

Gmina Miasto Suwałki  
ul. Mickiewicza 1, 16-400 Suwałki



Załącznik 2

# PLAN ADAPTACJI DO ZMIAN KLIMATU MIASTA SUWAŁEK DO ROKU 2030

## Charakterystyka zjawisk klimatycznych

Autorzy:

mgr Anna Romańczak  
dr inż. Maciej Jefimow  
mgr inż. Maria Kłeczek  
mgr Michał Marcinkowski

## SPIS TREŚCI

1.	Charakterystyka zjawisk meteorologicznych na podstawie danych historycznych .....	3
1.1.	Uwagi metodyczne .....	3
1.2.	Warunki termiczne .....	3
1.3.	Warunki termiczno-opadowe.....	16
	Warunki pluwialne (opady atmosferyczne) .....	17
1.4.	Warunki anemometryczne miasta .....	25
1.5.	Pokrywa śnieżna i opady śniegu.....	27
2.	Charakterystyka hydrologiczna .....	30
3.	Projekcje temperatury i opadu na obszarze miasta Suwałki w perspektywie do 2050 roku.....	42
3.1.	Uwagi wstępne .....	42
3.2.	Metodyka opracowania.....	43
3.3.	Prognozowane zmiany temperatury i opadu .....	46
3.4.	Wskaźniki suszy .....	80
3.5.	Podsumowanie .....	83
4.	Literatura .....	84

Załącznik 1. Indeksy klimatyczne

# 1. Charakterystyka zjawisk meteorologicznych na podstawie danych historycznych

## 1.1. Uwagi metodyczne

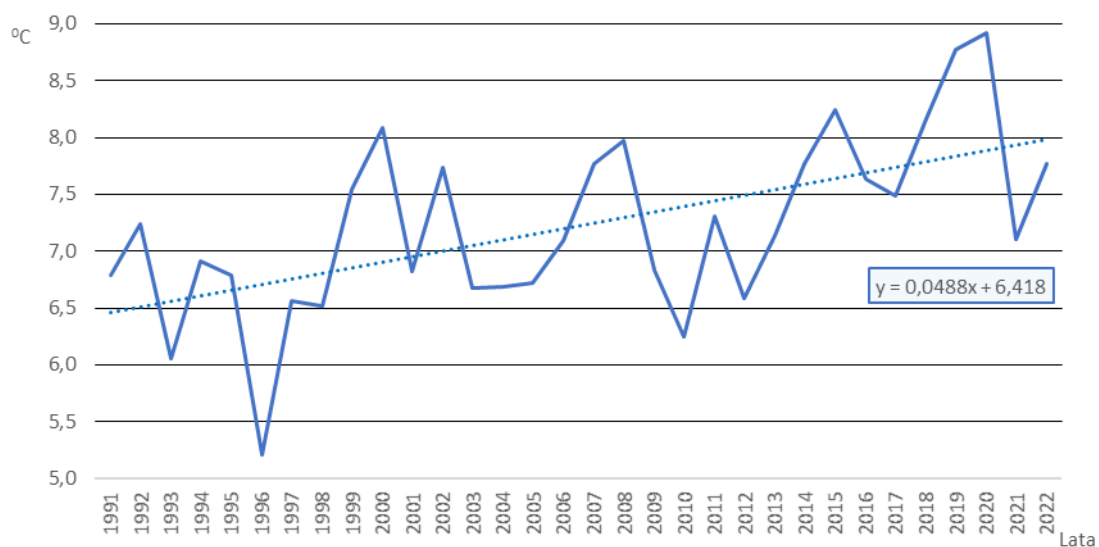
Warunki klimatyczne w mieście Suwałki zostały scharakteryzowane na podstawie danych meteorologicznych ze stacji hydrologiczno-meteorologicznej IMGW-PIB Suwałki położonej w północno-wschodniej części miasta (54°5'N, 22°56'E, 184 m n.p.m.). Na potrzeby analiz wykorzystano dane pomiarowe z okresu 1991-2022 (32 lata). Wartości parametrów meteorologicznych zarejestrowanych na stacji Suwałki należy traktować jako wskaźnikowe do oceny zjawisk klimatycznych w analizowanym obszarze, uznając, że różnią się od wartości wskaźników, które byłyby mierzone w centrum miasta. Zmienność zjawisk klimatycznych opisano przez średnie wieloletnie oraz najwyższe i najniższe wartości wybranych elementów i wskaźników klimatu.

## 1.2. Warunki termiczne

Charakterystyka warunków termicznych Suwałk obejmuje analizę wskaźników opisujących zjawiska klimatyczna znaczące ze względu na funkcjonowanie miasta:

- temperaturę średnią, temperaturę maksymalną i temperaturę minimalną,
- okresy upałów,
- okresy chłodu,
- temperaturę przejściową i termiczne dni charakterystyczne.

### Średnia roczna temperatura powietrza

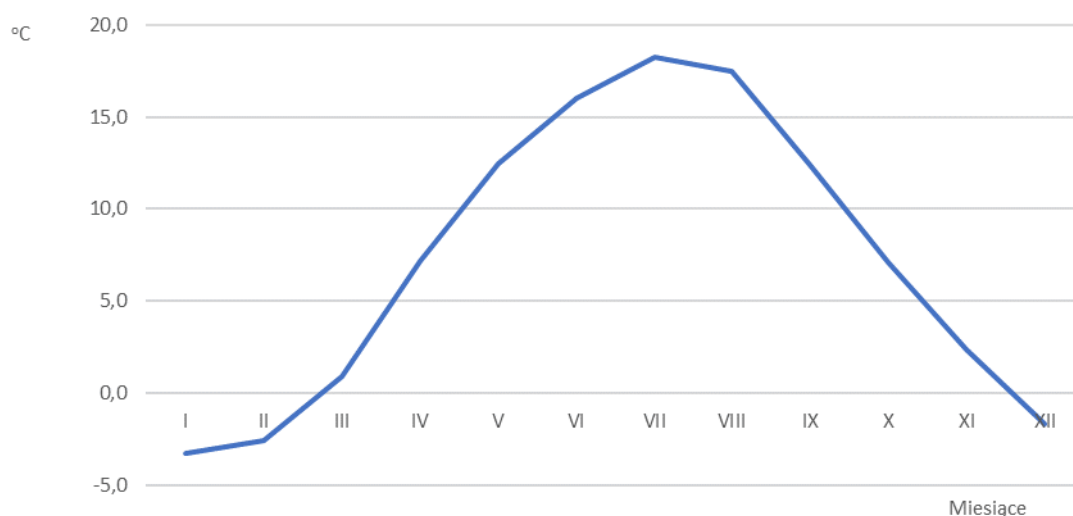


Rys. 1. Wieloletnia zmienność średniej rocznej temperatury powietrza, Suwałki

Przebieg średniej rocznej temperatury powietrza w latach 1991-2022 na wybranej stacji meteorologicznej reprezentującej warunki termiczne miasta Suwałki wskazuje na stopniowe ocieplanie klimatu omawianego obszaru.

Średnia roczna temperatura w analizowanym wieloleciu wyniosła 7,2°C. Wartości temperatury powietrza wahały się od 5,2°C w 1996 r. do 8,9°C w 2020 r. (rys.1). Analiza 32-letniego przebiegu rocznej temperatury wskazuje na wyraźny dodatni trend zmian temperatury średniej na poziomie około 0,5°C w dziesięcioleciu.

### Średnia miesięczna temperatura powietrza

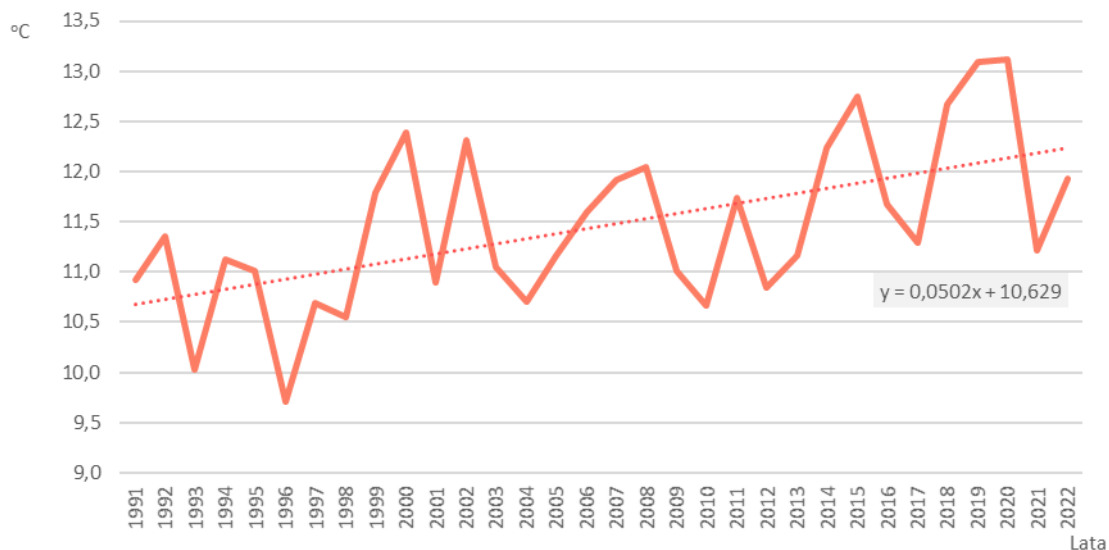


Rys. 2. Przebieg roczny średniej miesięcznej temperatury powietrza, Suwałki

Roczny przebieg średniej miesięcznej temperatury obliczonej jako wartość średnia z wielolecia 1991-2022 wskazuje, że najchłodniejszym miesiącem jest styczeń ze średnią temperaturą wynoszącą -3,2°C. Najcieplejszym miesiącem w wieloleciu jest lipiec ze średnią temperaturą 18,2°C.

### Temperatura maksymalna

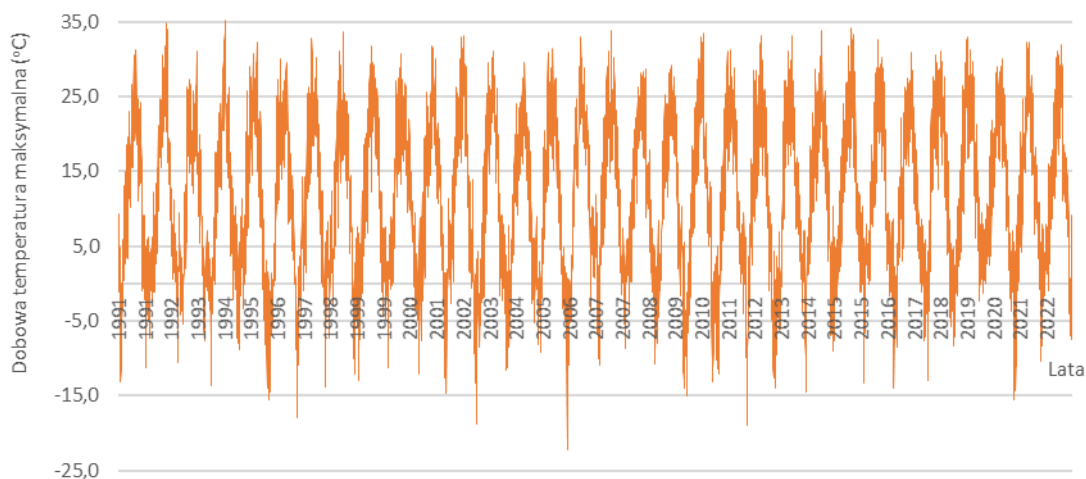
Wskaźnikiem zmian warunków termicznych jest także temperatura maksymalna powietrza (Tmax) w wieloleciu. W latach 1991-2022 zaznacza się wyraźny wzrost średniej rocznej temperatury maksymalnej.



Rys. 3. Przebieg średniej temperatury maksymalnej powietrza, Suwałki

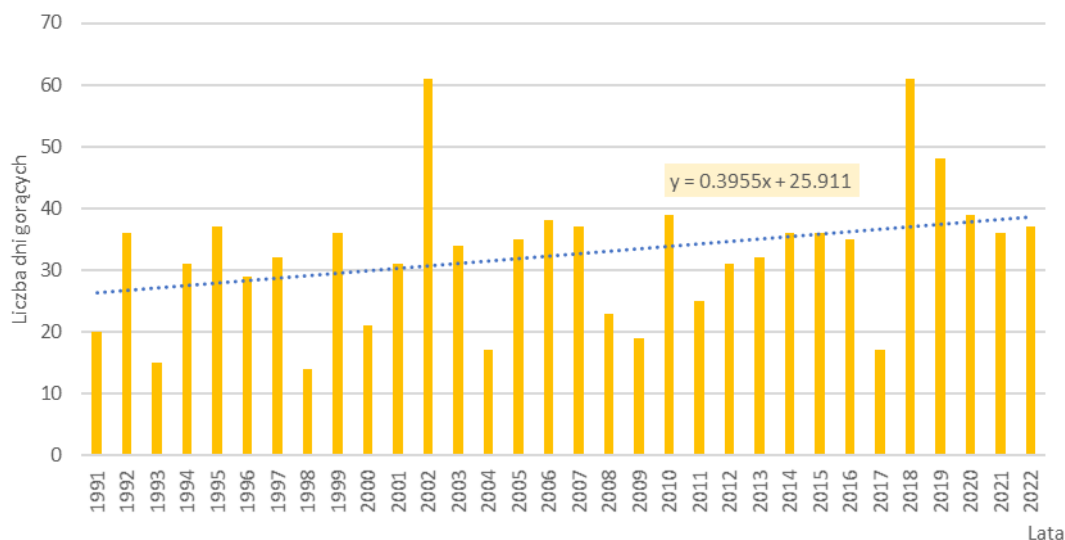
W analizowanym okresie średnia roczna temperatura maksymalna na reprezentatywnej dla Suwałk stacji meteorologicznej systematycznie rośnie w tempie blisko 0,5°C/dekadę (rys. 3), co oznacza jej wzrost o 1,5°C w 30-leciu. Temperatura przyjmuje wartości od 9,7°C w 1996 r. do 13,1°C w latach 2019 i 2020.

Najwyższą dobową wartość temperatury odnotowano 31 lipca 1994 r., gdy temperatura maksymalna osiągnęła 35,2°C (rys. 4).

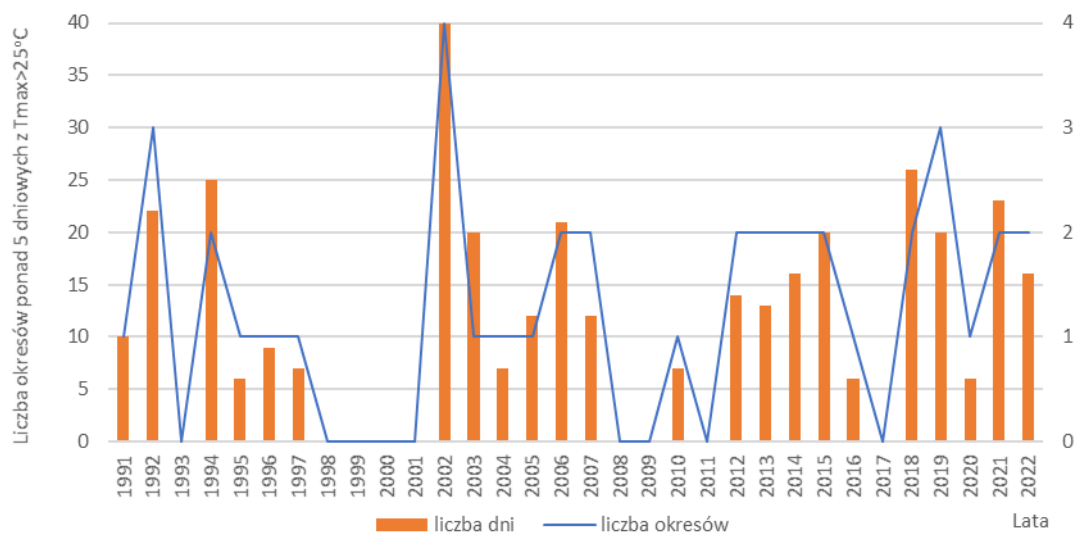


Rys. 4. Przebieg dobowej temperatury maksymalnej powietrza, Suwałki

## Dni gorące

Rys. 5. Liczba dni gorących ( $T_{max} > 25^{\circ}\text{C}$ ), Suwałki

Zmiany warunków termicznych miasta Suwałki, scharakteryzowane na podstawie wartości średniej rocznej temperatury i średniej temperatury maksymalnej, znajdują potwierdzenie w przebiegu innych wskaźników termicznych w badanym wieloleciu. Zmienność liczby dni gorących (rys. 5), tzn. dni z temperaturą maksymalną powyżej  $25^{\circ}\text{C}$ , świadczy o wzroście wartości najwyższej w ciągu doby temperatury. Najmniej dni z takimi warunkami termicznymi (dni gorących) było w roku 1998 (14 dni) najwięcej natomiast w roku 2002 i 2018 (61 dni). Wyraźnie zwiększa się liczba dni, w których temperatura powietrza przekracza wyznaczony próg termiczny  $25^{\circ}\text{C}$ , średnio o blisko 4 dni/dekadę.

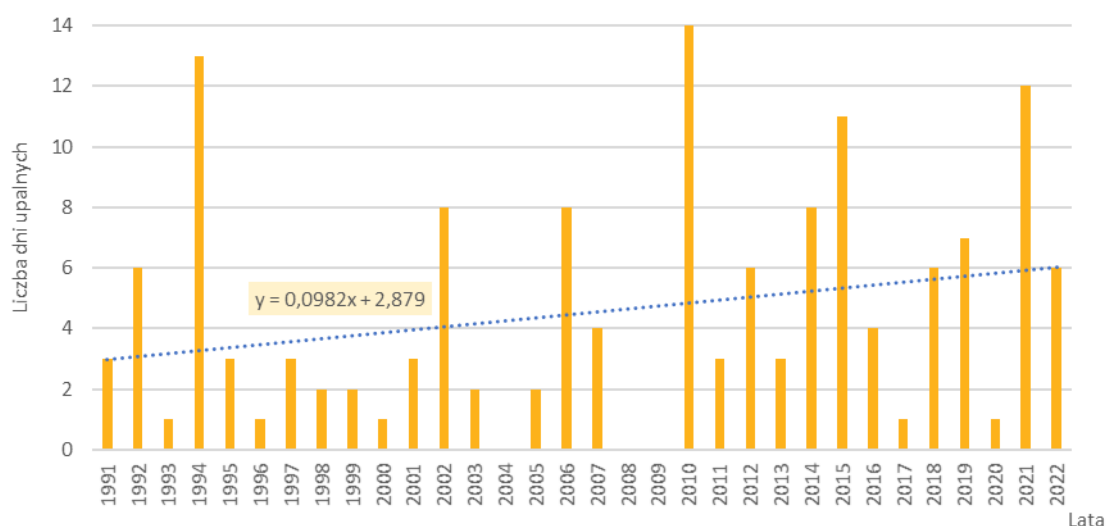
Rys. 6. Okresy ponad 5 dniowe z  $T_{max} > 25^{\circ}\text{C}$ , Suwałki

Liczba okresów gorących, tzn. z dobową temperaturą maksymalną przekraczającą  $25^{\circ}\text{C}$  utrzymującą się przez co najmniej 5 dni, nieznacznie się zwiększa (rys. 6). Tempo wzrostu wynosi około 0,2 okresu w ciągu dekady. Największa liczba okresów z takimi warunkami termicznymi wystąpiła w 2002 r. (4), natomiast aż 9 latach analizowanego wielolecia nie odnotowano takich sytuacji pogodowych.

Czas trwania okresów z temperaturą maksymalną przekraczającą 25°C wynosi średnio 11 dni. Najdłużej takie warunki termiczne utrzymywały się przez 20 dni w 2003 r. Największe natężenie zjawiska odnotowano w 2002 r. (4 okresy o łącznej długości 40 dni). W analizowanym wieloleciu występuje słaba tendencja wzrostowa długości takich okresów, o 1,6 dnia/dekadę.

