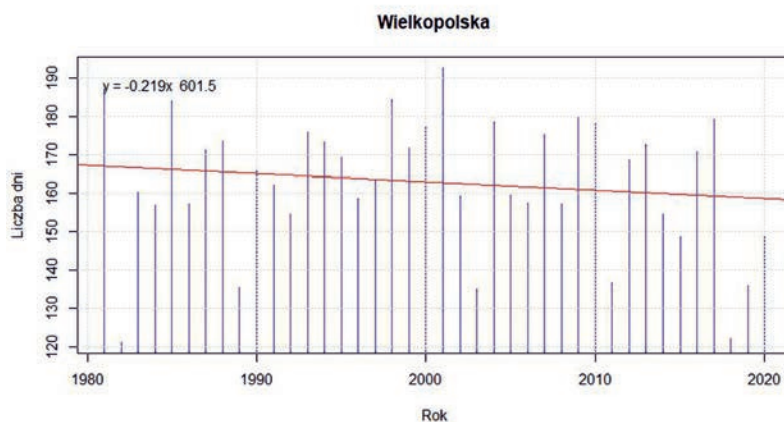
Tab. 1. Współczynniki kierunkowe linii trendu zmienności średnich sezonowych sum opadów atmosferycznych dla całej Wielkopolski oraz poszczególnych stacji w latach 1981–2020. Wartości istotne statystycznie na poziomie $1 - \alpha = 0,05$

Tab. 1. Linear trend coefficients of the average seasonal sums of atmospheric precipitation variability in the Wielkopolska region and individual stations in the years 1981–2020. Statistically significant values at the level of 0.05

Stacja \ Sezon	Wielkopolska	Poznań-Ławica	Kalisz	Koło	Leszno	Piła
Wiosna	0,040	-0,338	-0,175	0,371	-0,119	-0,210
Lato	0,015	-0,290	-0,353	-0,403	0,266	0,275
Jesień	0,521	-0,152	0,488	0,570	-0,986	0,408
Zima	-0,062	0,811	-0,269	-0,033	-0,422	-0,334

Zmienność liczby dni z opadami ogółem (deszcz i śnieg)

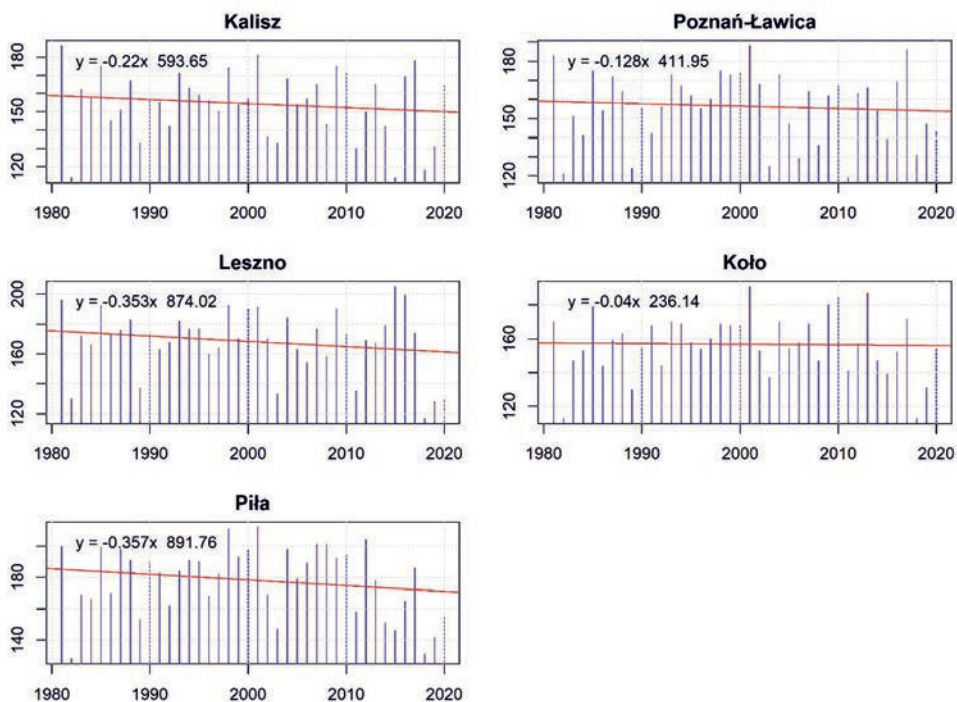
Liczba dni z opadem charakteryzuje się dużą zmiennością z roku na rok (ryc. 9). W dużym stopniu zmienność rocznej liczby dni z opadem pozytywnie koreluje z rocznymi sumami opadu atmosferycznego, tj. lata, w których występują wysokie sumy opadów, charakteryzują się w większości dużą liczbą dni z opadem atmosferycznym i odwrotnie. Średnio w roku występują 163 dni z opadem. Najwięcej wystąpiło ich w latach: 1981, 1985, 1998 oraz 2001 (> 180 dni). Lata, w których dni opadowych było najmniej, to 1982 i 2018 (< 130 dni). Dane wykazują nieistotny statystycznie trend ujemny – spadek liczby dni z opadem atmosferycznym o 2,2 dnia/10 lat.