## Dni upalne

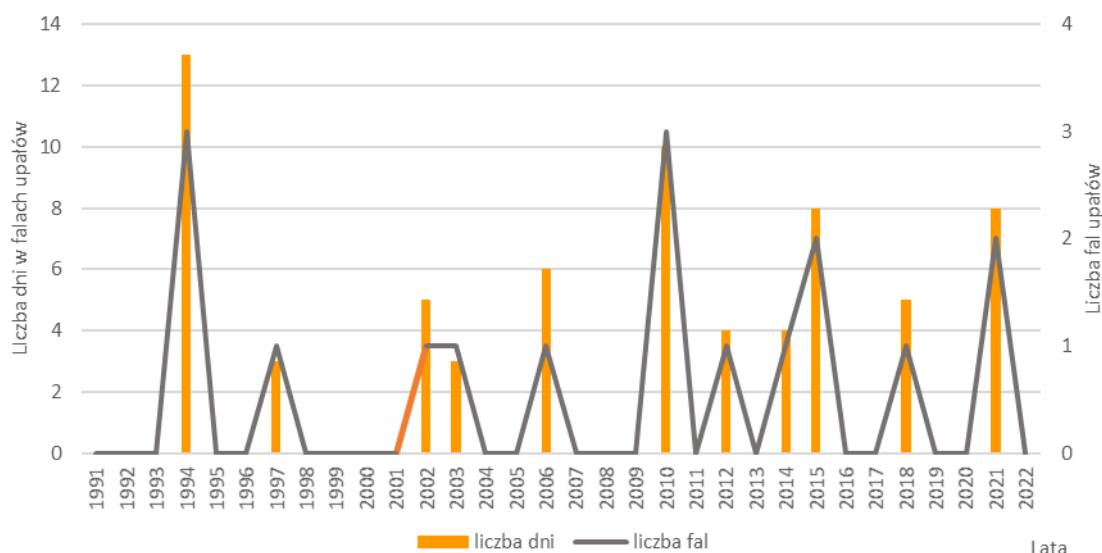
W okresie 1991-2022 zauważalny jest słaby wzrost liczby dni upalnych, tj. dni z maksymalną temperaturą przekraczającą 30°C. Takich dni przybywa średnio o jeden w dziesięciolecie (rys. 7). Na obszarze objętym badaniem zaobserwowano dużą zmienność liczby dni upalnych. Najwięcej dni z temperaturą wyższą od 30°C było w 2010 r. (14). W kilku latach w analizowanym wieloleciu takie przypadki były pojedyncze, tj. 1-2 dni w roku. Natomiast w 2008 r. i 2009 r. nie odnotowano temperatury powyżej 30°C.



Rys. 7. Liczba dni upalnych ( $T_{max} > 30^{\circ}\text{C}$ ), Suwałki

## Fale upałów

Fale upałów, definiowane jako ciąg przynajmniej trzech dni z temperaturą maksymalną powyżej 30°C w każdym dniu, odnotowano tylko w jedenastu z trzydziestu dwóch lat analizowanego wielolecia 1991-2022 (rys. 8). Temperatura powyżej 30°C przeciętnie utrzymywała się przez kolejne 4 dni. Najdłuższą trwającą falą upałów była siedmiodniowa fala upałów na przełomie lipca i sierpnia 1994 r. Najwięcej przypadków tego zjawiska termicznego wystąpiło w roku 1994 i 2010. W tych latach odnotowano po 3 fale upałów w roku o łącznej długości trwania, odpowiednio 13 i 10 dni (tab. 1).



Rys. 8. Liczba i okres trwania fal upałów, Suwałki

Zjawisko fal upałów charakteryzuje się bardzo dużą zmiennością w poszczególnych latach. Analiza przebiegu liczby i czasu trwania fal upałów wykazuje nieznaczne zwiększenie się częstotliwości i natężenia tego zjawiska w badanym okresie, tę tendencję wzrostową należy jednak uznać za mało istotną statystycznie.

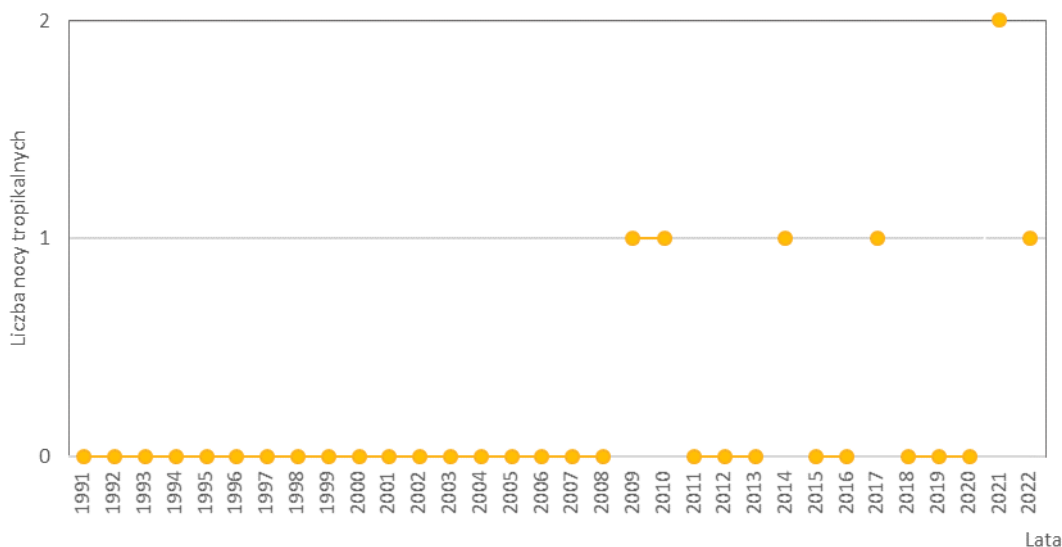
Tab. 1. Fale upałów w Suwałkach w latach 1991-2022

Data rozpoczęcia fali upałów	Data zakończenia fali upałów	Liczba dni	Najwyższa temperatura [°C]	Data wystąpienia	Data wystąpienia
1994-07-14	1994-07-16	3	32,7	1994-07-16	
1994-07-27	1994-08-02	7	34,6	1994-07-30	
1994-08-04	1994-08-06	3	32,9	1994-08-06	
1997-06-29	1997-07-01	3	32,8	1997-06-29	
2002-07-29	2002-08-02	5	33,2	2002-08-02	
2003-07-28	2005-07-30	3	31,4	2005-07-30	
2006-07-06	2006-07-11	6	33,0	2006-07-10	
2010-07-16	2010-07-18	3	32,1	2010-07-17	
2010-07-22	2010-07-24	3	32,9	2010-07-24	
2010-08-13	2010-08-16	4	33,4	2010-08-14	
2012-07-27	2012-07-29	3	33,2	2012-07-29	
2014-08-02	2014-08-05	4	33,9	2014-08-04	
2015-07-04	2015-07-06	3	31,7	2015-07-06	
2015-08-04	2015-08-08	5	34,2	2015-08-08	
2018-08-09	2019-06-13	5	32,6	2019-06-12	2019-06-13
2021-06-19	2021-06-23	5	32,3	2021-06-21	
2021-07-15	2021-07-17	3	32,3	2021-07-16	



## Noce tropikalne

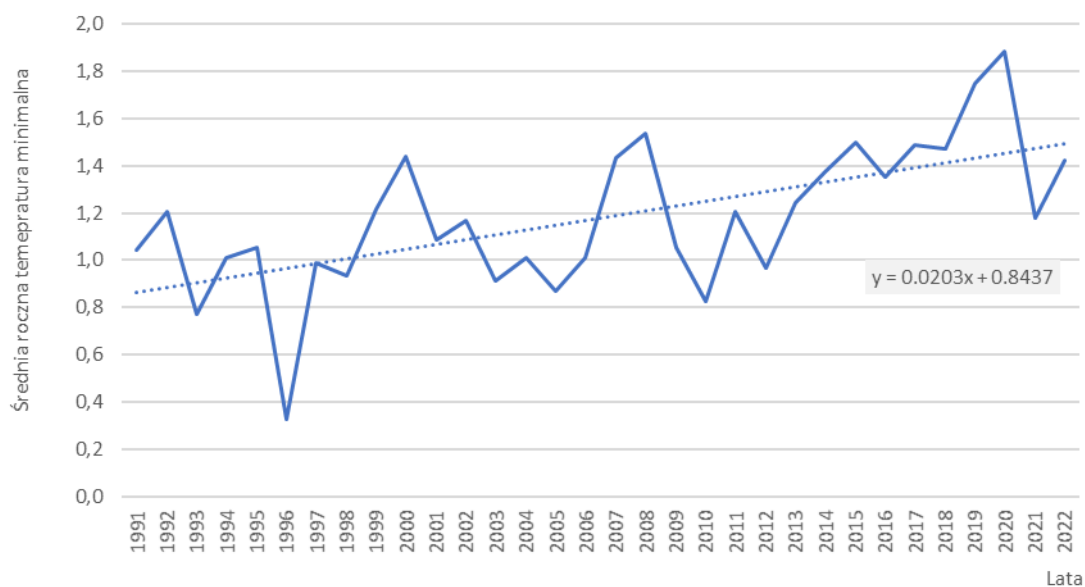
Dni z temperaturą minimalną dobową powyżej 20°C (noce tropikalne) występowały w Suwałkach niezwykle rzadko (rys. 9). W analizowanym okresie tylko 7 razy temperatura nie spadła poniżej 20°C w ciągu doby, a przez większość lat analizowanego okresu (25 lat) nie stwierdzono takich warunków termicznych. To sporadyczne zjawisko zaczęło się pojawiać od 2009 r., zazwyczaj tylko raz w roku, z wyjątkiem 2021 r., w którym zaobserwowano dwa takie przypadki.



Rys. 9. Dni z temperaturą minimalną >20°C, Suwałki

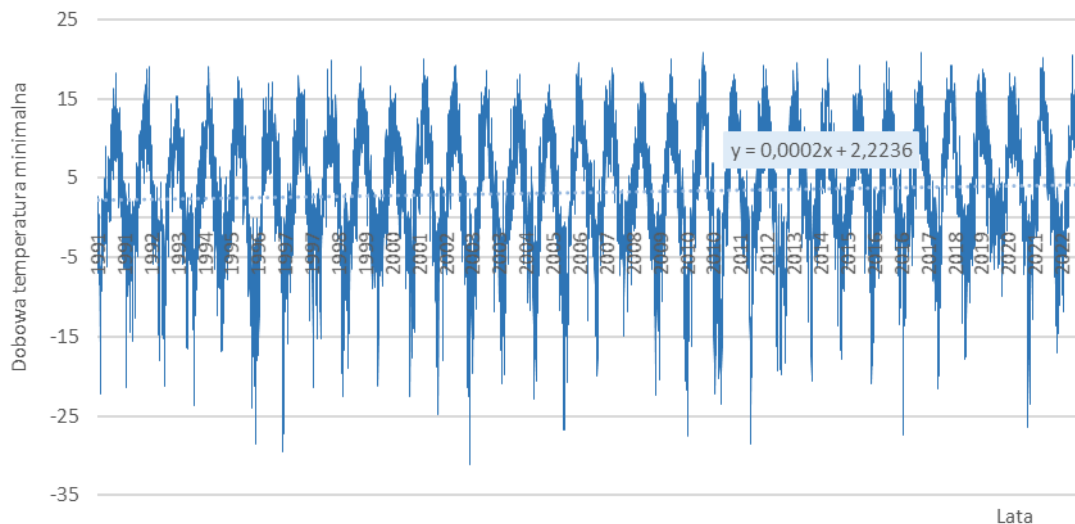
## Temperatura minimalna

Tendencję wzrostową obserwuje się również w przebiegu wieloletnim temperatury minimalnej powietrza. Analizy wskazują na ocieplenie w tempie 0,2°C/dekadę (rys. 10), co oznacza wzrost średniej rocznej temperatury powietrza o 0,6°C w 30-leciu. W latach 1991-2022 najchłodniejszym rokiem był 1996 ze średnią roczną temperaturą minimalną 0,3°C, a najcieplejszy rok 2020 r. z wartością temperatury 1,9°C.



Rys. 10. Przebieg średniej temperatury minimalnej powietrza, Suwałki

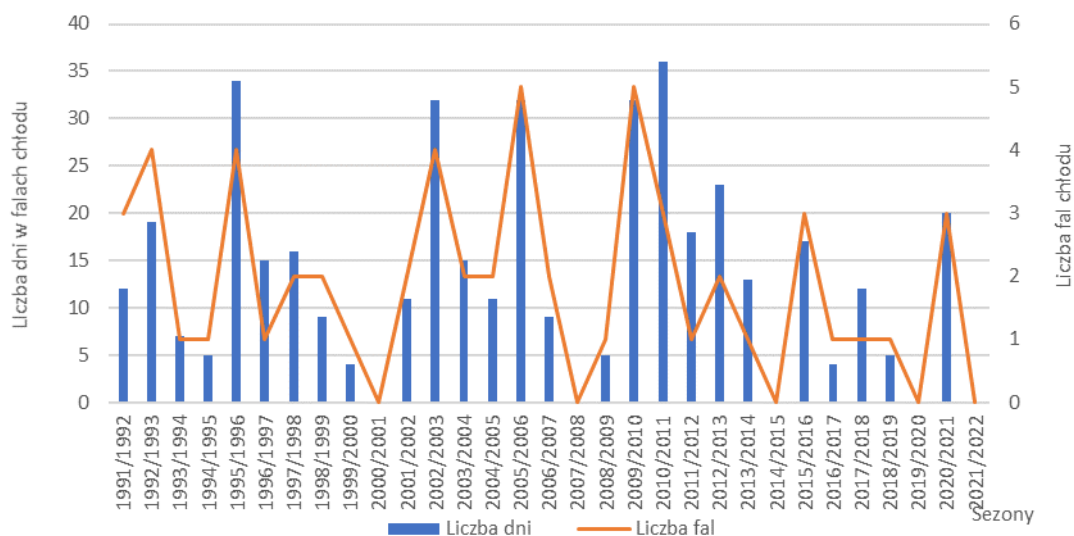
Najniższą w ciągu doby wartość temperatury powietrza w analizowanym wieloleciu odnotowano 7 stycznia 2003 r., gdy temperatura minimalna osiągnęła  $-31,1^{\circ}\text{C}$  (rys. 11).



Rys. 11. Przebieg dobowej temperatury minimalnej powietrza, Suwałki

### Fale chłodu

Fale chłodu, definiowane jako okresy z temperaturą minimalną poniżej  $-10^{\circ}\text{C}$  utrzymującą się przez co najmniej 3 dni, występowały w Suwałkach średnio 2 razy w roku, trwając przeciętnie 7 dni. W analizowanym okresie zidentyfikowano 58 takich zjawisk, utrzymujących się od 4 do 20 dni. Najdłuższa fala chłodu wystąpiła w lutym 2011 r. Natężenie fal chłodu było największe w sezonie zimowym 2010/2011 – 3 fale, trwające łącznie 36 dni. Natomiast w 5 sezonach zimowych opisywane zjawisko nie zaistniało (rys. 12, tab. 2). Analiza fal chłodu w wieloleciu wskazuje na znikomą tendencję zmniejszania częstości ich występowania. W przypadku pojedynczych fal chłodu ulega niewielkiej zmianie czas ich trwania z tendencją do dłuższego utrzymywania się takich warunków termicznych.



Rys. 12. Liczba i okres trwania fal chłodu, Suwałki

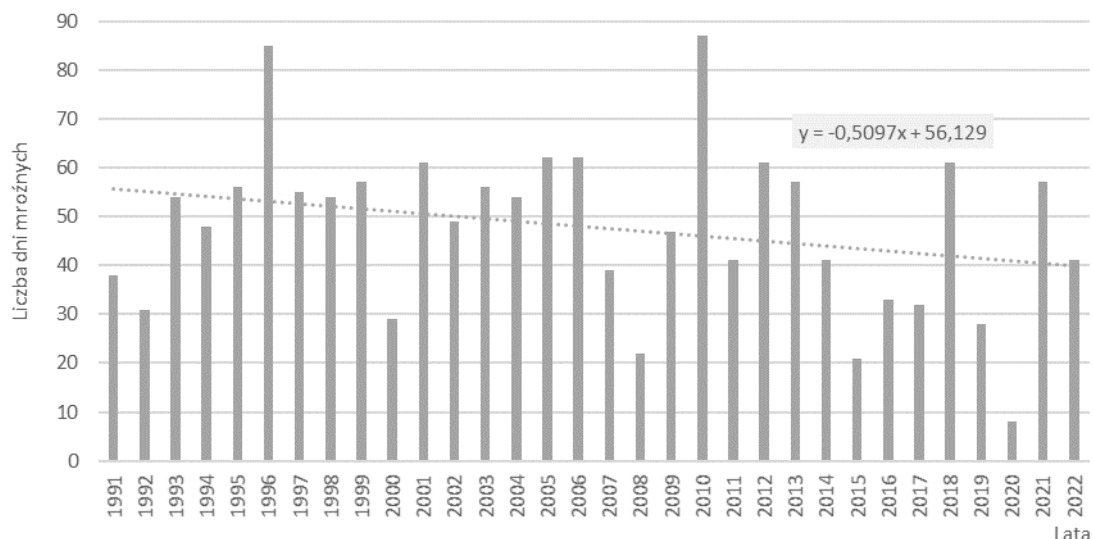
Tab. 2. Fale chłodu w Suwałkach (sezony 1991/1992-2021/2022)

Data rozpoczęcia fali chłodu	Data zakończenia fali chłodu	Liczba dni	Najniższa temperatura [°C]	Data wystąpienia	Data wystąpienia
1991-01-30	1991-02-02	4	-22,2	1991-02-01	
1991-02-05	1991-02-08	4	-17,7	1991-02-06	
1992-01-19	1992-01-22	4	-14,4	1992-01-21	
1992-12-23	1992-12-27	5	-14,8	1992-12-25	
1993-01-01	1993-01-06	6	-18,1	1993-01-04	
1993-01-29	1993-02-01	4	-14,8	1993-01-30	
1993-03-03	1993-03-06	4	-21,3	1993-03-05	
1994-02-12	1994-02-18	7	-23,7	1994-02-13	
1995-01-17	1995-01-21	5	-13,8	1995-01-19	
1995-12-05	1995-12-08	4	-13,6	1995-12-07	
1995-12-21	1996-01-02	13	-22,5	1995-12-31	
1996-01-22	1996-01-29	8	-21,2	1996-01-25	
1996-02-04	1996-02-12	9	-28,6	1996-02-09	
1996-12-23	1997-01-06	15	-29,6	1996-12-27	
1997-12-15	1997-12-19	5	-21,5	1997-12-17	
1998-03-16	1998-11-26	11	-19,7	1998-11-22	
1998-11-30	1998-12-04	5	-22,6	1998-12-02	
1999-01-29	1999-02-01	4	-19	1999-01-31	
2000-01-22	2000-01-25	4	-21,3	2000-01-24	
2001-12-04	2001-12-09	6	-17,2	2001-12-07	
2001-12-21	2001-12-25	5	-15,5	2001-12-23	
2002-12-06	2002-12-11	6	-21,5	2002-12-09	
2002-12-22	2002-12-27	6	-22,5	2002-12-23	
2002-12-30	2003-01-12	14	-31,1	2003-01-07	
2003-02-22	2003-02-27	6	-15,3	2003-02-26	
2004-01-03	2004-01-11	9	-16,7	2004-01-07	

Data rozpoczęcia fali chłodu	Data zakończenia fali chłodu	Liczba dni	Najniższa temperatura [°C]	Data wystąpienia	Data wystąpienia
2004-01-21	2004-01-26	6	-20,9	2004-01-26	
2005-02-05	2005-02-10	6	-22,9	2005-02-08	
2005-03-01	2005-03-05	5	-20,6	2005-03-02	
2006-01-15	2006-01-27	13	-26,7	2006-01-20	
2006-02-04	2006-02-07	4	-26,8	2006-02-06	
2006-02-11	2006-02-14	4	-14,9	2006-02-13	
2006-03-05	2006-03-11	7	-20,7	2006-03-09	
2006-03-22	2006-03-25	4	-13,5	2006-03-22	
2007-02-09	2007-02-12	4	-16,8	2007-02-10	
2007-02-21	2007-02-25	5	-19,9	2007-02-23	
2009-01-04	2009-01-08	5	-22,4	2009-01-05	
2009-12-16	2009-12-22	7	-20,6	2009-12-20	
2010-01-13	2010-01-16	4	-17,8	2010-01-16	
2010-01-19	2010-01-28	10	-27,5	2010-01-24	2010-01-25
2010-02-07	2010-02-11	5	-15,6	2010-02-07	
2010-03-07	2010-03-12	6	-16,3	2010-03-08	
2010-11-29	2010-12-04	6	-18,7	2010-12-01	
2010-12-13	2010-12-22	10	-22,2	2010-12-15	
2011-02-13	2011-03-04	20	-23,5	2011-02-24	
2012-01-27	2012-02-13	18	-28,6	2012-02-03	
2012-12-20	2012-12-24	5	-19,3	2012-12-23	
2013-01-18	2013-01-28	11	-19,8	2013-01-26	
2013-03-22	2013-03-28	7	-15,6	2013-03-23	
2014-01-19	2014-01-31	13	-20,6	2014-01-24	
2015-12-31	2016-01-08	9	-18,6	2016-01-05	
2016-01-16	2016-01-19	4	-14,3	2016-01-19	
2016-01-21	2016-01-24	4	-15,7	2016-01-22	
2017-01-05	2017-01-08	4	-27,4	2017-01-07	
2018-02-22	2018-03-05	12	-21,6	2018-02-26	
2019-01-23	2019-01-27	5	-17,6	2019-01-24	
2021-01-15	2021-01-20	6	-26,4	2021-01-18	
2021-02-05	2021-02-13	9	-23,5	2021-02-07	
2021-02-15	2021-02-19	5	-17,3	2021-02-19	

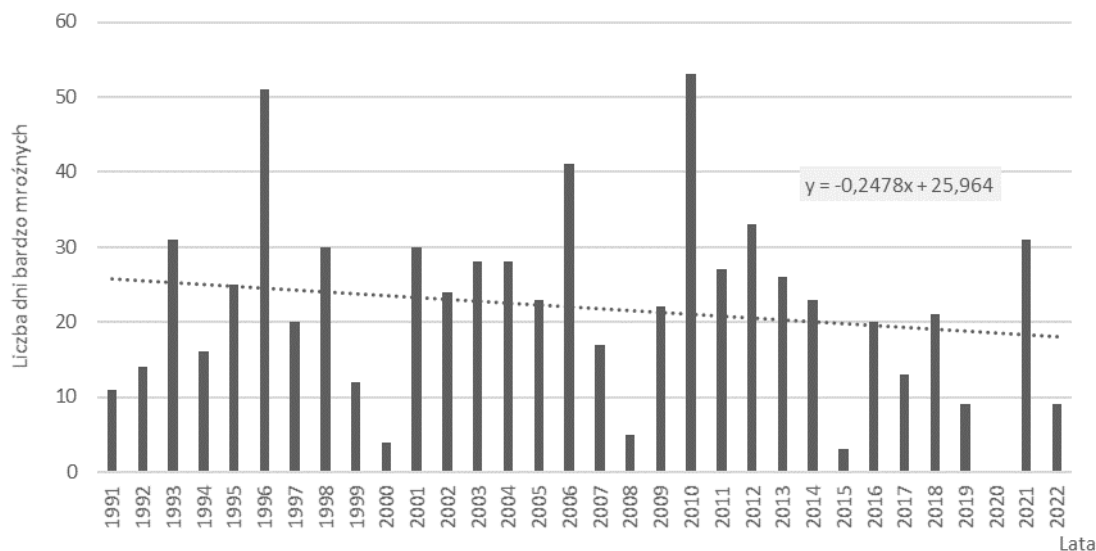
### Dni mroźne

Dni mroźnych (dni z temperaturą maksymalną poniżej 0°C) w Suwałkach jest średnio 48 w roku. Charakterystyczna jest duża zmienność występowania takich warunków termicznych, od 8 dni w roku 2020 do 87 dni w roku 2010 (rys. 13). Liczba dni mroźnych wykazuje tendencję spadkową w analizowany wielolecie, o około 5 dni/dekadę.

Rys. 13. Liczba dni mroźnych ( $T_{max} < 0^{\circ}\text{C}$ ), Suwałki

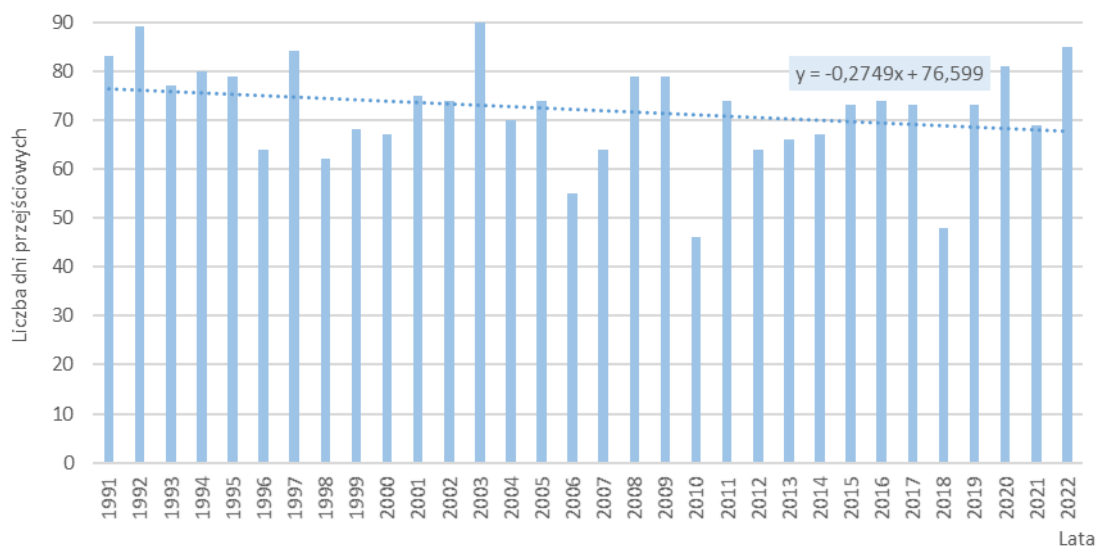
### Dni bardzo mroźne

Liczba dni z temperaturą maksymalną poniżej  $-10^{\circ}\text{C}$ , określanych jako dni bardzo mroźne, sięga około 4 w roku. Występuje duże zróżnicowanie zjawiska dni bardzo mroźnych w analizowanym wieloleciu (rys. 14). Najwięcej takich dni pojawiło się w roku 1996 i roku 2010, odpowiednio 51 i 53. Natomiast w siedmiu latach w analizowanym wieloleciu takie warunki termiczne nie wystąpiły. Zauważany jest spadek liczby dni bardzo mroźnych, średnio o 2 dni/dekadę.

Rys. 14. Dni bardzo mroźne ( $T_{max} < -10^{\circ}\text{C}$ ), Suwałki

### Dni z temperaturą przejściową

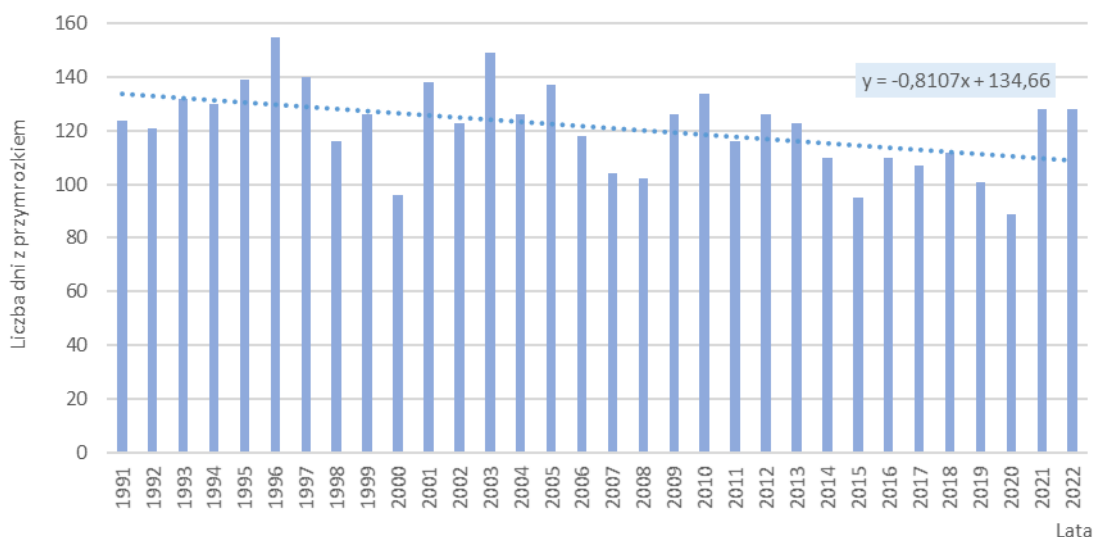
Dni z temperaturą przejściową, tzn. dni w których temperatura powietrza przechodzi przez punkt 0°C, przeciętnie jest 72 w roku (rys. 15). Zakres zmienności ich liczby w wieloleciu waha się od 46 dni w 2010 r. do 90 dni w 2003 r. W badanym okresie stwierdzono spadek liczby takich dni o blisko 3 dni/dekadę.



Rys. 15. Dni z przejściem przez 0°C, Suwałki

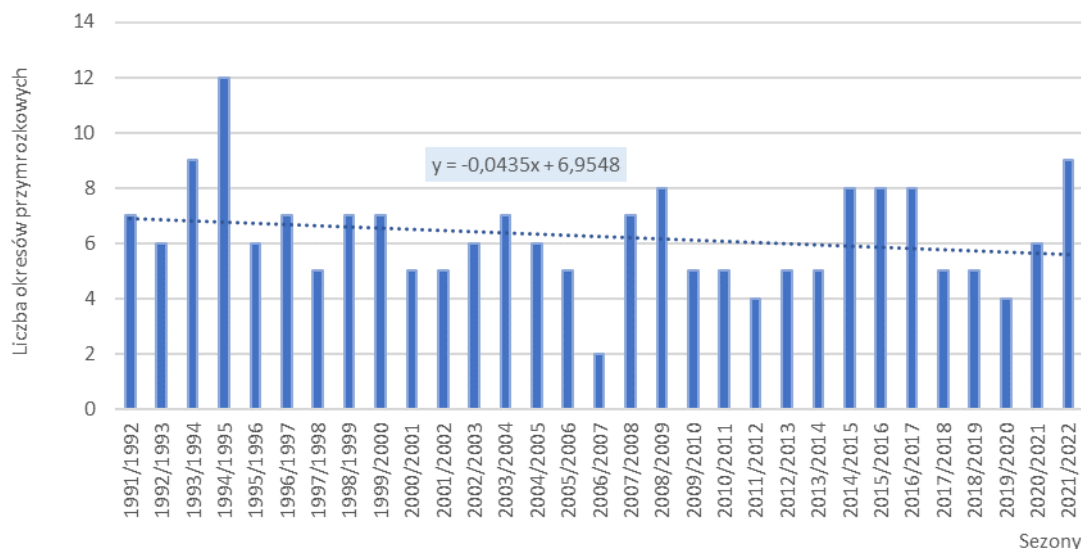
### Dni i okresy przymrozkowe

Dni z temperaturą minimalną poniżej 0°C (dni przymrozkowe) jest średnio 121 w roku. Ich liczba w poszczególnych latach analizowanego okresu sięga od 89 dni w 2020 r. do 155 dni w 1996 r. (rys. 16). Liczba dni o takich warunkach termicznych wykazuje tendencję spadkową o 8 dni/dekadę.



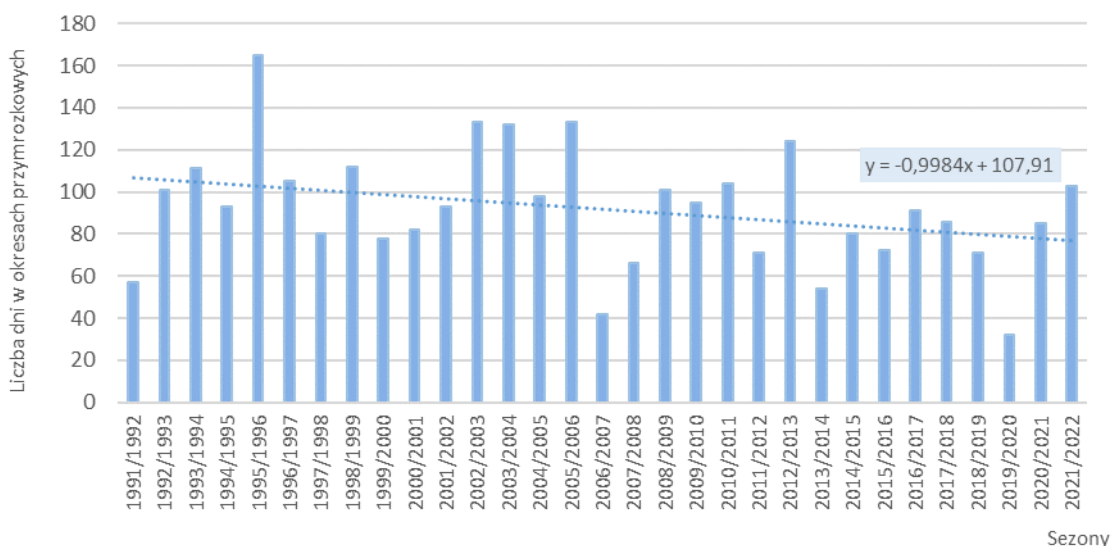
Rys. 16. Dni przymrozkowe ( $T_{min} < 0^{\circ}\text{C}$ ), Suwałki

Okresy przymrozkowe, definiowane jako okresy z dobową temperaturą minimalną poniżej 0°C utrzymującą się przez co najmniej 5 dni, występują średnio 6 razy w roku w analizowanych wieloleciach (rys. 17). Największe natężenie tego zjawiska odnotowano w sezonie 1994/1995 (12 okresów przymrozkowych), najmniejszą ich liczbę natomiast w sezonie 2006/2007 (2 okresy przymrozkowe). Następuje niewielki spadek liczby okresów przymrozkowych, o około 0,4 na dekadę).



Rys. 17. Okresy przymrozkowe, Suwałki

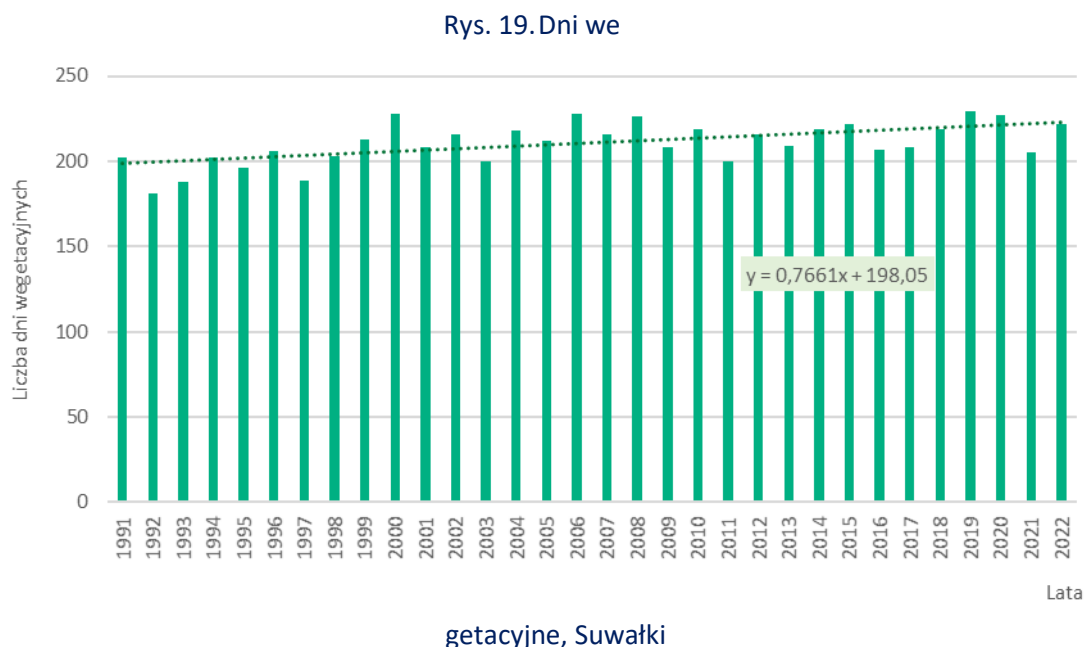
Liczba dni w okresach przymrozkowych w poszczególnych latach wielolecia waha się od 32 dni w sezonie 2019/2020 do 165 dni w sezonie 1995/1996 (rys. 18). Najdłuższy okres przymrozkowy, trwający 92 dni, odnotowano w sezonie 2005/2006. Liczba dni w okresach przymrozkowych wykazuje tendencję spadkową, średnio prawie o 10 dni/dekadę.



Rys. 18. Liczba dni w okresach przymrozkowych, Suwałki

## Dni wegetacyjne

Średnia roczna liczba dni wegetacyjnych, definiowanych jako dni ze średniodobową temperaturą powietrza przekraczającą 5°C, wynosi średnio 211 w latach 1991- 2022. Roczna liczby dni wegetacyjnych zmienia się z 181 w 1992 r. do 229 w 2019 roku (rys. 19). W analizowanym wieloleciu zaznacza się silny trend wzrostu liczby dni wegetacyjnych, o około 8 dni/dekadę.

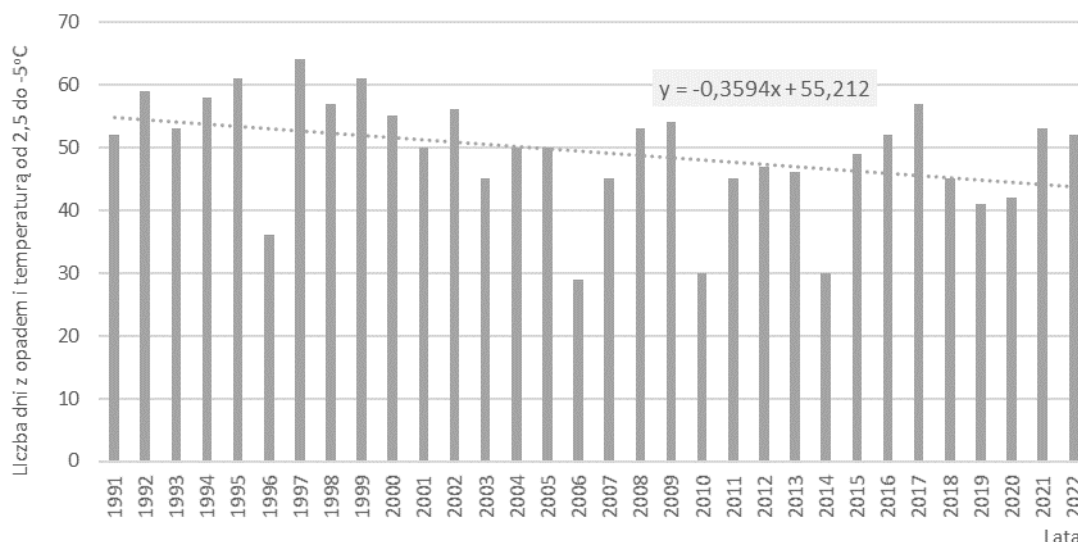


## 1.3. Warunki termiczno-opadowe

Dni z temperaturą powietrza w przedziale od -5°C do +2,5°C i jednoczesnym wystąpieniem opadów atmosferycznych

Liczba dni charakteryzujących się występowaniem opadu powyżej 1 mm i średniodobową temperaturą powietrza osiągającą wartość w przedziale od -5°C do +2,5°C, wynosi średnio 49 w roku. Takie warunki termiczno-opadowe cechuje duże zróżnicowanie w analizowanym wieloleciu, od 29 dni w 2006 r. do 64 dni w 1997 r. (rys. 20). Liczba takich charakterystycznych pogodowo dni wykazuje silną tendencję spadkową, średnio o 4 dni/dekadę.





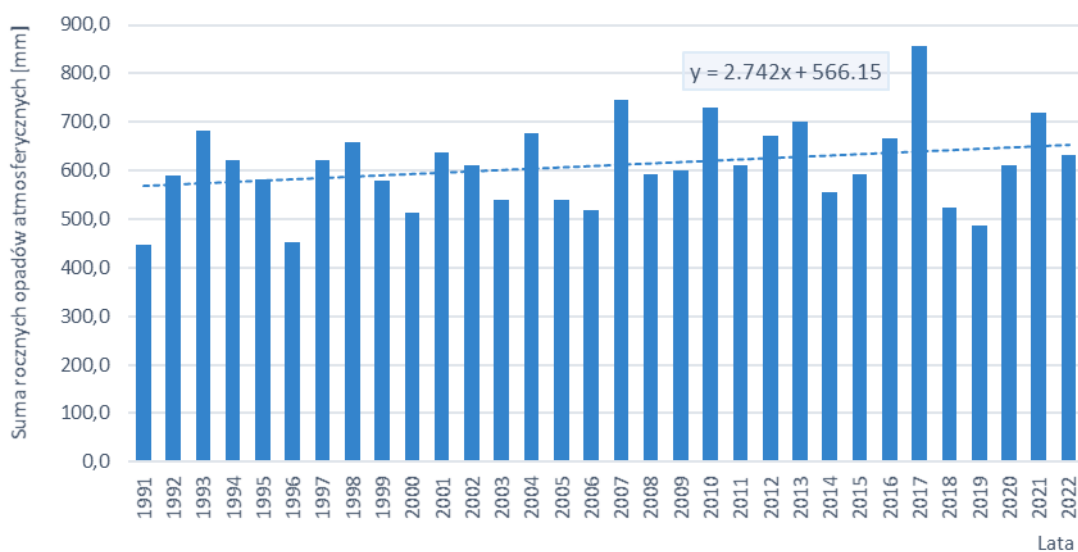
Rys. 20. Dni z temperaturą od +2,5°C do -5°C i opadem, Suwałki

## 1.4. Warunki pluwialne (opady atmosferyczne)

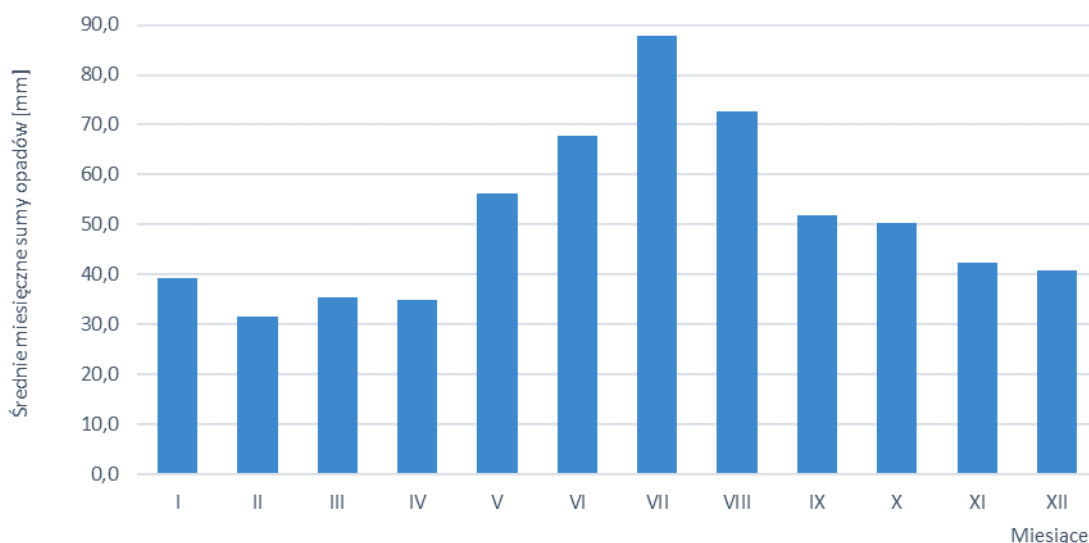
Charakterystyka warunków pluwialnych miasta Suwałki obejmuje przebieg wieloletnich i rocznych opadów atmosferycznych oraz zmienność liczby dni z opadem w określonych przedziałach. Analizy dotyczą danych pomiarowych ze stacji Suwałki.