Ryc. 9. Średnia roczna liczba dni z opadem atmosferycznym w Wielkopolsce w latach 1981–2020 wraz z trendem liniowym

Fig. 9. Average annual number of days with precipitation in Wielkopolska in the years 1981–2020 along with the linear trend

Charakterystykę zmienności liczby dni z opadem atmosferycznym przedstawiono również z podziałem na poszczególne stacje (ryc. 10). Najwięcej lat z liczbą dni z opadem atmosferycznym w ciągu roku (powyżej 180) wystąpiło na stacji w Pile – 22 lata, z czego zdecydowana większość w pierwszych trzech dekadach analizowanego okresu. Najmniej takich lat odnotowano dla stacji w Kaliszu (2 lata) oraz niewiele więcej dla stacji w Poznaniu i Kole (3 lata). Lat ze stosunkowo małą liczbą dni z opadem (≤ 130) odnotowano najczęściej na stacji Poznań-Ławica (5), niewiele mniej pojawiło się na stacji w Lesznie i Kaliszu (4), natomiast na stacji w Pile wystąpił tylko jeden rok (1982) z tak niską wartością. Dane dla wszystkich analizowanych stacji wykazują statystycznie nieistotną tendencję spadkową.



Ryc. 10. Średnia liczby dni z opadem atmosferycznym wraz z trendem liniowym dla stacji meteorologicznych w Wielkopolsce w latach 1981–2020

Fig. 10. Average number of days with precipitation along with the linear trend for meteorological stations in Wielkopolska in the years 1981–2020

W tab. 2 zaprezentowano sezonową zmienność liczby dni z opadem atmosferycznym dla Wielkopolski oraz każdej z analizowanych stacji. Biorąc pod uwagę Wielkopolskę, tendencje zmienności są niewielkie. Trend ujemny wykazuje

okres wiosenny (0,7 dni/10 lat), w pozostałych sezonach trendy nieznacznie rosną – najwyższą tendencję wzrostową wykazuje okres jesienny (0,5 dni/10 lat). W poszczególnych stacjach we wszystkich sezonach widoczna jest zdecydowana przewaga malejącej tendencji dni z opadem. W okresie zimy i jesieni tylko dla pojedynczych stacji występuje trend wzrostowy (zimą dla Poznania, jesienią dla Koła). Latem na stacji w Kole i Lesznie zauważa się niewielką tendencję wzrostową dni z opadem. W okresie wiosennym dla każdej stacji zanotowano trendy ujemne dni z opadem, jednak w żadnym przypadku nie były one istotne statystycznie.

Tab. 2. Współczynniki kierunkowe linii trendu zmienności średnich sezonowych liczb dni z opadami atmosferycznymi dla całej Wielkopolski oraz poszczególnych stacji w latach 1981–2020. Wartości istotne statystycznie na poziomie

$$1 - \alpha = 0,05$$

Tab. 2. Linear trend coefficients for the seasonal average number of days with precipitation in the Wielkopolska and individual stations in the years 1981–2020.