### Sumy roczne i miesięczne opadów

Średnie roczne opady atmosferyczne osiągają wartość około 611 mm. W analizowanym wieloleciu występuje duża zmienność rocznych sum opadów (rys. 21) od 448 mm w roku 1991 do 856 mm w roku 2017. Analiza rocznych sum opadów wskazuje na tendencję wzrostową, średnio o 27 mm/dekadę.



Rys. 21. Przebieg wieloletni sum rocznych opadów atmosferycznych, Suwałki

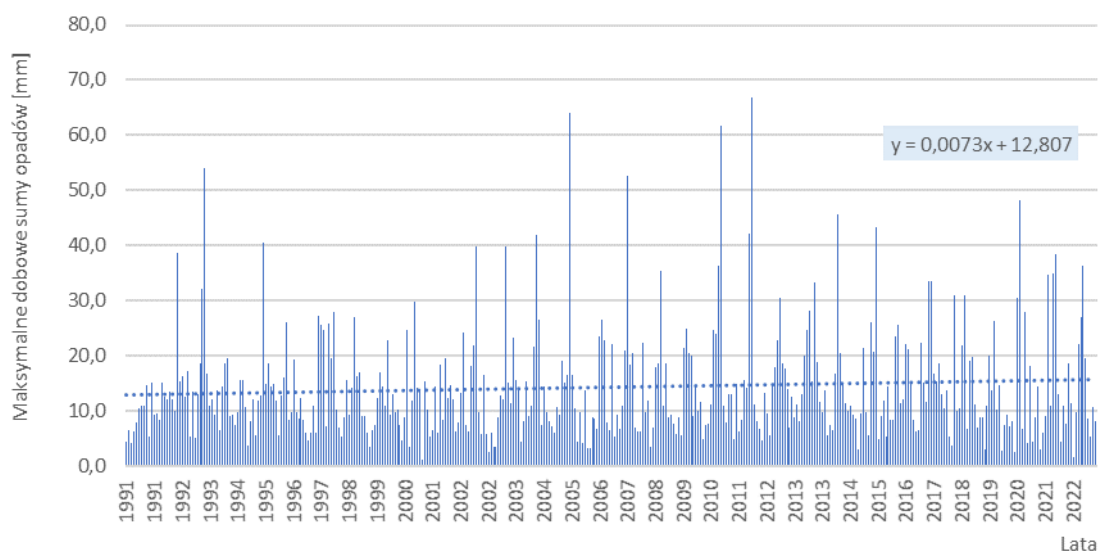


Rys. 22. Średnie miesięczne sumy opadów atmosferycznych, Suwałki

W przebiegu rocznym największe średnie sumy opadów występują w lipcu (87,9 mm), natomiast najniższe są w lutym (31,7 mm) (rys. 22).

#### Maksymalne dobowe opady w miesiącu

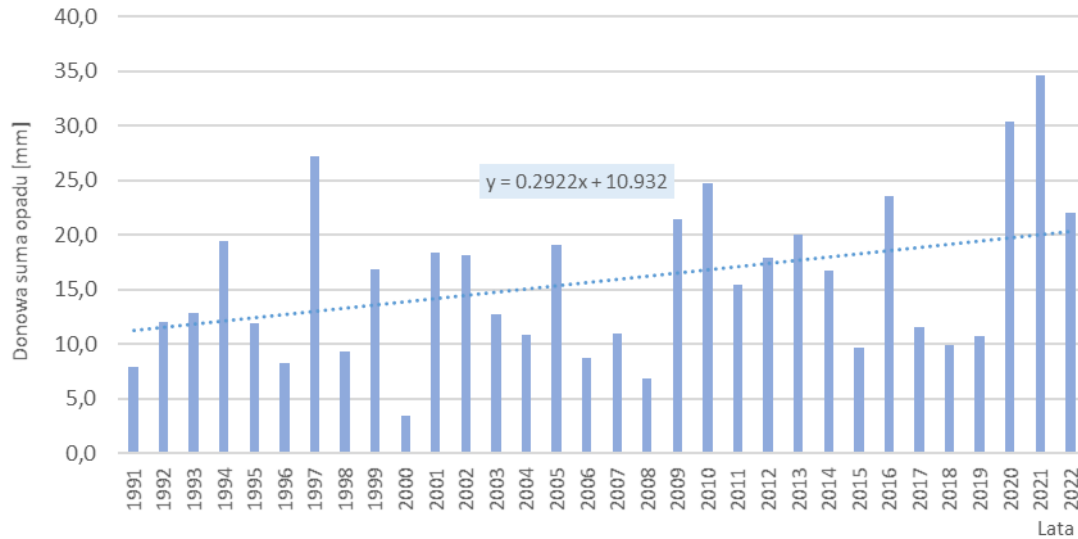
W przebiegu wieloletnim najwyższą wartość maksymalnych opadów dobowych (rys. 23) odnotowano w sierpniu 2011 r. (66,8 mm), a najniższą dobową sumę opadów zaobserwowano w październiku 2000 r. (1,2 mm).



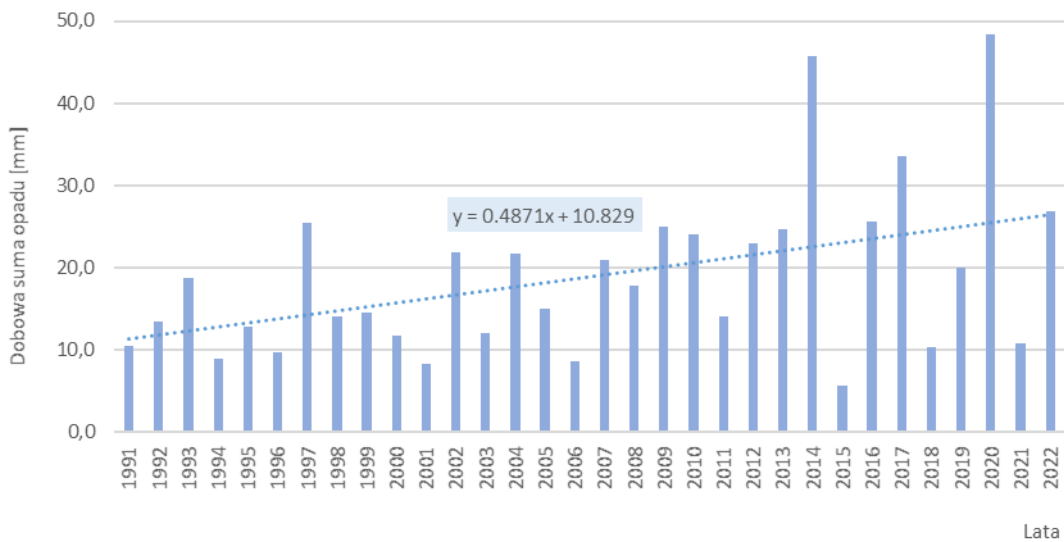
Rys. 23. Przebieg wieloletni maksymalnych dobowych opadów atmosferycznych w miesiącu, Suwałki

Przebieg wieloletni maksymalnych dobowych opadów w miesiącach wiosenno-letnich (okres od maja do sierpnia) wykazuje tendencję wzrostową (rys. 24-27). W dziesięcioleciu maksymalne dobowe

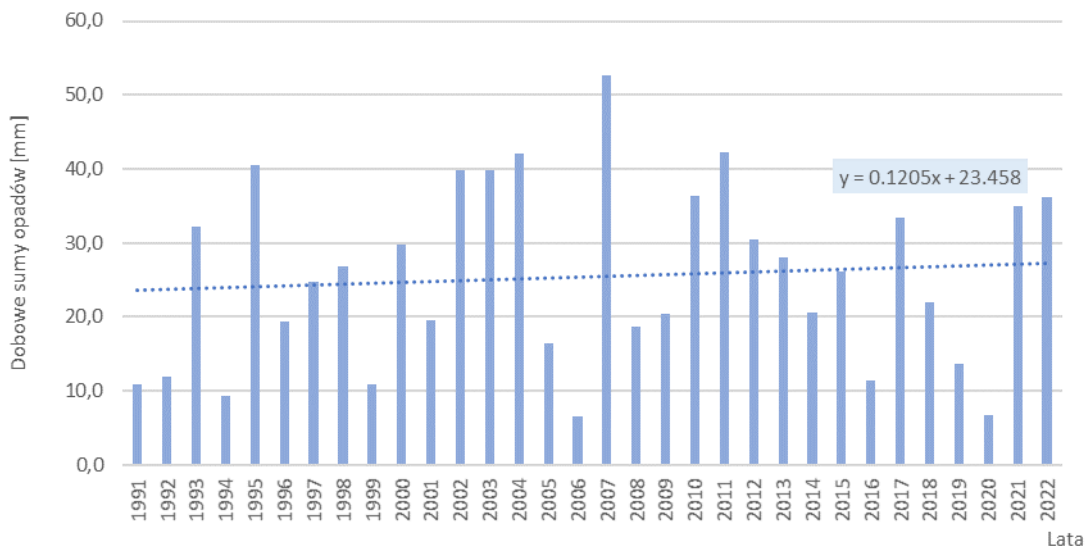
opady zwiększają się o blisko 5 mm w czerwcu, 4 mm w sierpniu, o prawie 3 mm w maju i o 1 mm w lipcu.



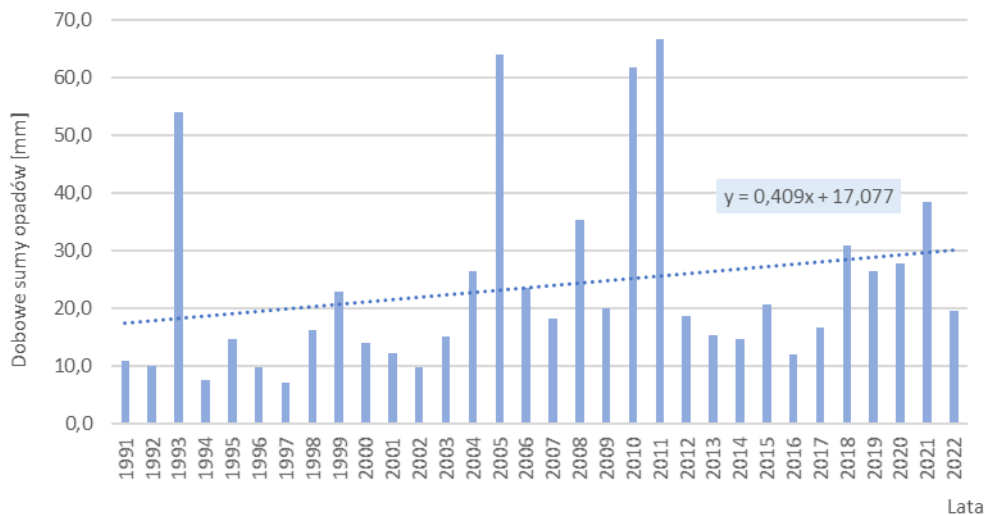
Rys. 24. Przebieg wieloletni maksymalnych dobowych opadów atmosferycznych w maju, Suwałki



Rys. 25. Przebieg wieloletni maksymalnych dobowych opadów atmosferycznych w czerwcu, Suwałki



Rys. 26. Przebieg wieloletni maksymalnych dobowych opadów atmosferycznych w lipcu, Suwałki

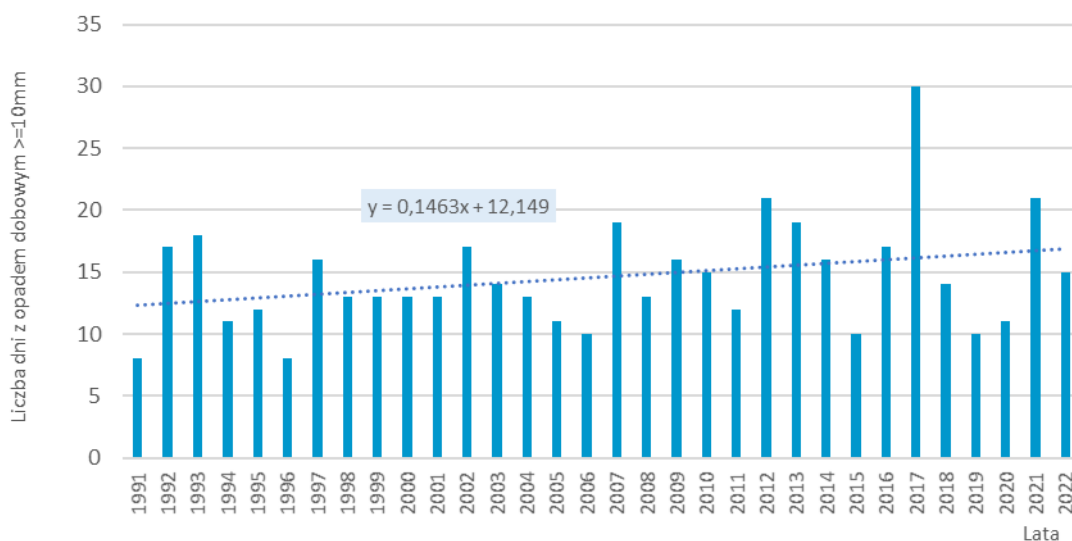


Rys. 27. Przebieg wieloletni maksymalnych dobowych opadów atmosferycznych w sierpniu, Suwałki

### Dobowe opady o dużym natężeniu

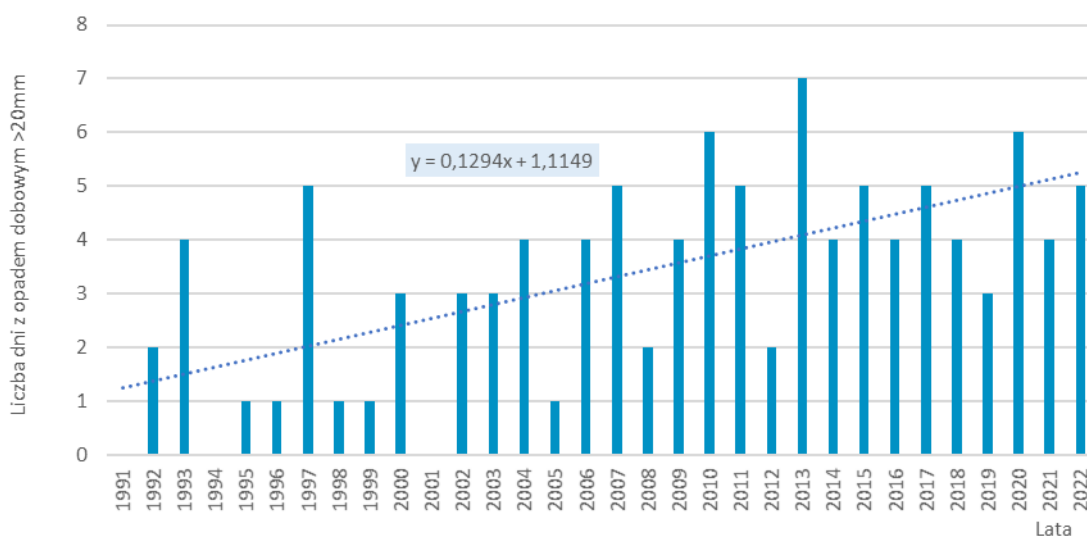
Dobowe opady większe lub równe 10 mm występują przeciętnie 15 razy w roku (rys. 28). W przebiegu wieloletnim liczba opadów o takiej intensywności waha się od 8 (1991 r.) do 30 (2017 r.). Liczba dni z takim opadem wykazuje trend wzrostowy o 1,5 dnia/dekadę

Rys. 28. Liczba dni z opadem w



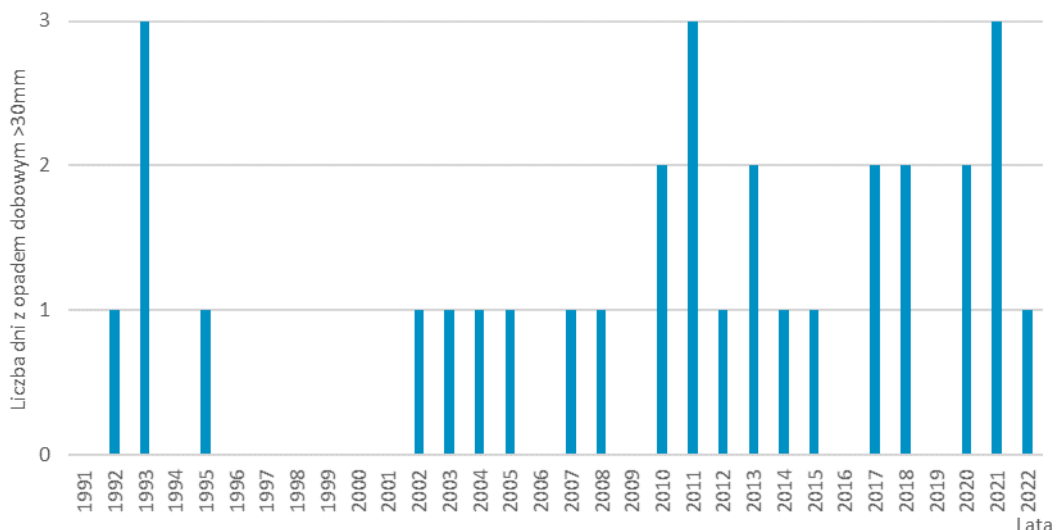
iększym bądź równym 10 mm, Suwałki

W ciągu roku odnotowuje się przeciętnie 3 dni z opadem większym niż 20 mm (rys. 29). Liczba dni cechujących się takim opadem dobowym waha się od 1 (lata 1995, 1996, 1998, 1999, 2005) do 7 (2013 r.). W badanym wieloleciu w kilku latach nie zarejestrowano opadów dobowych przekraczających 20 mm. Analiza zmienności dni z opadem większym niż 20 mm w latach 1991-2022 wykazuje wzrost liczby takich dni o 1,3 dnia/dekadę.



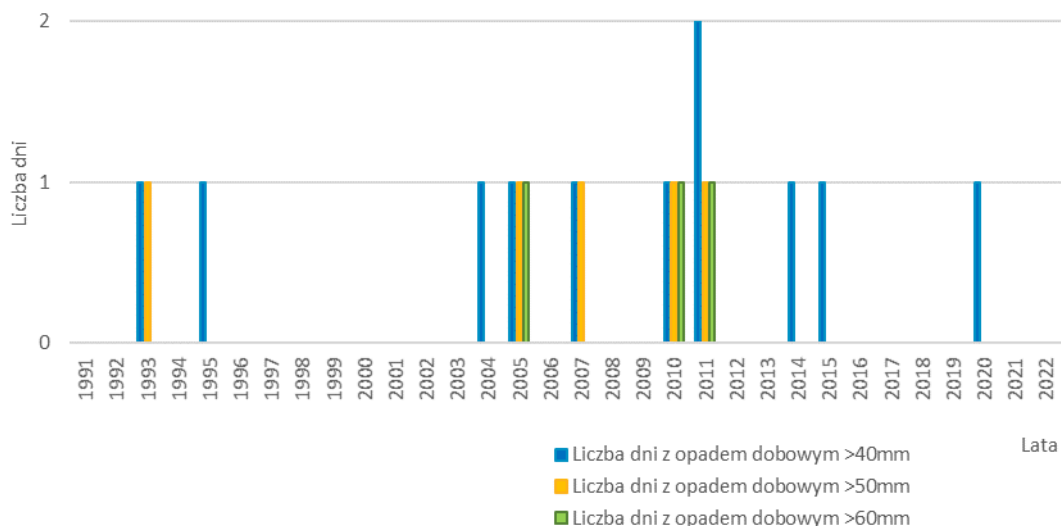
Rys. 29. Liczba dni z opadem większym niż 20 mm, Suwałki

Opady dobowe większe niż 30 mm obserwuje się stosunkowo rzadko (rys. 30). W analizowanym wieloleciu odnotowano po jednym przypadku w 12 latach, po dwa w 5 latach, 3 przypadki w trzech latach. W 12 latach z badanego okresu nie wystąpiły opady o takim natężeniu. W okresie 1991-2022 nieznacznie zwiększa się liczba dni z opadem przekraczającym 30 mm, średnio o 0,3 dnia/dekadę.



Rys. 30. Liczba dni z opadem większym niż 30 mm, Suwałki

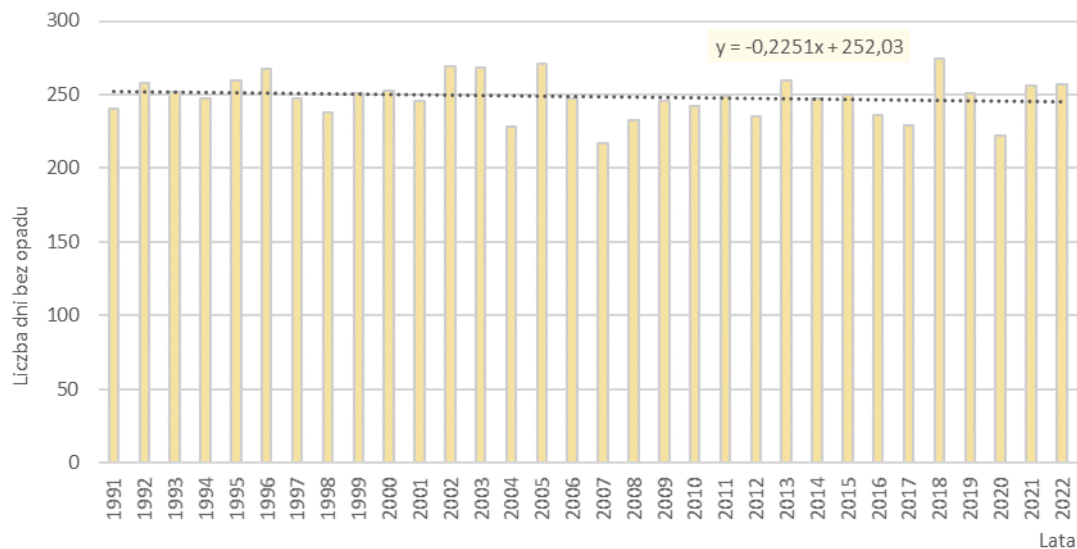
Opady dobowe o natężeniu przekraczającym 40 mm występują w badanym wieloleciu bardzo rzadko. Odnotowano tylko 11 przypadków takich opadów, od 1 do 2 w roku (rys. 31). Opady dobowe przekraczające 50 mm i 60 mm są sporadyczne. W latach 1991-2022 wystąpiły pojedyncze przypadki tak intensywnych opadów: po jednym dniu z opadem dobowym >50 mm w pięciu latach i jednym dniem z opadem dobowym > 60 mm w trzech latach. Opadów dobowych przekraczających 70 mm nie zaobserwowano w latach 1991-2022.



Rys. 31. Liczba dni z opadem większym niż 40, 50, 60 mm, Suwałki

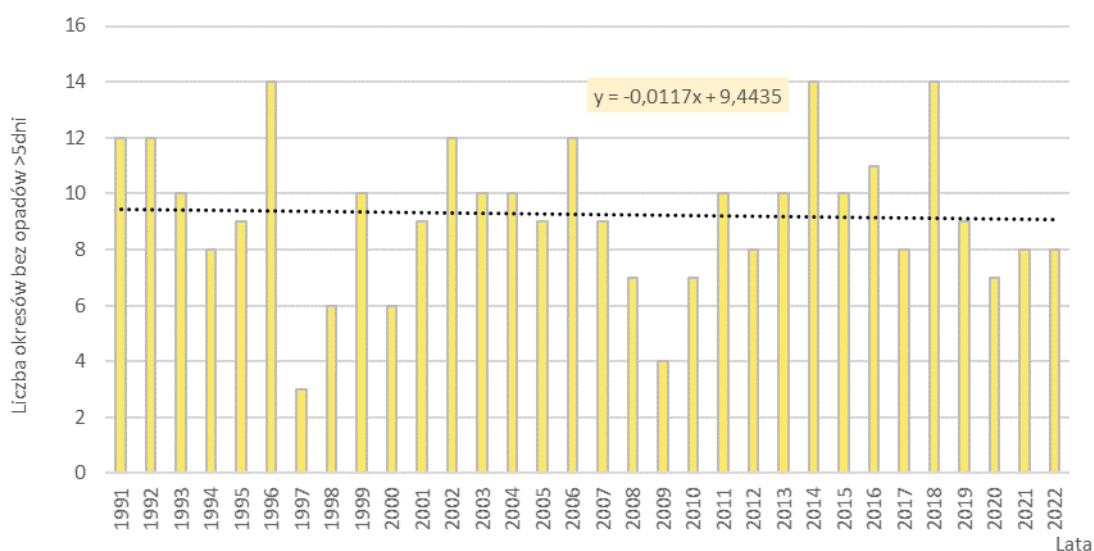
## Długotrwałe okresy bezopadowe

Liczba dni bez opadu (opad < 1mm) cechuje niewielką zmienność w analizowanym okresie, od 217 dni (2007 r.) do 274 dni (2018 r.). Takich dni jest przeciętnie 248 w roku. Liczba dni bez opadu wykazuje tendencję spadkową o 2 dni/dekadę (rys. 32).



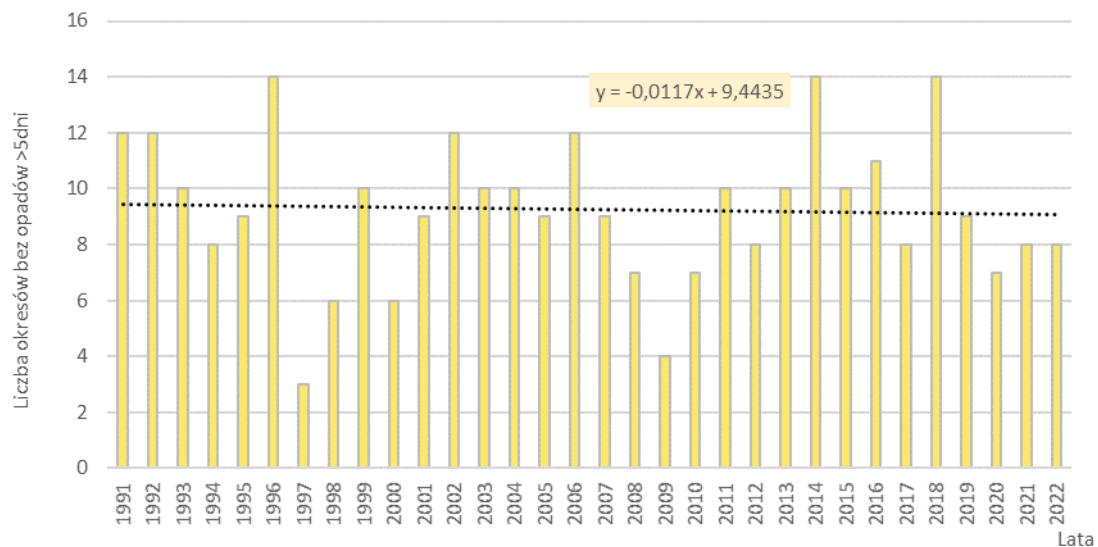
Rys. 32. Liczba dni bez opadu, Suwałki

Okresy bezopadowe, definiowane jako okresy bez opadu trwające ponad 5 dni, występowały w badanym wieloleciu przeciętnie 9 razy w roku (rys. 33). Najczęściej wystąpiły w latach 1996, 2014 i 2018 (14 przypadków okresu bezopadowego w roku), najmniejsza ich liczba (3 przypadki) została odnotowana w roku 1997. W latach 1991-2022 zaznaczyła się nieznaczna tendencja spadkowa liczby okresów bez opadu utrzymujących się ponad 5 dni.

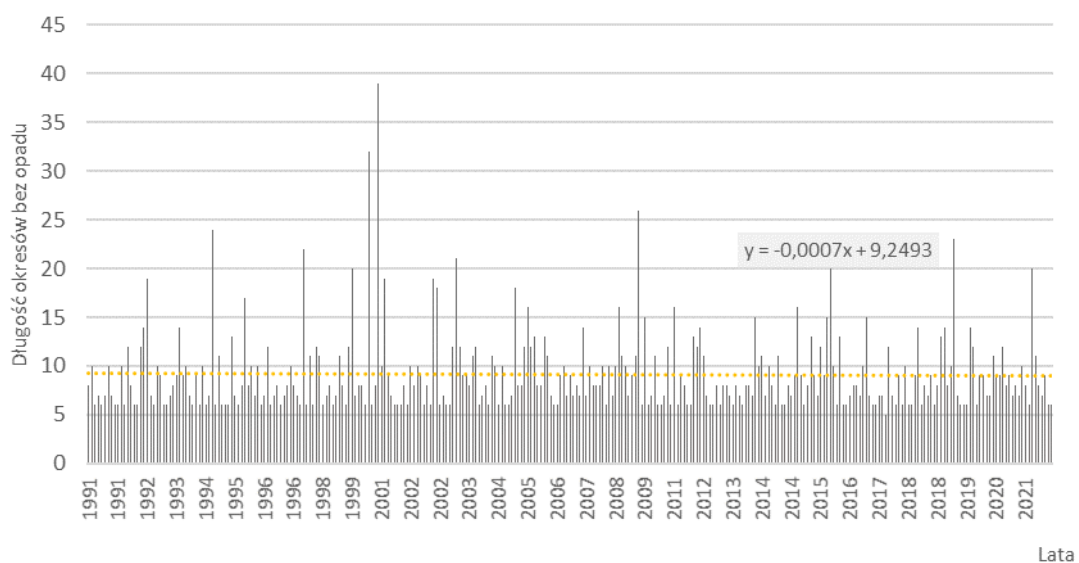


Rys. 33. Liczba okresów bez opadu, Suwałki

Sumaryczna liczba dni w okresach bezopadowych wynosiła przeciętnie 85 w roku. W badanym wieloleciu wahała się od 34 dni w 1997 r. do 124 dni w 2018 r. (rys. 34). Sumaryczna długość w roku okresów bezopadowych zmniejsza się średnio o 1 dzień/dekadę.

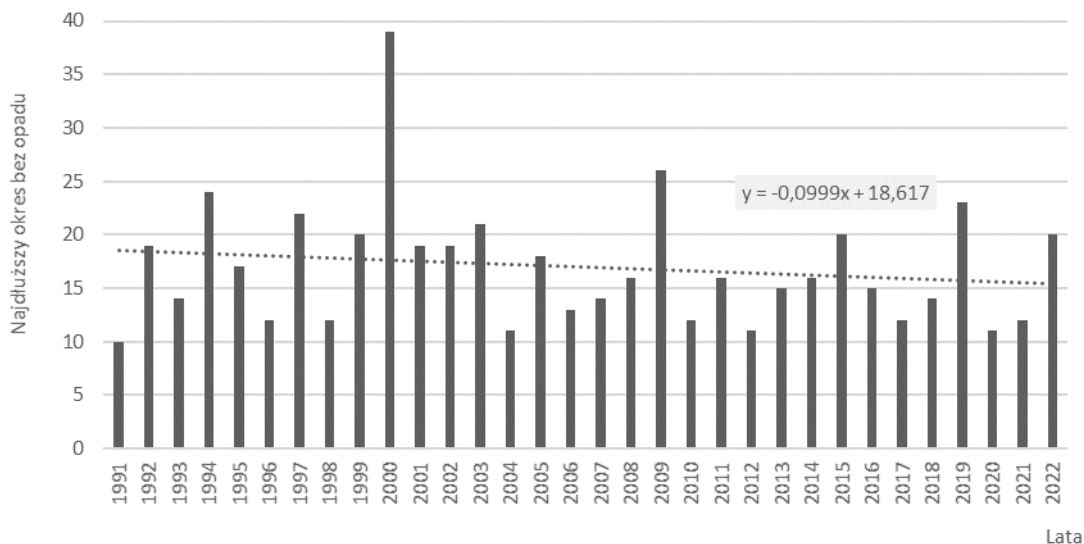


Rys. 34. Suma dni w okresach bez opadu w wieloleciu 1991-2022, Suwałki



Rys. 35. Długość okresu bez opadu, Suwałki





Rys. 36. Najdłuższe okresy bezopadowe w wieloleciu 1991-2022, Suwałki

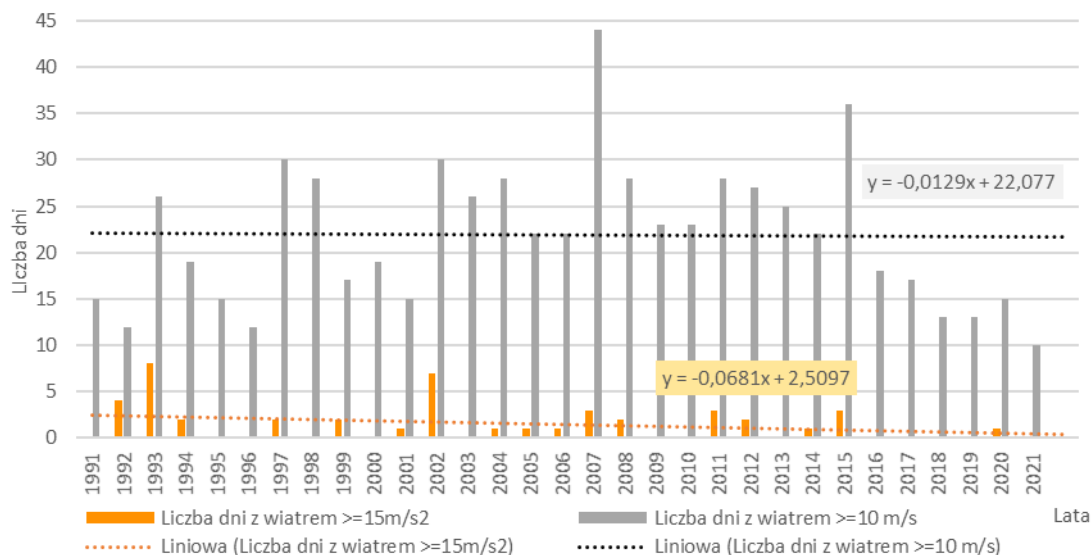
Najdłuższy okres bez opadu, trwający 39 dni, wystąpił we wrześniu-październiku 2000 r. (rys. 35 i 36). Analiza najdłuższych okresów bezopadowych wykazuje słabą tendencję spadkową ich czasu trwania, o blisko 1 dzień/dekadę.

## 1.5. Warunki anemometryczne miasta

### Silny i bardzo silny wiatr

Silny wiatr, przekraczający prędkość 10 m/s, występuje średnio 22 dni w roku (rys. 37). Największą intensywność tego zjawiska w latach 1991-2021 obserwowano w 2007 r. (44 dni), najmniejszą w 2021 r. (10 dni). W analizowanym wieloleciu zaznacza się słaby spadek liczba dni z wiatrem o takiej sile (średnio o 0,1 dnia/dekadę).

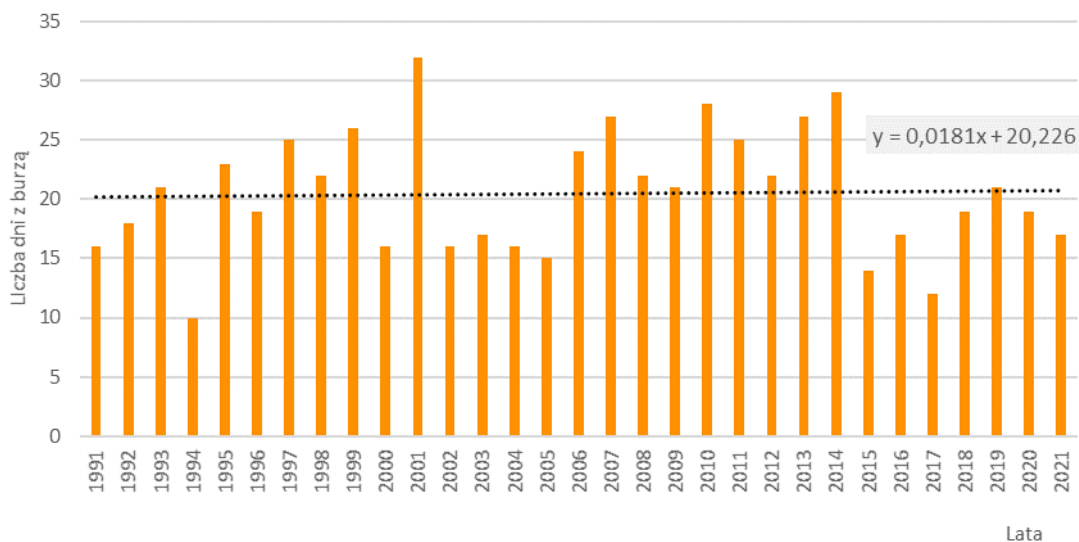
Bardzo silny wiatr, przekraczający prędkość 15 m/s, występuje średnio raz w roku (rys. 37), natomiast nie w każdym roku w okresie 1991-2021 odnotowano taką prędkość wiatru. Najwięcej przypadków zaobserwowano w 1993 roku (8). W analizowanym wieloleciu zmniejszyła się liczba dni z wiatrem przekraczający prędkość 15 m/s, średnio o 0,6 dnia/dekadę.



Rys. 37. Liczba dni z wiatrem o prędkości większej niż 10 m/s i 15 m/s w wieloleciu 1991-2021, Suwałki

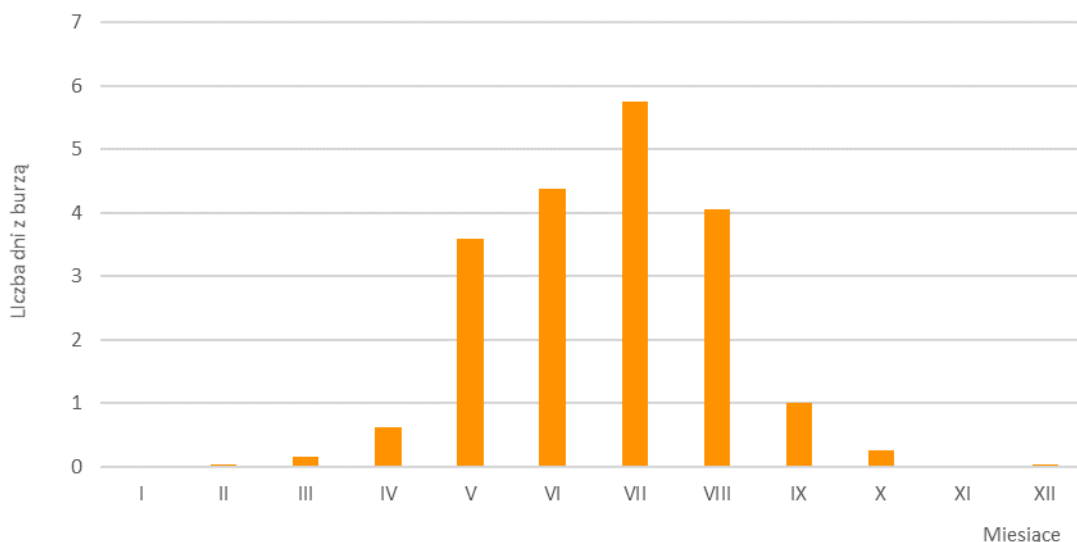
## Burze

W okresie 1991-2021 średnia liczba dni z burzą wynosiła blisko 21 w roku. Najwięcej takich dni (32) odnotowano w 2001 r., natomiast najmniej zjawisk meteorologicznych o takim charakterze (10) było w 1994 r. (rys. 38). Zaznaczył się bardzo słaby wzrost Liczba dni z burzą, średnio o około 0,1 dzień/dekadę (rys. 38).