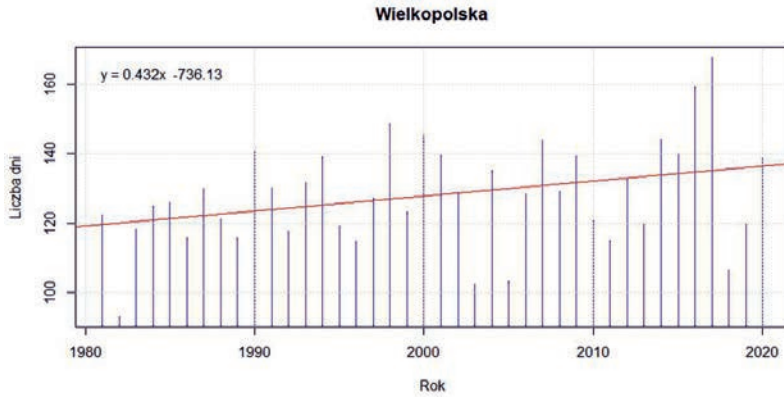
Statistically significant values at the level of

$$1 - \alpha = 0.05$$

Stacja Sezon	Wielkopolska	Poznań- Ławica	Kalisz	Koło	Leszno	Piła
Wiosna	-0,077	-0,032	-0,080	-0,004	-0,117	-0,154
Lato	0,001	-0,009	-0,007	0,029	0,012	-0,023
Jesień	0,056	-0,052	-0,056	0,018	-0,091	-0,097
Zima	0,040	0,030	-0,102	-0,052	-0,054	-0,024

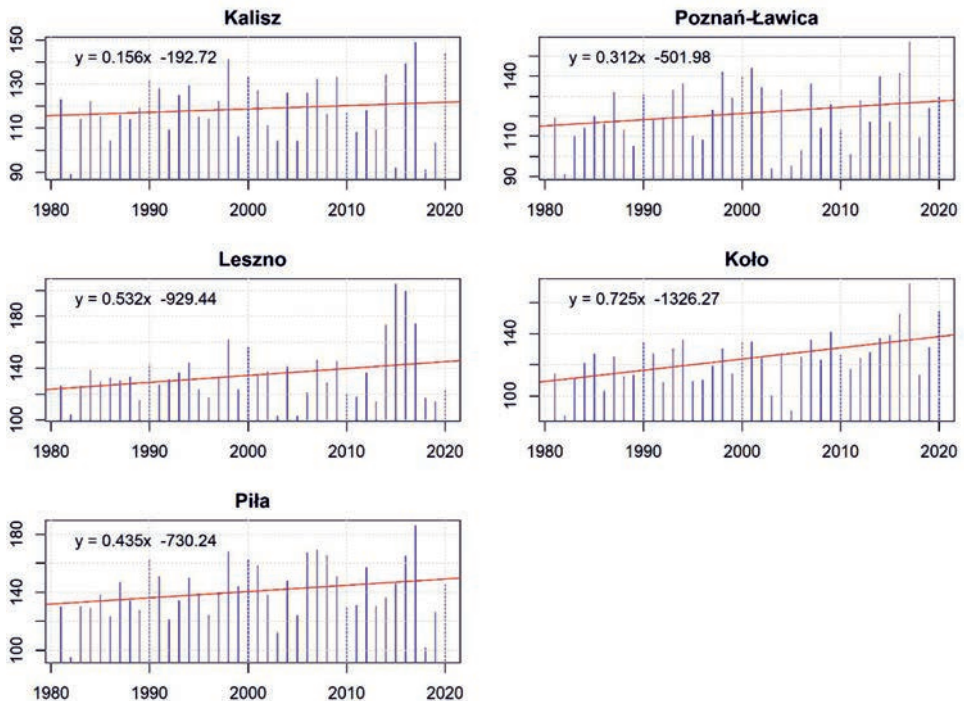
Zmienność liczby dni z opadami deszczu

Analizy średniej rocznej liczby dni z opadem atmosferycznym dokonano również osobno dla poszczególnych rodzajów opadów, tj. dla opadów śniegu oraz deszczu. Na ryc. 11 przedstawiono zmienność liczby dni z opadami deszczu w okresie 1981–2020 dla obszaru Wielkopolski. Wartości wykazują znaczną zmienność z roku na rok, a najbardziej stabilny w badanym wieloleciu był okres 1983–1989. Najwyższą liczbą dni deszczowych odznacza się rok 2017, w którym wystąpiło ich średnio 168. Najniższa liczba tych dni wystąpiła z kolei w 1982 roku (zaledwie 93 dni deszczowe). Wartości wykazują istotną statystycznie tendencję wzrostową. Tempo wzrostu liczby dni z opadami deszczu wynosi 4,3 dnia/10 lat.



Ryc. 11. Średnia roczna liczby dni z opadem deszczu w Wielkopolsce w latach 1981–2020 wraz z trendem liniowym

Fig. 11. Average annual number of days with rainfall in Wielkopolska in the years 1981–2020 long with the linear trend



Ryc. 12. Średnia roczna liczby dni z opadami deszczu dla poszczególnych stacji na obszarze Wielkopolski w latach 1981–2020

Fig. 12. Average annual number of days with rainfall for individual stations in the Wielkopolska region in the years 1981–2020

Z analizy rozkładu czasowego średniej rocznej liczby dni z opadami deszczu dla poszczególnych stacji wynika, że rok 2017 odznacza się bardzo wysoką liczbą dni deszczowych (ryc. 12). Dane ze stacji w Lesznie wyróżniają się gwałtownym wzrostem liczby dni z opadami deszczu w latach 2014–2017. Tutaj również w odróżnieniu od innych stacji nie występują wartości poniżej 100. Wartości powyżej 140 dni wystąpiły najliczniej dla stacji w Pile (18 lat), najmniej odnotowano na stacji w Kaliszu (3 lata). Najwięcej lat z małą liczbą dni deszczowych (<110) wystąpiło w Kaliszu – 11 lat, z czego ponad połowa w ostatnich dwóch dekadach.

Na wszystkich stacjach widoczny jest trend dodatni, najwyższy dla stacji Koło, gdzie liczba dni deszczowych rośnie o 7 dni/10 lat. Jest to zmienność istotna statystycznie. Najmniejsze tempo wzrostu wykazuje stacja Kalisz. Dość duży wzrost (istotny statystycznie) widoczny jest dla stacji w Lesznie (5 dni/10 lat) oraz Pile (4 dni/10 lat).

W tab. 3 zaprezentowano zmienność liczby dni z opadami deszczu w sezonach za pomocą współczynników kierunkowych trendu. Dla całej Wielkopolski wszystkie sezony charakteryzują się trendem dodatnim, jednak nieistotnym statystycznie. Najniższy, nieznaczny wzrost wykazuje okres letni (0,1 dnia/100 lat), natomiast najwyższy – okres zimowy (2 dni/10 lat). Dla poszczególnych stacji widoczna jest przewaga tendencji wzrostowej liczby dni deszczowych. Trend ujemny wykazują tylko niektóre stacje w okresie letnim. Okres wiosny, lata oraz jesieni odznacza się dla większości niewielkimi, nieznaczającymi trendami. Najszybszym tempem wzrostu na każdej ze stacji charakteryzuje się okres zimowy, z czego najwyższy trend wykazuje stacja Leszno (4 dni/10 lat). Wspomniane trendy nie wskazują na istotność statystyczną tych zmian.

Tab. 3. Współczynniki kierunkowe linii trendu zmienności średnich sezonowych liczb dni z opadami deszczu dla całej Wielkopolski oraz poszczególnych stacji w latach 1981–2020. Wartości istotne statystycznie na poziomie

$$1 - \alpha = 0,05$$

Tab. 3. Linear trend coefficients for the seasonal average number of days with rainfall in the Wielkopolska and individual stations in the years 1981–2020.