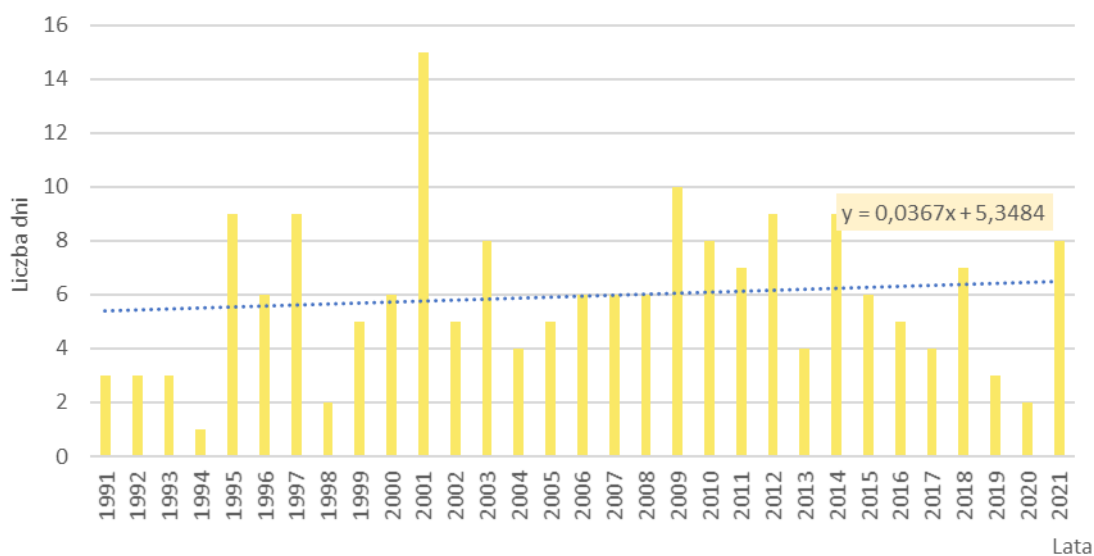
Rys. 38. Liczba dni z burzą w wieloleciu 1991-2021, Suwałki

W przebiegu rocznym wyróżnia się pod względem liczby burz okres wiosenno-letni (maj- sierpień). Najczęściej burze występują w lipcu, blisko 9 dni w miesiącu, rzadziej w czerwcu i sierpniu (rys. 39). W miesiącach chłodnych burze pojawiały się sporadycznie (1 przypadek w grudniu) lub nie były notowane (styczeń, listopad).



Rys. 39. Wieloletni przebieg roczny dni z burzą w latach 1991-2022, Suwałki

Wieloletni przebieg liczby dni z burzą w miesiącu lipcu, charakteryzującym się największą intensywnością zjawisk burzowych, wykazuje słabą tendencję wzrostową (rys. 40).



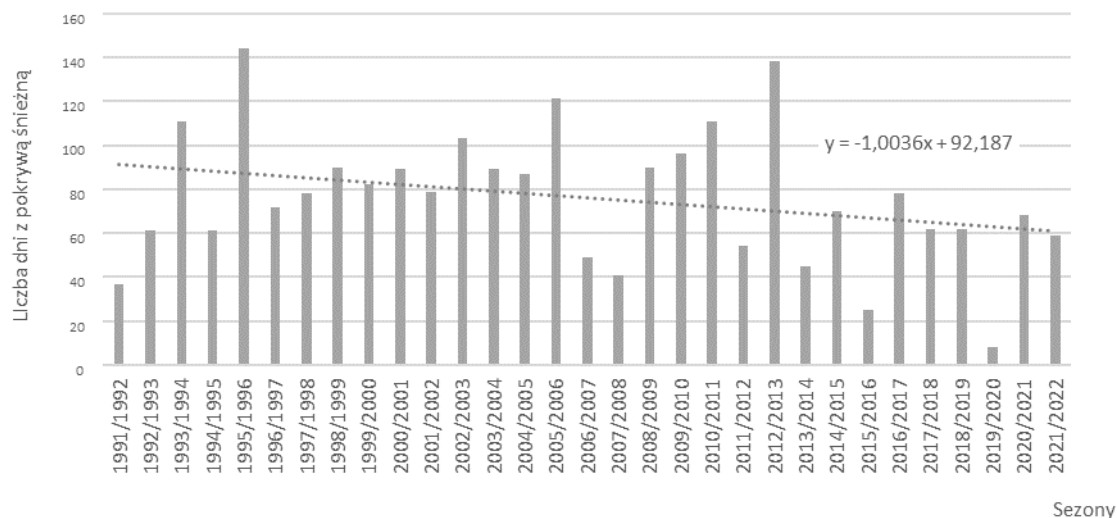
Rys. 40. Liczba dni z burzą w miesiącu lipcu w wieloleciu 1991-2021, Suwałki

## 1.6. Pokrywa śnieżna i opady śniegu

Pokrywa śnieżna na obszarze Suwałk występowała przeważnie od listopada do marca w latach 1991-2022. Najwcześniej pojawiła się 14 października 2002 r., a najpóźniej 19 grudnia 2000 r. Okres z pokrywą śnieżną najwcześniej zakończył w się 1 marca 1992 r. Najpóźniejszą datą zaniku pokrywy śnieżnej był 12 maja 2020 r.

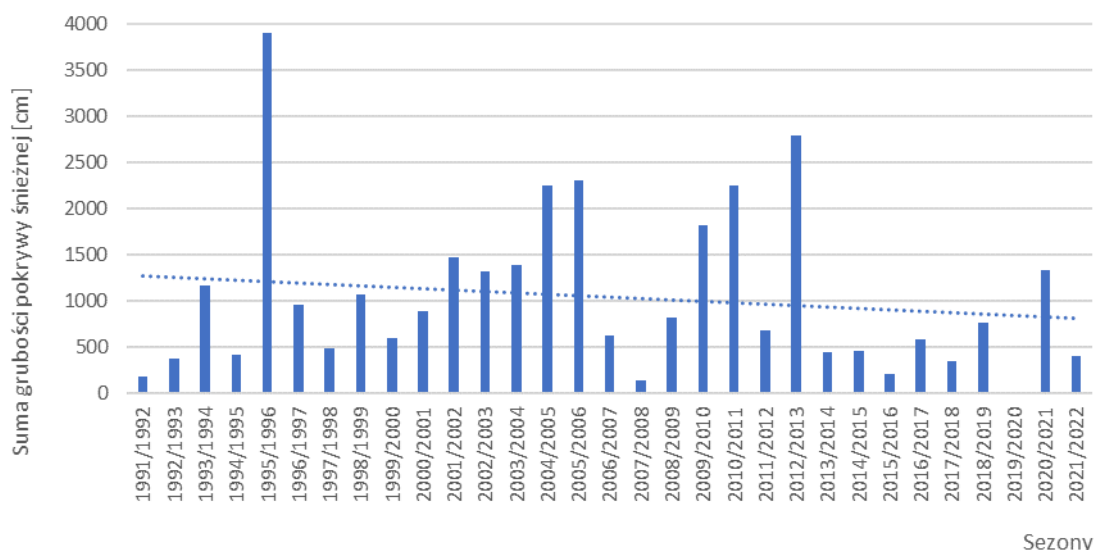
Średnia wieloletnia liczba dni z pokrywą śnieżną wynosiła blisko 74 dni. Najdłużej pokrywa śnieżna w Suwałkach utrzymywała się przez 144 dni w sezonie zimowym 1995/1996 (rys. 41). Najmniejszą liczbę

dni z pokrywą śnieżną odnotowano w sezonie 2019/2020 (8 dni). W analizowanym okresie zaznaczyła się tendencja spadkowa częstości występowania pokrywy śnieżnej.

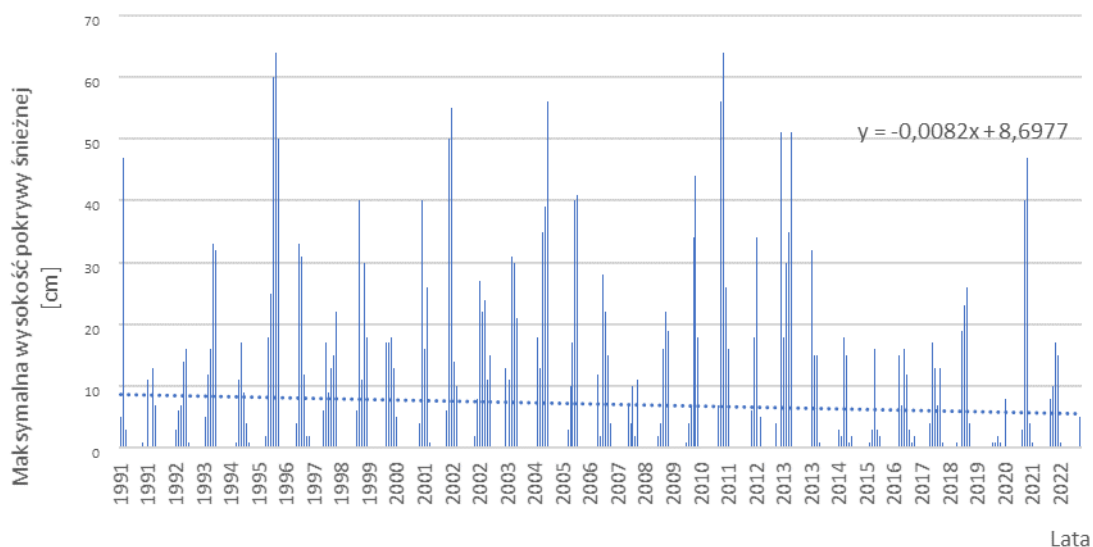


Rys. 41. Liczba dni z pokrywą śnieżną w Suwałkach w sezonach zimowych (1991/1992-2021/2022), Źródło danych: IMGW-PIB

Pokrywa śnieżna występowała w mieście we wszystkich sezonach zimowy 1991/1992-2021/2022. Najwyższa suma grubości pokrywy śnieżnej wynosiła 3902 cm w sezonie 1995/1996 (rys. 42). Największą wysokość pokrywy śnieżnej odnotowano w marcu 1996 r. – 64 cm (rys. 43). Sezon 2019/2020 charakteryzuje najmniejsza suma grubości pokrywy śnieżnej (16 cm). W analizowanym okresie uwidacznia się tendencja spadkowa grubości pokrywy śnieżnej w sezonach zimowych.

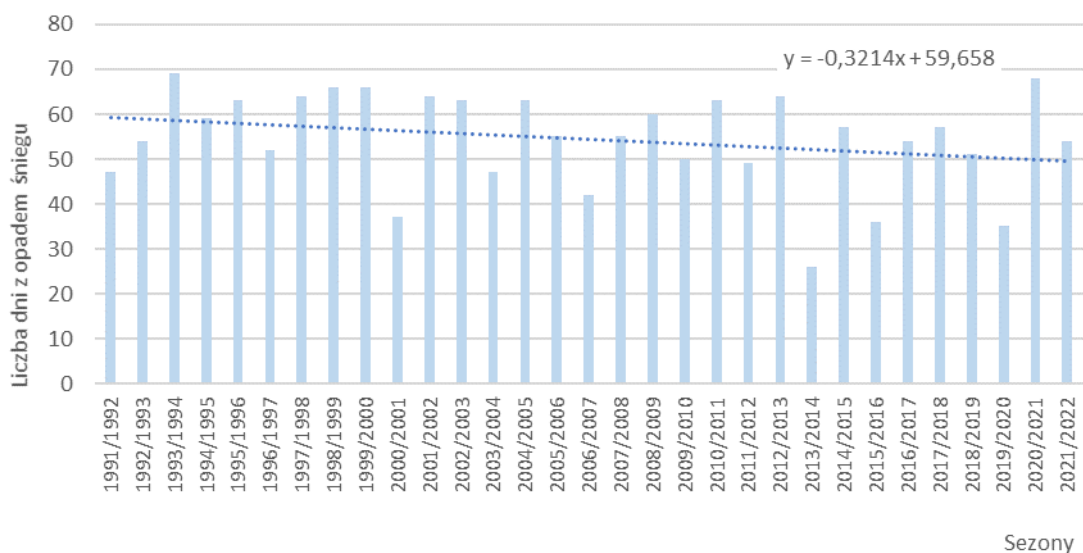


Rys. 42. Suma grubości pokrywy śnieżnej w Suwałkach w sezonach zimowych (1991/1992-2021/2022), Źródło danych: IMGW-PIB



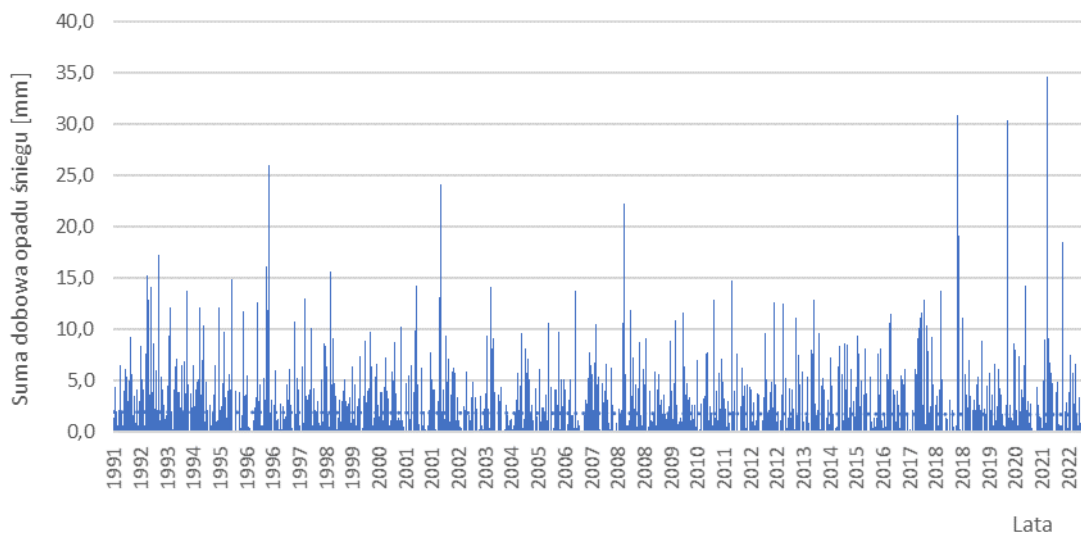
Rys. 43. Maksymalne wysokości pokrywy śnieżnej w Suwałkach w latach 1991-2022;  
Źródło danych: IMGW-PIB

Opady śniegu występował przeciętnie przez 53 dni w roku (rys. 44). Największą częstotliwość takich opadów odnotowano w sezonach 1993/1994 (69 dni) i 2020/2021 (68 dni). Najrzadziej śnieg padał w sezonie 2013/2014 - 26 dni. W analizowanym okresie liczba dni z opadem śniegu wykazuje tendencję spadkową.



Rys. 44. Liczba dni z opadem śniegu w Suwałkach w latach 1991-2022; Źródło danych: IMGW-PIB

Opadów śniegu przeciętnie wynosiły 1,9 mm na dobę (rys. 45). Największe opady wystąpiły 2 maja 2021 r., tj. 34,6 mm. W analizowanym okresie brak nie zaznaczyła się wyraźna tendencja zmiany sumy dobowej opadów śniegu.



Rys. 45. Suma dobowy opadów śniegu w Suwałkach w latach 1991-2022;

Źródło danych: IMGW-PIB

## 2. Charakterystyka hydrologiczna

Miasto Suwałki, niemal w całości zlokalizowane jest w dorzeczu Niemna. Jego centralna część odwadniana jest przez rz. Czarną Hańczę, a północno-wschodnia część przez rz. Kamionkę. Południowo-zachodni fragment miasta położony jest w dorzeczu Wisły. W tym obszarze nie występują obiekty hydrograficzne.

Ocenę warunków hydrologicznych wykonano na podstawie danych ze stacji wodowskazowej Bród Stary. Jest ona zlokalizowana na rz. Czarna Hańcza, około 1,1 km powyżej miasta. Uznano jednak, iż charakterystyki określone na podstawie tego punktu monitoringowego w najlepszym stopniu odzwierciedlają warunki panujące na rzece w granicach miasta. Kolejna stacja na rz. Czarna Hańcza zlokalizowana jest w miejscowości Czerwony Folwark, a więc poniżej jez. Wigry. Mając na uwadze fakt, iż tak duże jezioro z dużym prawdopodobieństwem w znaczącym stopniu wpływa na charakterystykę przepływu rzeki, uznano, że dane ze stacji Czerwony Folwark nie będą reprezentatywne dla rz. Czarna Hańcza w m. Suwałki.

Stacja Bród Stary funkcjonuje od 1993 roku. W analizach wykonywanych na potrzeby niniejszego dokumentu wykorzystano dane z lat hydrologicznych 1993-2022<sup>1</sup>. Przeanalizowano przede wszystkim zmienność przepływu w rzece. Nie uwzględniono przy tym współczynników korekty związanych z zarastaniem i występowaniem zjawisk lodowych. Zjawiska te z pewnością mają w niektórych okresach istotny wpływ na procesy zachodzące w rzece. Niestety dane udostępniane przez IMGW-PIB w ramach bezpłatnego dostępu nie obejmują wielkości współczynników a jedynie informację

<sup>1</sup> W wykonanych analizach pominięto dane z okresu 20 września – 18 października 2018 roku ze względu na ich brak w danych udostępnianych przez IMGW-PIB.

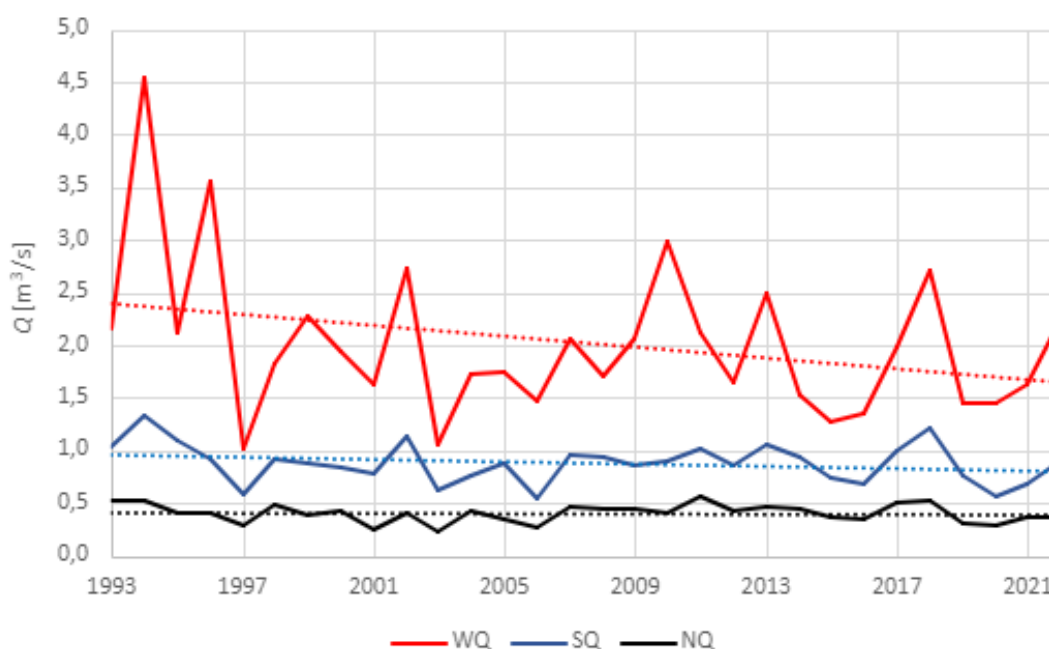
o występowaniu zjawiska. Co więcej, w ostatnich latach stacja działa w trybie automatycznym, a więc nie są na niej wykonywane regularne, codzienne obserwacje zjawisk lodowych oraz zarastania.

Dane pomiarowo-obszaryjne ze wskazanej powyżej stacji, zostały bezpłatnie pozyskane z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego przez Zleceniodawcę – Urząd Miejski w Suwałkach – do realizacji celów własnych oraz udostępnione Wykonawcy – Instytutowi Ochrony Środowiska – Państwowemu Instytutowi Badawczemu – wyłącznie do realizacji niniejszej pracy na potrzeby miasta.

Przedstawione poniżej analizy hydrologiczne zostały wykonane w odniesieniu do lat hydrologicznych. Rok hydrologiczny rozpoczyna się w dniu 1 listopada roku wcześniejszego niż kalendarzowy i kończy w dniu 30 października roku kalendarzowego.

Analiza przebiegu charakterystyk rocznych przepływu rz. Czarnej Hańczy w profilu Bród Stary (Rys. 46) wykazała, iż w okresie 1993-2021 występowała tendencja malejąca przepływów maksymalnych rocznych (WQ). Szczególnie wysokie przepływy maksymalne odnotowywano w końcu minionego wieku. Przepływy średnie roczne (SQ) oraz niskie roczne (NQ) nie wykazywały w tym okresie istotnej tendencji zmian.