Statistically significant values at the level of

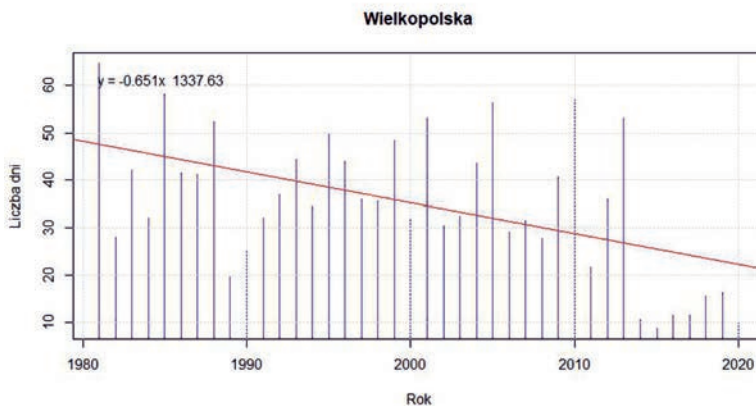
$$1 - \alpha = 0.05$$

Stacja Sezon	Wielkopolska	Poznań- Ławica	Kalisz	Koło	Leszno	Piła
Wiosna	0,075	0,092	0,011	0,139	0,051	0,084
Lato	0,001	-0,009	-0,007	0,029	0,012	-0,023
Jesień	0,053	0,039	0,010	0,145	0,040	0,030
Zima	0,261	0,142	0,058	0,356	0,434	0,317

Zmienność liczby dni z opadami śniegu

Podobne analizy zmienności czasowej jak wyżej przeprowadzono dla średniej rocznej liczby dni z opadami śniegu. Średnia wieloletnia z badanego okresu wynosi 35 dni. W ujęciu dla całego województwa (ryc. 13) z roku na rok widoczna jest duża zmienność. Najbardziej zwraca uwagę gwałtowny spadek liczby dni z opadami śniegu po roku 2014. Lata 2014–2020 stanowią okres z najmniejszą liczebnością takich dni – poniżej 20. Najwięcej dni z opadami śniegu w analizowanym okresie wystąpiło w roku 1981 (65 dni), stanowiąc zarazem jedyny rok z wartością powyżej 60.

Rozkłady czasowe średniej rocznej liczby dni z opadami śniegu dla poszczególnych stacji (ryc. 14) są stosunkowo podobne do rozkładu dla całej Wielkopolski. Dla stacji w Pile uwidacznia się okres o małej zmienności, tj. lata 1992–1999. Charakterystyczny na wszystkich stacjach jest okres 2014–2020, w którym nastąpił gwałtowny spadek notowanych wartości. Dla stacji Kalisz i Poznań-Ławica w tym okresie średnie roczne wartości nie przekroczyły 30 dni, tj. znacznie poniżej średniej wieloletniej. Na stacji w Kole w okresie 2015–2020 nie zanotowano ani jednego dnia z opadami śniegu. Podobna sytuacja wystąpiła na stacji w Lesznie i Pile, gdzie odpowiednio w latach 2015–2018 oraz 2015–2017 nie zanotowano dni z opadem śniegu.