Jednym z przejawów zmian klimatu w szerszej skali jest wzrost częstotliwości i intensywności susz oraz wzrost zagrożeń związanych z występowaniem okresowych wezbrań rzek. Trzeba podkreślić, iż okresowe występowanie zarówno wezbrań, jak i niżówek jest cechą charakterystyczną rzek w naszej strefie klimatycznej. Zmiany klimatu przyczyniają się natomiast do intensyfikacji tych zjawisk. Z tego właśnie względu przy opracowywaniu MPA dla Suwałk przeanalizowano szczegółowo dane pomiarowo-obszaryjne w odniesieniu do problematyki występowania wezbrań i niżówek. Zjawiska te stanowią jeden z najważniejszych wyróżników ustroju hydrologicznego rzek. Odzwierciedlają sezonowość odpływu, a więc również zmiany w zasilaniu rzek (Bartnik, Jokiel, 2005, za Kaznowska i in., 2015). Ich ocena w ujęciu rocznym, jak i wieloletnim dostarcza informacji o charakterze odpływu wody ze zlewni i jest użyteczna do oceny tendencji zmian w jego przebiegu.



Rys. 46. Zmienność charakterystyk rocznych przepływu - rz. Czarna Hańcza, profil Bród Stary



## Niżówki

Mianem niżówki określa się okres niskich przepływów w rzece spowodowanych ograniczonym jej zasilaniem wynikającym długotrwałej suszy atmosferycznej w półroczu letnim i utrudnionej infiltracji wody w zamrożone podłoże w półroczu zimowym (Bajkiewicz-Grabowska, Mikulski, 1999). Pojęcie niżówki ma w dużej mierze subiektywny charakter. Nie istnieje jej jedna uniwersalna definicja. Tym samym brak jest szeroko uzgodnionych metod analizy niżówek (Węglarczyk, 2014). W literaturze funkcjonuje wiele równorzędnych metod określania przepływu granicznego niżówki, czyli przepływu poniżej którego uznaje się, że występuje niżówka. Każda z nich pozwala na otrzymanie nieco innych wyników, a tym samym wniosków z wykonanych analiz.

Wśród kryteriów pozwalających na określenie przepływu granicznego niżówki można wymienić m.in. kryteria statystyczne, gospodarcze – np. wymogi przemysłu, gospodarki komunalnej, żeglugi, utrzymania przepływu nienaruszalnego, czy też jakości wody (Fal, 2007). W niniejszej analizie wykorzystano kryteria hydrologiczne. Zdaniem M. Ozga-Zielińskiej (1990), jako przepływ graniczny niżówek najbardziej uzasadnione jest uznanie największej wartości z przepływów minimalnych rocznych w wieloletnim okresie obserwacji (WNQ). Tak zdefiniowany przepływ graniczny może jednak być wielkością dużą wynikającą z wystąpienia w wieloletniu nawet jednego, wyjątkowo mokrego roku. Z tego też względu, biorąc pod uwagę fakt, iż w okresie wielolecia występuje statystycznie podobna liczba lat mokrych i suchych, jako wartość graniczną niżówek wielu autorów przyjmuje średni przepływ z minimów rocznych (SNQ). Niżówki określone w ten sposób w literaturze często określane są mianem niżówki głębokiej (Dębski, 1970; Bajkiewicz-Grabowska, Mikulski, 1999). W tym miejscu warto dodać, iż według T. Tokarczyk (2010) dla zlewni obszaru Polski wartość SNQ jest zbliżona do przepływu o prawdopodobieństwie nieosiągnięcia Q70 określonego wg tzw. kryterium gospodarczego na podstawie sum czasów trwania przepływów wraz z wyższymi.

Kolejna kluczowa kwestia, to wskazanie minimalnego czasu trwania niżówki oraz zasad, zgodnie z którymi agregowane będą zdarzenia występujące w bliskich terminach. Również w tym przypadku analiza literatury nie daje jednoznacznej odpowiedzi. W badaniach prowadzonych w Polsce za minimalny czas trwania zdarzenia przyjmuje się od 1, 5, 7, 10 do 20 dni (Kaznowska 2011; Tomaszewski, 2015). Minimalny czas między dwiema różnymi niżówkami wg różnych opracowań wynosi 3, 5, 7, 14 dni (Tomaszewski, 2015, Węglarczyk, 2014, Zelenhasić and Salvai, 1987 za Kaznowska, 2011). W niniejszej analizie jako minimalny czas trwania niżówki przyjęto 7 dni, zaś za minimalny czas między dwiema różnymi niżówkami uznano 3 dni. Niżówki występujące po sobie w krótszym czasie zostały potraktowane jako jedno zdarzenie.

Obliczone zgodnie z powyższym algorytmem przepływy graniczne niżówek dla profilu Bród Stary na rz. Czarna Hańcza na podstawie obserwacji z lat 1993-2022 wynoszą odpowiednio:

- dla niżówek ogółem:  $WNQ = 0,57 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
- dla niżówek głębokich:  $SNQ = 0,40 \text{ m}^3/\text{s}$ .

E. Bajkiewicz-Grabowska i Z. Mikulski (1999) oraz S. Węglarczyk (2014) jako podstawowe uznają następujące charakterystyki ilościowe niżówek:

- przepływ ekstremalny niżówki,
- przepływ średni niżówki,
- objętość niżówki, czyli objętość niedoboru wody,
- czas trwania niżówki,
- czas pomiędzy kolejnymi niżówkami.



Dla obu typów analizowanych niżówek zostały one zestawione w poniższej tabeli 3. W wyniku wykonanej analizy danych nie stwierdzono istotnej tendencji dot. czasu trwania poszczególnych niżówek, czy też czasu pomiędzy kolejnymi niżówkami. Zaobserwowano tendencję wzrostową deficytów niżówek w poszczególnych latach (rys. 47), jak również tendencję wzrostową liczby dni z niżówką w poszczególnych latach hydrologicznych (rys. 48).

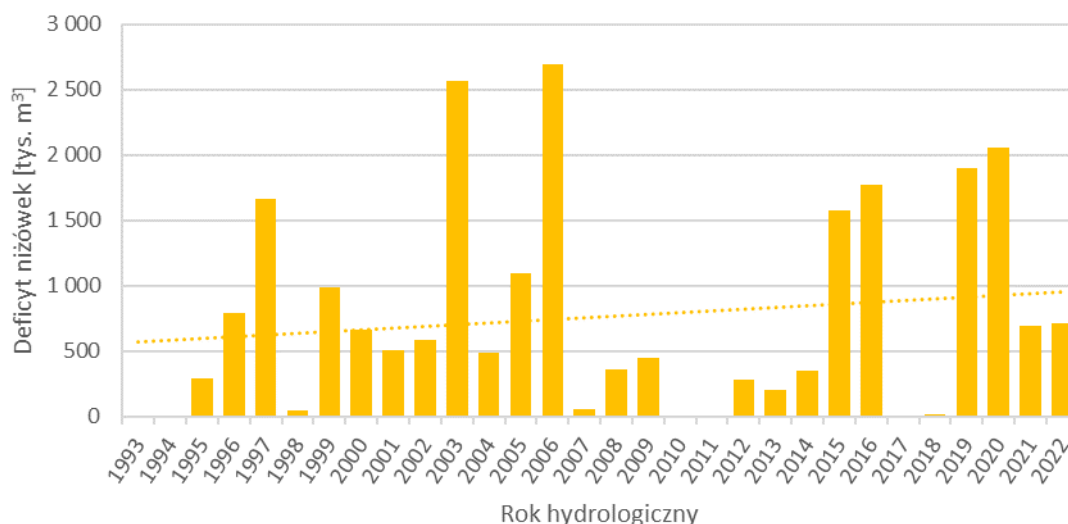
Tab. 3. Niżówki ogółem w okresie 1992 – 2022 w profilu Bród Stary na rz. Czarna Hańcza

Okres		Czas trwania [dni]	Deficyt niżówki [tys. m <sup>3</sup> ]	Przeptyw minimalny [m <sup>3</sup> /s]	Średni przepływ [m <sup>3</sup> /s]	Czas do kolejnej niżówki [dni]
od	do					
25.07.1995	28.08.1995	35	295,46	0,40	0,47	349
11.08.1996	31.10.1996	82	792,24	0,40	0,46	10
10.11.1996	18.11.1996	9	36,26	0,51	0,52	5
23.11.1996	13.12.1996	21	44,06	0,49	0,55	8
21.12.1996	16.01.1997	27	228,02	0,40	0,47	164
29.06.1997	26.07.1997	28	359,42	0,28	0,42	8
03.08.1997	06.11.1997	96	1022,11	0,33	0,45	285
18.08.1998	24.08.1998	7	24,22	0,53	0,53	90
22.11.1998	16.12.1998	25	279,06	0,39	0,44	217
21.07.1999	29.09.1999	71	709,36	0,40	0,45	256
11.06.2000	07.07.2000	27	108,85	0,43	0,52	49
25.08.2000	01.11.2000	69	554,68	0,43	0,48	279
07.08.2001	07.09.2001	32	511,47	0,25	0,39	333
06.08.2002	17.10.2002	73	586,73	0,40	0,48	235
09.06.2003	06.12.2003	181	2 805,55	0,22	0,39	34
09.01.2004	15.01.2004	7	35,43	0,50	0,51	233
04.09.2004	03.10.2004	30	214,28	0,42	0,49	275
05.07.2005	03.08.2005	30	311,89	0,34	0,45	20
23.08.2005	10.11.2005	80	807,85	0,36	0,45	4
14.11.2005	04.12.2005	21	50,94	0,50	0,54	37
10.01.2006	23.03.2006	73	759,32	0,34	0,45	44
06.05.2006	20.05.2006	15	47,46	0,51	0,53	14
03.06.2006	13.08.2006	72	1 268,36	0,26	0,37	5
18.08.2006	04.09.2006	18	184,83	0,37	0,45	8
12.09.2006	03.10.2006	22	252,21	0,39	0,44	10
13.10.2006	12.11.2006	31	156,26	0,41	0,51	22
04.12.2006	10.12.2006	7	14,66	0,51	0,55	564
26.06.2008	04.07.2008	9	5,20	0,53	0,56	23
27.07.2008	05.08.2008	10	48,39	0,49	0,51	16
21.08.2008	14.10.2008	55	303,25	0,44	0,51	295
05.08.2009	08.10.2009	65	447,48	0,44	0,49	1015
19.07.2012	28.07.2012	10	95,92	0,42	0,46	24
21.08.2012	07.09.2012	18	97,59	0,47	0,51	6
13.09.2012	05.10.2012	23	88,16	0,47	0,53	285
17.07.2013	07.08.2013	22	145,14	0,46	0,49	8
15.08.2013	02.09.2013	19	63,09	0,51	0,53	333

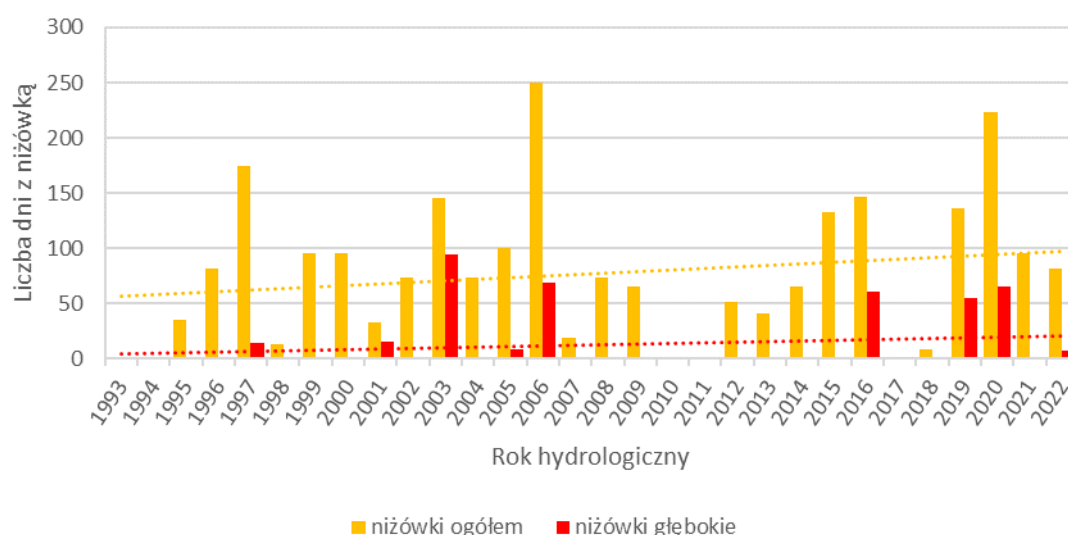
Okres		Czas trwania [dni]	Deficyt niżówki [tys. m <sup>3</sup> ]	Przepływ minimalny [m <sup>3</sup> /s]	Średni przepływ [m <sup>3</sup> /s]	Czas do kolejnej niżówki [dni]
od	do					
01.08.2014	25.09.2014	56	306,67	0,44	0,51	5
30.09.2014	08.10.2014	9	44,93	0,47	0,51	256
21.06.2015	31.10.2015	133	1 574,12	0,36	0,43	220
07.06.2016	01.11.2016	148	1 772,96	0,35	0,43	680
12.09.2018	19.09.2018	8	15,55	0,53	0,55	272
18.06.2019	13.12.2019	179	2 119,45	0,30	0,43	15
28.12.2019	08.01.2020	12	10,32	0,56	0,56	102
19.04.2020	05.05.2020	17	33,68	0,52	0,55	17
22.05.2020	07.06.2020	17	67,41	0,48	0,52	6
13.06.2020	27.06.2020	15	38,89	0,48	0,54	8
05.07.2020	13.11.2020	132	1 725,36	0,29	0,42	80
01.02.2021	14.02.2021	14	33,70	0,52	0,54	144
08.07.2021	30.08.2021	54	539,99	0,36	0,45	4
03.09.2021	17.09.2021	15	95,03	0,47	0,50	328
11.08.2022	31.10.2022	82	711,03	0,37	0,47	

Tab. 4. Nizówki głębokie w okresie 1992 – 2022 w profilu Bród Stary na rz. Czarna Hańcza

Okres		Czas trwania [dni]	Deficyt niżówki [tys. m <sup>3</sup> ]	Przepływ minimalny [m <sup>3</sup> /s]	Średni przepływ [m <sup>3</sup> /s]	Czas do kolejnej niżówki [dni]
od	do					
23.08.1997	05.09.1997	14	43,21	0,33	0,36	1 439
14.08.2001	28.08.2001	15	152,95	0,25	0,28	680
09.07.2003	10.10.2003	94	649,74	0,22	0,32	708
17.09.2005	24.09.2005	8	20,76	0,36	0,37	119
21.01.2006	31.01.2006	11	40,59	0,34	0,36	136
16.06.2006	12.08.2006	58	305,00	0,26	0,34	3 283
08.08.2015	31.08.2015	24	36,27	0,37	0,38	40
10.10.2015	20.10.2015	11	32,87	0,36	0,37	274
20.07.2016	30.07.2016	11	21,62	0,36	0,38	5
04.08.2016	17.08.2016	14	30,23	0,36	0,38	9
26.08.2016	04.09.2016	10	28,52	0,35	0,37	5
09.09.2016	04.10.2016	26	19,86	0,36	0,39	995
26.06.2019	19.08.2019	55	230,72	0,30	0,35	335
19.07.2020	28.08.2020	41	193,53	0,29	0,35	9
06.09.2020	29.09.2020	24	76,03	0,35	0,36	705
04.09.2022	10.09.2022	7	8,62	0,37	0,39	



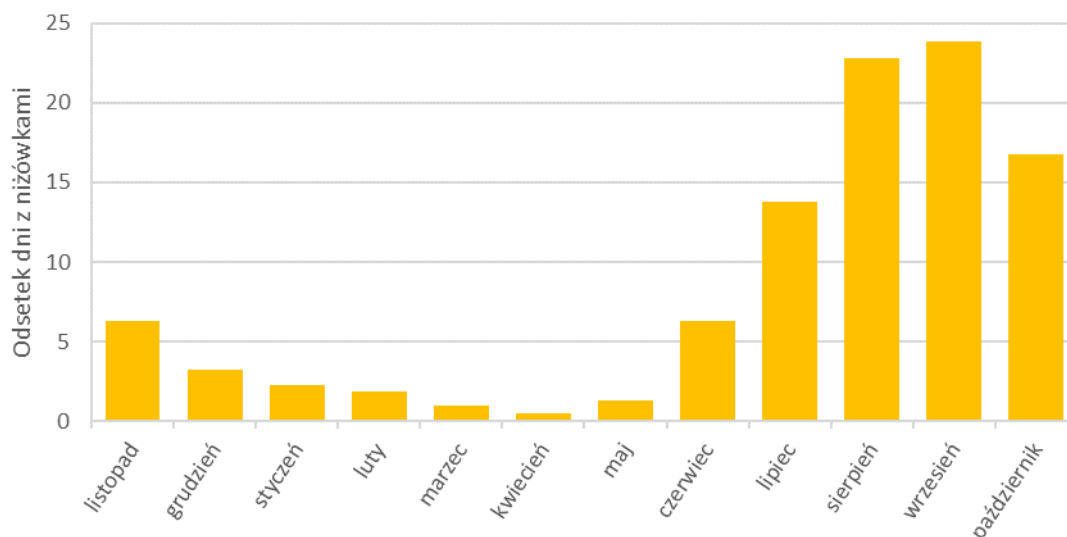
Rys. 47. Deficyt niżówek w poszczególnych latach hydrologicznych (profil Bród Stary, rz. Czarna Hańcza)



Rys. 48. Liczba dni z niżówką w poszczególnych latach hydrologicznych (profil Bród Stary, rz. Czarna Hańcza)

Niżówki na rz. Czarna Hańcza w Suwałkach występują przede wszystkim w okresie letnio-jesiennym – najczęściej od sierpnia do października (tabela 4). Na te miesiące w okresie 1992-2022 przypadają łącznie 63,5% dni z niżówkami. Jest to typowy okres występowania niżówek w naszej strefie klimatycznej. Pojawiają się one w konsekwencji suszy atmosferycznej i suszy glebowej. W tym okresie, w związku z intensywną vegetacją i relatywnie niskimi opadami atmosferycznymi zostają w znacznej części wykorzystane zasoby wód gruntowych, co prowadzi do ograniczenia zasilania podziemnego wód powierzchniowych, w tym rzek i jezior. Bujna roślinność ogranicza również spływ powierzchniowy wód opadowych do rzek i jezior. Najczęściej niżówki notowano w okresie wiosennym (marzec – maj), czyli w tych miesiącach, kiedy w zlewni najczęściej zgromadzona jest duża ilość wód pochodzących m.in. z roztopów. Jednocześnie w tym czasie ograniczona jest jeszcze

wegetacja, toteż mniejsze ilości wody wykorzystywane są przez roślinność. W analizowanym okresie część niżówek wystąpiła w okresie typowo zimowym. Wynikają one często z długich okresów ujemnych temperatur powietrza. W takich warunkach następuje ograniczenie odpływu powierzchniowego oraz znaczące ograniczenie dopływu wód gruntowych do koryta rzeki. Warto podkreślić, iż podczas niżówek zimowych, mimo malejących przepływów, stan wody może się utrzymywać na wysokim poziomie lub nawet rosnąć. Wody rzek mogą być piętrowe w wyniku występowania zjawisk lodowych (Fal, 2007).



Rys. 49. Odsetek dni z niżówkami przypadający na poszczególne miesiące (okres: 1992-2022, profil Bród Stary, rz. Czarna Hańcza)

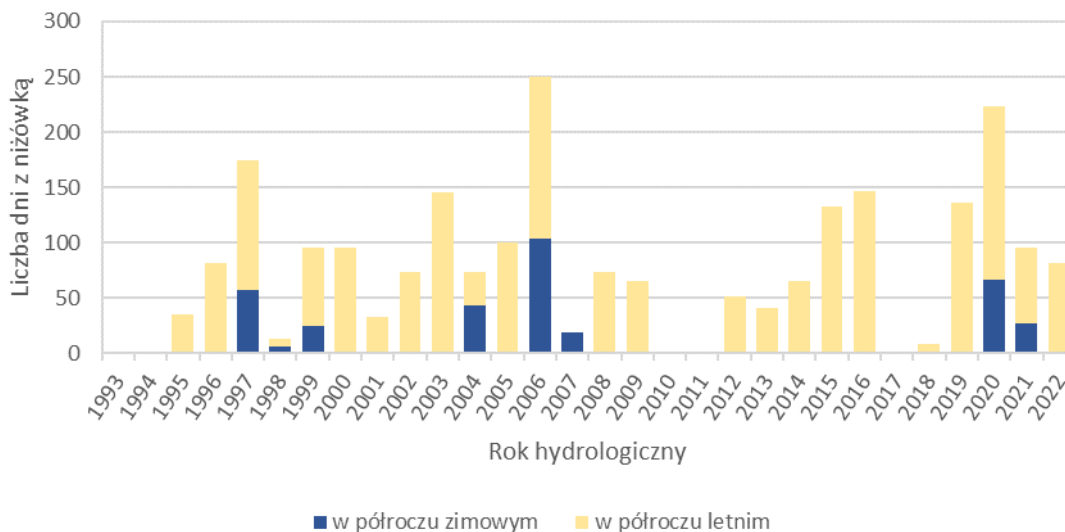
W analizowanym okresie (1992-2022) wystąpiło łącznie 51 niżówek, z czego 16 można uznać za głębokie (tab. 5). Zjawiska te najczęściej odznaczały się długim czasem trwania, pow. 30 dni. Sześć z nich trwało powyżej 100 dni, w tym dwie powyżej 150 dni. Deficyt najdłuższej trwającej niżówki, z II połowy 2003 roku przekroczył 2 800 tys. m<sup>3</sup>. Przepływ minimalny w tym okresie wyniósł zaledwie 0,22 m<sup>3</sup>/s (bez uwzględnienia współczynników redukcji związanych ze zjawiskami zarastania).