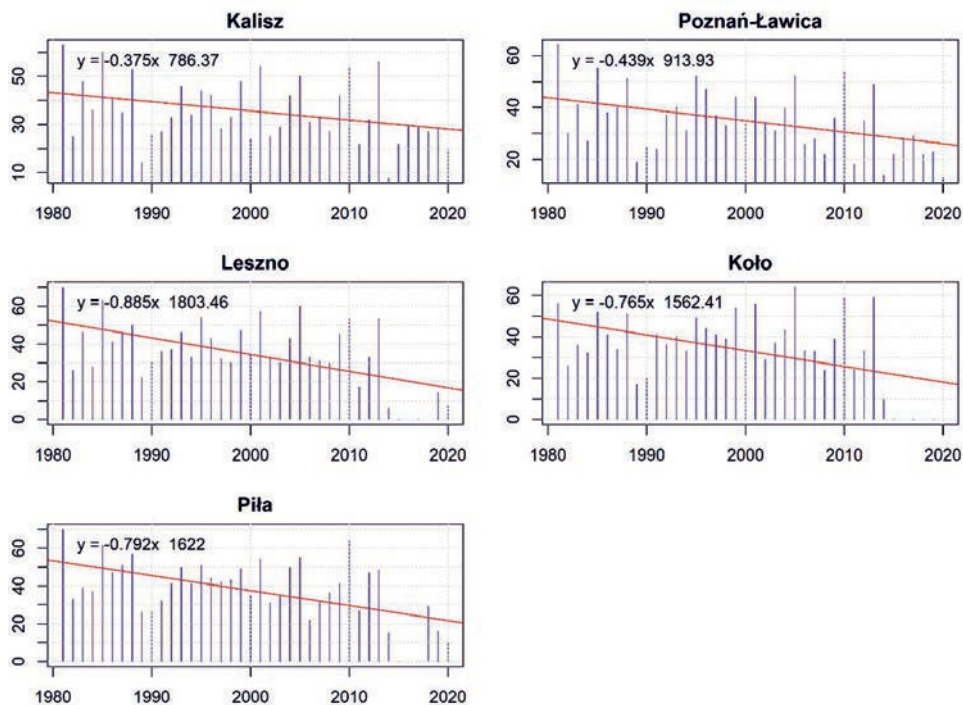


Ryc. 13. Średnia roczna liczba dni z opadami śniegu w Wielkopolsce wraz z trendem liniowym w latach 1981–2020

Fig. 13. Average annual number of days with snowfall in Wielkopolska along with a linear trend in 1981–2020

Dla całej Wielkopolski trend liczby dni z opadem śniegu jest malejący. Współczynnik kierunkowy trendu wynosi 0,65, co wskazuje na spadek liczby dni z opadami śniegu o 6 dni/10 lat. Dla wszystkich badanych stacji widoczny jest ujemny trend liczby dni z opadem śniegu. Szczególnie szybkie tempo spadku

występuje na stacjach Leszno, Koło i Piła. Największą tendencję spadkową zjawiska wykazuje stacja Leszno, gdzie liczba dni z opadami śniegu maleje w tempie 9 dni/10 lat. Najwolniej liczba ta maleje na stacji Kalisz (4 dni/10 lat). Wszystkie przedstawione trendy dotyczące liczby dni z opadami śniegu są istotne statystycznie na poziomie $1 - \alpha = 0,05$.



Ryc. 14. Średnia roczna liczby dni z opadami śniegu dla stacji na obszarze Wielkopolski w latach 1981–2020

Fig. 14. Average annual number of days with snowfall for stations in the Wielkopolska region in 1981–2020

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Średnia wieloletnia suma opadów atmosferycznych dla Wielkopolski z okresu 1981–2020 wynosi 523 mm. Najwyższe sumy opadów notowane są na północy i zachodzie województwa wielkopolskiego (548 mm), najniższe na południowym wschodzie (491 mm). W ujęciu sezonowym najwyższe sumy opadów atmosferycznych notowane są w okresie letnim – na zachodzie Wielkopolski pojawia się wtedy średnio 206 mm, a na wschodzie 185 mm opadu, natomiast najmniejsze występują w okresie zimowym – na południu średnio 82, a na północy 109 mm.

W pozostałych sezonach sumy opadów są podobne, odpowiednio minimalna i maksymalna średnia wartości dla obszaru Wielkopolski to 107–122 mm (wiosna), a także 112–121 mm (jesień).

Średnia roczna liczba dni z opadem atmosferycznym na obszarze Wielkopolski wynosi 163 dni. Rozkład przestrzenny liczby dni z opadem jest podobny do sum opadów, tj. najwyższe wartości występują na północy i zachodzie województwa (178 dni), najniższe natomiast na południowym wschodzie i w centrum (154 dni). W ujęciu sezonowym najwięcej dni z opadem występuje w okresie zimowym (od 44 na południu, do 53 dni na północy), natomiast najniższe w okresie wiosennym (od 35 dni na południu i w centrum do 39 na północy). Latem pada średnio przez 38 dni na południu i 41 dni na północy Wielkopolski, natomiast jesienią odpowiednio od 36 do 44 dni. Warto podkreślić, że wiosna i lato charakteryzują się najmniej zróżnicowanym obszarowo rozkładem częstości opadów w Wielkopolsce.

Średnia roczna liczba dni z opadami deszczu zdecydowanie przeważa nad średnią z opadem śniegu. W Wielkopolsce występuje przeciętnie 128 dni deszczowych (najwięcej na północy – 141 dni, najmniej w centrum i na wschodzie – 119–122) oraz 35 dni śnieżnych (najwięcej na północy – 37 dni, najmniej na wschodzie i w centrum – 33–34 dni).

Trendy rocznych sum opadów jak również liczby dni z opadem (łącznie deszczu i śniegu) za okres 1981–2020 nie wykazały znaczących tendencji zmian wieloletnich. Istotne statystycznie zmiany ujawniły się w trendach liczby dni z opadami deszczu oraz z opadami śniegu (analizowane osobno). W Wielkopolsce następuje wyraźna zmiana w strukturze liczby dni opadu deszczu i śniegu. Liczba dni z opadami deszczu wykazuje wyraźną tendencję wzrostową (4 dni/10 lat) – w najszybszym tempie przybywa dni z opadami deszczu na wschodzie Wielkopolski, natomiast liczba dni z opadami śniegu wykazuje tendencję malejącą (6 dni/10 lat). Ponadto liczba dni śnieżnych zmniejsza się szybciej niż wzrasta dni deszczowych, co prowadzi do ogólnego spadku liczby dni z opadami atmosferycznymi. W najszybszym tempie liczba dni ze śniegiem spada na stacji w Lesznie. Na niektórych stacjach w ostatniej dekadzie zdarzały się lata, w których nie odnotowano ani jednego dnia z opadem śniegu.

Zauważone zmiany dynamiki i struktury opadów atmosferycznych w Wielkopolsce można wiązać z globalnymi i regionalnymi zmianami klimatu. Z najnowszego raportu IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021) wynika, że wzrost globalnej temperatury ziemi w ciągu ostatnich 150 lat wynosi około 1,07°C, co na ogół uwidacznia się również w zmianie struktury opadów w wielu regionach – wzrost liczby dni z opadem deszczu i spadek liczby dni z opadem śniegu. Zmiany te są w dużej mierze spowodowane czynnikami antropogenicznymi. Wzrost średniej temperatury powietrza w ostatnich dekadach jest też zauważalny na obszarze Polski. Według Kożuchowskiego i Żmudzkiej (2001), w latach 1951–2000 wzrost ten wyniósł 0,18°C na dekadę. Według Graczyka i in. (2017),

w latach 1951–2013 tempo wzrostu wynosi już 0,21°C. IMGW-PIB (2021) podaje zaś, że temperatura powietrza w Polsce w okresie zimowym w latach 1951–2020 wzrosła o 2,5°C, a latem o 1,9°C. Analizy opadów dla Wielkopolski wykazały niewielki wzrost rocznej sumy opadów badanego 40-letnia, przy ogólnej tendencji spadkowej liczby dni z opadami. Postępujący wzrost temperatury powietrza wiąże się również z tendencją spadkową liczby dni z opadami śniegu w Wielkopolsce. Ciepłe powietrze może w sobie pomieścić więcej pary wodnej, ale również w cieplejszym powietrzu potrzeba więcej wilgoci do zainicjowania opadu atmosferycznego. Ta właściwość powietrza wiąże się zazwyczaj ze zmniejszeniem liczby dni z opadami atmosferycznymi przy wzrastającej temperaturze powietrza (Wibig 2020). Powyższe analizy wykazały niewielką tendencję spadkową ogólnej liczby dni z opadem atmosferycznym, na co potencjalnie mógł mieć również wpływ wzrost temperatury powietrza w Polsce.

Przyczynami zmian charakterystyk opadowych na obszarze Wielkopolski mogą być również zmiany w cyrkulacji atmosferycznej i w zachmurzeniu. Według Żmudzkiej (2009), te dwa czynniki w ujęciu wieloletnim wyjaśniają łącznie do 80% zmienności opadów atmosferycznych oraz temperatury powietrza. Z analiz Żmudzkiej (2009) wynika, że w Polsce w latach 1951–2000 w okresie zimowym następował spadek, a jesienią wzrost zachmurzenia. Zmniejszenie zachmurzenia niesie za sobą spadek opadów, co pokrywa się z uzyskanymi w niniejszej pracy wynikami, tj. notowaną nieznaczną tendencją spadkową sum opadów w okresie zimowym.

Obecnie w literaturze podkreśla się różnice wskazujące na zmianę reżimu opadowego, polegające na zmniejszeniu dysproporcji w sumach opadu między chłodną i ciepłą porą roku oraz na wzroście znaczenia opadów konwekcyjnych w ogólnej strukturze opadów atmosferycznych (Chernokulsky i in. 2019). Z tego powodu w przyszłych analizach warto zwrócić uwagę na sezonowe zmiany w strukturze opadów atmosferycznych w kontekście zmian klimatu w ujęciu lokalnym. Szczegółowym analizom należy poddać zmiany rocznego reżimu opadów atmosferycznych, a w szczególności okres zimowy i zmiany w strukturze opadu deszczu i śniegu oraz liczby dni z poszczególnymi rodzajami opadu.

LITERATURA

- Bednorz E. (red.), *Klimat Polski na tle klimatu Europy. Warunki termiczne i opadowe*. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, 117–130.
- Chernokulsky A., Kozlov F., Zolina O., Bulygina O., Mokhov I.I., Semenov V.A., 2019: *Observed changes in convective and stratiform precipitation in Northern Eurasia over the last five decades*. *Environmental Research Letters*, 14 (4), 045001.
- Farat R., 2004: *Atlas klimatu województwa Wielkopolskiego, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej*. Poznań, ss. 139.
- Farat R., 2010: *Zmienność opadów atmosferycznych w Polsce Północno-Zachodniej*, [w:] D. Graczyk, I. Pińskwar, A. Choiński i in., 2017: *Zmiany temperatury powietrza w Polsce*,

- [w:] Z.W. Kundzewicz, T. Okruszko O. Hov (red.), *Zmiany klimatu i ich wpływ na wybrane sektory w Polsce*. Projekt CHASE-PL, Poznań, 47–59.
- Klimat Polski 2020, 2021: *Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy*, <https://www.imgw.pl/sites/default/files/2021-04/imgw-pib-klimat-polsk-2020-opracowanie-final-rozkladowki-min.pdf>.
- Kożuchowski K., Żmudzka E., 2001: *Ocieplenie w Polsce: skala i rozkład sezonowy zmian temperatury w drugiej połowie XX w.* Przegląd Geofizyczny, 46 (1–2), 81–90.
- Peel M.C., Finlayson B.L., McMahon T.A., 2007: *Updated world map of the Köppen Geiger climate classification*. Hydrology and Earth System Sciences, 11, 1633–1644.
- R Core Team, 2022: *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Richling A., Solon J., Macias A. i in., 2021: *Regionalna geografia fizyczna Polski*. Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska, Poznań, ss. 608.
- Słownik meteorologiczny*, 2003: red. T. Niedźwiedź, wyd. Polskie Towarzystwo Geograficzne, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa, ss. 495.
- Szyga-Pluta K., 2018: *Zmienność czasowa i przestrzenna opadów atmosferycznych w Wielkopolsce w latach 1981–2014*. Przegląd Geograficzny, 90, 3, 495–516.
- Tamulewicz J., 1992: *Roczny przebieg opadów atmosferycznych na Nizinie Wielkopolskiej 1931–1980*. Badania fizjograficzne nad Polską zachodnią, 43 117–131.
- Wibig J., 2020: *Współczesne zmiany klimatu – obserwacje, przyczyny, prognozy. Zmiana klimatu – skutki dla polskiego społeczeństwa i gospodarki*, 13–46.
- Woś A., 1994: *Opady atmosferyczne i pokrywa śnieżna na Nizinie Wielkopolskiej*, [w:] A. Jędrzejczak (red.), *Klimat Niziny Wielkopolskiej*. Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań, 92–121.
- Ziernicka-Wojtaszek A., 2006: *Zmienność opadów atmosferycznych na obszarze Polski w latach 1971–2000*, [w:] J. Trepiańska, Z. Olecki (red.), *Klimatyczne aspekty środowiska geograficznego*. IGiGP UJ, Kraków, 139–148.
- Zmiana klimatu 2021. Podstawy fizyczne. Podsumowanie dla Decydentów*, 2021: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Żmudzka E., 2009: *Współczesne zmiany klimatu Polski*. Acta Agrophysica, 13, 2, 555–568.