Tab. 5. Liczba niżówek o różnym czasie trwania (okres 1992-2022, profil Bród Stary, rz. Czarna Hańcza)

Rodzaj niżówki	Liczba niżówek				
	Ogółem	7-10 dni	11-20 dni	21-30 dni	powyżej 30 dni
Ogółem	51	9	10	11	21
w tym głębokie	16	3	6	3	4

Najrzadziej w profilu Bród Stary występują niżówki krótkie, do 10 dni (rys. 50). Trzeba jednak podkreślić, iż takie statystyki w znacznej mierze mogą wynikać z przedstawionych na wstępie przyjętych założeń wydzielenia niżówek, zgodnie z którymi za minimalny czas trwania niżówki uznano 7 dni. Stosunkowo niewielki odsetek niżówek głębokich wynika prawdopodobnie z lokalizacji Suwałk.

Jest to teren pojezierny. Charakteryzuje się znacznym odsetkiem powierzchni zajętej przez jeziora. Takie obszary są zawsze mniej podatne na skutki długich okresów bezopadowych. Rzeki w tym czasie są w większym stopniu zasilane przez jeziora oraz wody podziemne.



Rys. 50. Liczba dni z niżówką w półroczach lat hydrologicznych (profil Bród Stary, rz. Czarna Hańcza)

Z punktu widzenia analizy warunków hydrologicznych występujących w zlewni istotne jest również określenie na ile przeciętne przerwy między niżówkami są dłuższe od samych niżówek. Pomocny w tym może być wskaźnik gęstości niżówek obliczany wg wzoru (Tomaszewski, 2015):

$$WGN = \frac{\bar{S}rTMN}{\bar{S}rTN}$$

gdzie:

- $WGN$  – wskaźnik gęstości niżówek;
- $\bar{S}rTMN$  – średni odstęp międzyniżówkowy [dni];
- $\bar{S}rTN$  – średni czas trwania niżówki [dni].

W przypadku analizowanych danych wskaźnik ten wynosi:

- dla niżówek ogółem: 3,4;
- dla niżówek głębokich: 22,0.

W związku z tym można powiedzieć, iż odstępy między niżówkami głębokimi były przeciętnie ponad 22 razy dłuższe od samych epizodów niżówkowych. Statystyka ta wyraźnie wskazuje, iż niżówki głębokie na Czarnej Hańczy występują stosunkowo rzadko. W przypadku wszystkich niżówek ogółem wskaźnik ten jest dużo niższy i wynosi 3,4.

Kolejną charakterystyką dostarczającą cennych informacji jest tzw. względny deficyt niżówki. Jest on obliczany wg wzoru (Tomaszewski, 2015):

$$DWN = \frac{VN}{Vmax} * 100\%$$

gdzie:

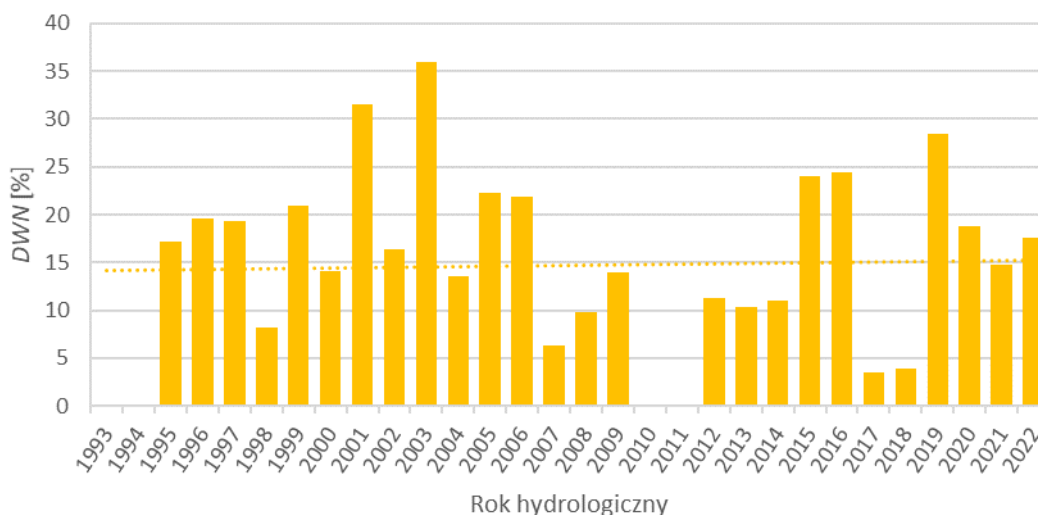
$DWN$  – deficyt względny odpływu niżówkowego [%],

$VN$  – objętość niżówki [ $m^3$ ],

$Vmax$  – objętość maksymalnego możliwego niedoboru odpływu niżówkowego w danym okresie, tzn. takiego, w którym przepływ rzeczny wynosi 0  $m^3/s$  [ $m^3$ ].

Powyższy wskaźnik pozwala na obiektywną ocenę niedoborów wody w zlewni. Uznaje się go za dobry estymator stopnia surowości suszy hydrologicznej, gdyż wskazuje na stopień zdrenowania zasobów wodnych zlewni pozostających w związku hydraulicznym z rzeką. Średni deficyt względny odpływu ogółu niżówek dla analizowanego zakresu danych wynosi około 20%.

Istotnym wydaje się również przeanalizowanie zmian względnego deficytu niżówki w czasie, w poszczególnych latach hydrologicznych (**Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.51**). W okresie 1992-2022 nie stwierdzono istotnej tendencji zmian powyższej charakterystyki.



Rys. 51. Deficyt względny odpływu niżówkowego w poszczególnych latach hydrologicznych (profil Stary Bród, rz. Czarna Hańcza)

Jak wskazano na wstępie, brak jest ogólnie przyjętej, powszechnie stosowanej metodyki wyznaczania niżówek. W związku z tym analizy tego zjawiska mają w dużej mierze subiektywny charakter. Przedstawione informacje wskazują, iż m. Suwałki leży na obszarze stosunkowo bogatym w zasoby wodne. Między innymi dzięki licznym jeziorom, przepływ rz. Czarna Hańcza charakteryzuje się stosunkowo dużą stabilnością w analizowanym okresie. Nie stwierdzono istotnych tendencji zmian w czasie większości analizowanych charakterystyk. Zaobserwowano jedynie wzrost liczby dni z niżówką oraz deficytu niżówek w poszczególnych latach hydrologicznych. Podobne procesy obserwowane są na wielu innych rzekach w różnych regionach Polski. Są one w dużej mierze związane z obserwowanymi już skutkami zmian klimatu.

## Wezbrania

Mianem wezbrania określa się okresowe podniesienie stanu wody w rzece powstałe w wyniku wzmożonego zasilania (np. przez opady atmosferyczne lub roztopy) lub też na skutek piętrzenia wody (np. w sytuacji wystąpienia zatoru lodowego lub silnego zarastania). Pojęcie to nie powinno być utożsamiane z pojęciem powodzi. Wyróżnia się różne wezbrania w zależności od ich genezy, m.in.:

- wezbrania opadowe (w naszej strefie klimatycznej występujące najczęściej w okresie letnim, głównie na przełomie czerwca i lipca);
- wezbrania roztopowe (w naszej strefie klimatycznej występujące wczesną wiosną, kiedy woda pochodząca z topniejącej pokrywy śnieżnej ma ograniczoną możliwość infiltracji do zamrożonego podłoża i spływa po powierzchni do rzek i jezior);
- wezbrania zatorowe (powstające w wyniku ograniczenia przepływu w rzece, np. w skutek zjawisk lodowych lub też silnego zarastania).

Podobnie jak w przypadku niżówek, również w analizie występowania i przebiegu wezbrań kluczową kwestią jest wskazanie granicznej wartości stanu wody w rzece, od której mówi się o wezbraniu. Według E.Bajkiewicz-Grabowskiej oraz Z.Mikulskiego (1999) podstawą fali wezbraniowej może być:

- stan średniej rocznej wielkiej wody (SWW) – wyznacza wezbrania wielkie przekraczające stan pełnokorytowy; są to często wezbrania katastrofalne powodujące powodzie;
- stan niskiej wielkiej wody (NWW) – wyznacza wezbrania duże, mieszczące się w korycie, ale podtapiające równinę zalewową;
- stan odpowiadający dolnej granicy strefy stanów wysokich – określane jako  $\frac{1}{2}$  (NWW + WSW).

Inni autorzy za dolną granicę wezbrania przyjmują najniższy z maksymalnych przepływów rocznych z wielolecia (NWQ) (Ozga-Zielińska, 1990 za Kaznowska i in. 2015). Takie podejście zakłada wystąpienie każdego roku przynajmniej jednego wezbrania. Niestety, występowanie w analizowanym wieloleciu nawet pojedynczych szczególnie suchych lat, sprawia, iż NWQ przyjmuje stosunkowo niską wartość, co w konsekwencji prowadzi do wyróżniania bardzo licznych wezbrań. W przypadku analizowanego zbioru danych z profilu Bród Stary na rz. Czarna Hańcza do lat szczególnie suchych można zaliczyć rok 1997, czy 2003, kiedy to przepływy maksymalne roczne były niewiele wyższe od średniego przepływu w wieloleciu (SSQ).

W związku z powyższym w literaturze można się spotkać również z zastosowaniem innych kryteriów hydrologicznych. Za przepływ graniczny uznawany jest średni przepływ maksymalny z wielolecia (SWQ) lub mediana przepływów maksymalnych rocznych (Ozga-Zielińska, Brzeziński, 1997 za Siwek, 2016). W niniejszej analizie za przepływ graniczny przy określaniu wezbrań uznano SWQ, który w przypadku profilu Bród Stary na rz. Czarnej Hańczy wynosi: 2,01 m<sup>3</sup>/s.

Podobnie jak w przypadku niżówek, również przy ocenie przebiegu wezbrań kluczowym jest wskazanie minimalnego czasu trwania tego zjawiska oraz minimalnego odstępu między kolejnymi zdarzeniami. Wezbrania mają niejednokrotnie bardzo nagły charakter, z tego też względu w tym przypadku za wezbranie uznano każdy dzień z przepływem przekraczającym przepływ graniczny. Minimalny odstęp między kolejnymi zdarzeniami zachowano analogiczny jak w przypadku niżówek, tj. 3 dni.



Wśród głównych charakterystyk wezbrania wymienia się:

- objętość fali wezbraniowej rozumiana jako objętość nadmiaru wody w stosunku do przepływu granicznego;
- natężenie przepływu kulminacyjnego;
- czas trwania wezbrania.

Zestawienie wezbrań, które wystąpiły w latach hydrologicznych 1993-2022 wraz z ich wybranymi charakterystykami (w tym tymi wymienionymi powyżej) zostało w tabeli 6. W analizowanym okresie wystąpiło łącznie 21 wezbrań. Największe z nich miało miejsce w 1994 roku. Trwało 41 dni, a objętość fali wezbraniowej wyniosła ponad 4 100 tys. m<sup>3</sup>. Maksymalny stan wody w tym okresie sięgnął 100 cm, co odpowiadało przepływowi 4,55 m<sup>3</sup>/s.

Tab. 6. Zestawienie wezbrań wraz z ich charakterystykami (rz. Czarna Hańcza, profil Bród Stary)

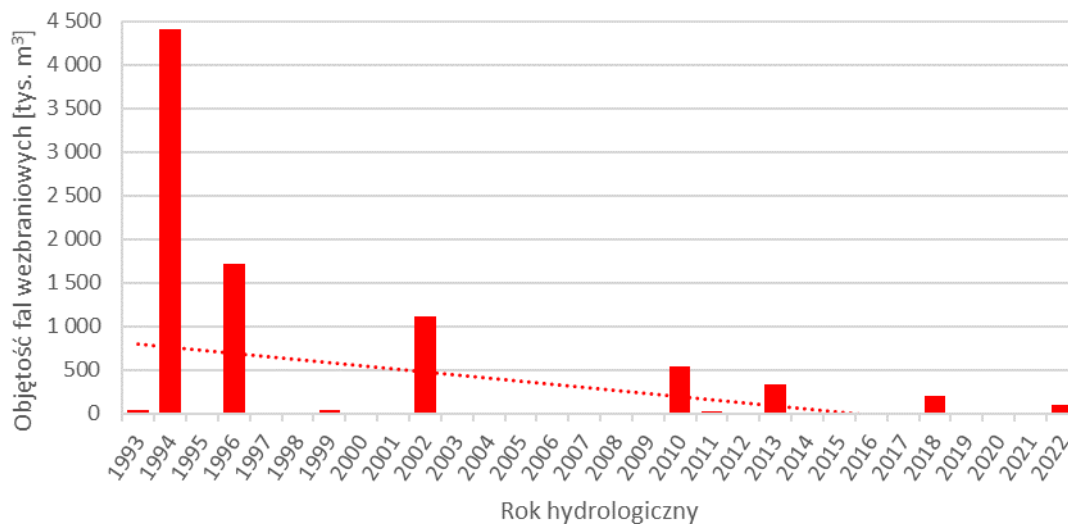
Okres		Czas trwania [dni]	Przepływ kulminacyjny [m <sup>3</sup> /s]	Maksymalny stan wody [cm]	Objętość fali wezbraniowej [tys. m <sup>3</sup> ]	Średni przepływ [m <sup>3</sup> /s]	Czas do kolejnego wezbrania [dni]
od	do						
19.03.1993	20.03.1993	2	2,15	72	24,20	2,15	11
31.03.1993	01.04.1993	2	2,15	72	24,20	2,15	346
13.03.1994	20.03.1994	8	2,93	82	293,79	2,44	4
24.03.1994	03.05.1994	41	4,55	100	4 111,84	3,17	389
27.05.1995	28.05.1995	2	2,11	76	9,50	2,07	317
09.04.1996	12.04.1996	4	2,63	82	183,18	2,54	4
16.04.1996	06.05.1996	21	3,55	92	1 534,49	2,86	1 036
08.03.1999	09.03.1999	2	2,27	82	44,92	2,27	1 060
01.02.2002	25.03.2002	53	2,72	83	1 123,20	2,26	1 810
09.03.2007	09.03.2007	1	2,06	74	4,32	2,06	750
28.03.2009	29.03.2009	2	2,06	74	8,64	2,06	357
21.03.2010	24.03.2010	4	2,90	85	177,13	2,52	55
18.05.2010	26.05.2010	9	2,99	86	364,61	2,48	257
07.02.2011	08.02.2011	2	2,11	76	17,28	2,11	148
06.07.2011	06.07.2011	1	2,12	77	9,50	2,12	647
13.04.2013	30.04.2013	18	2,50	80	330,96	2,22	1 699
24.12.2017	26.12.2017	3	2,32	78	54,43	2,22	4
30.12.2017	31.12.2017	2	2,08	74	6,91	2,05	29
29.01.2018	02.02.2018	5	2,71	82	115,77	2,28	59
02.04.2018	02.04.2018	1	2,34	78	28,51	2,34	1 418
18.02.2022	28.02.2022	11	2,24	77	95,04	2,11	

Przeanalizowano również występowanie wezbrań w poszczególnych latach hydrologicznych. Stwierdzono malejącą tendencję objętości fal wezbraniowych (rys. 52), jak również liczby dni z wezbraniem (rys. 53). Wezbrania występujące na rz. Czarna Hańcza w profilu Bród Stary występują przede wszystkim w okresie zimowo-wiosennym (rys. 54). Geneza wezbrań w tym okresie jest ściśle związana z roztopami zalegającej pokrywy śnieżnej. Stwierdzona malejąca tendencja ich czasu trwania oraz wielkości wynika zapewne z malejącej grubości pokrywy śnieżnej oraz czasu jej zalegania.

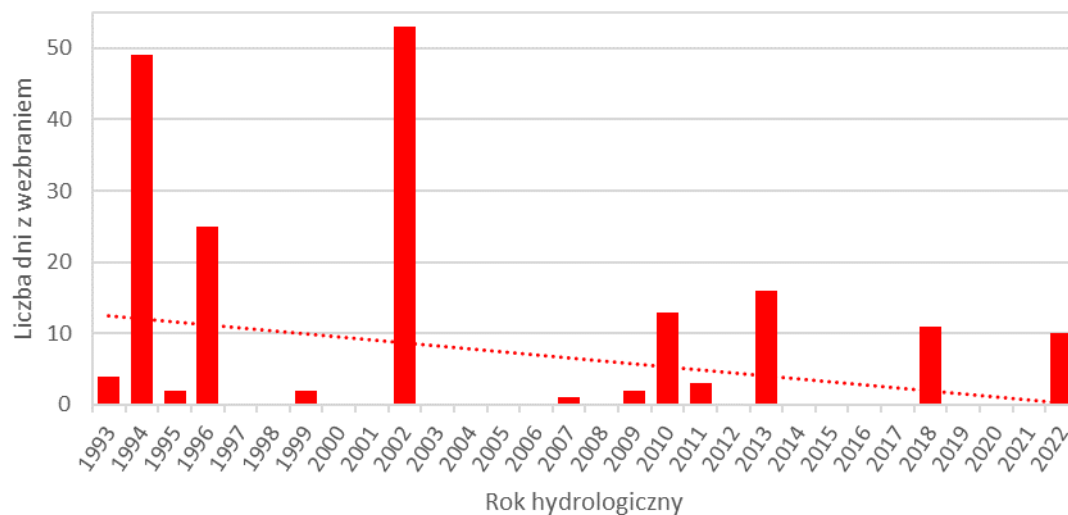
Prognozy zmian klimatu wskazują, iż w przyszłości nastąpi dalsze zmniejszanie grubości pokrywy śnieżnej oraz ograniczony zostanie czas jej występowania. W konsekwencji tego procesu stopniowo będzie zmniejszał się czas występowania wezbrań zimowych.



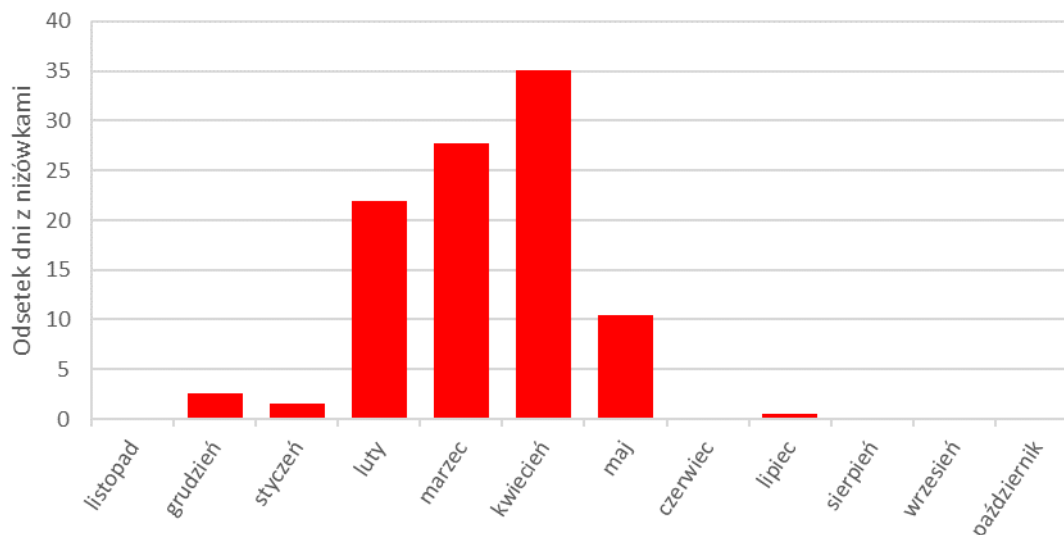
Przedstawione powyżej analizy wskazują, iż w okresie 1993-2022 nie nastąpiły istotne zmiany w zakresie występowania niżówek. Stwierdzono natomiast tendencję malejącą występowania wezbrań. W związku z tym w przyszłych działaniach mających na celu adaptację do zmian klimatu w zakresie gospodarki wodnej należy zwrócić uwagę przede wszystkim na kwestię przeciwdziałania suszy oraz odpowiednie zagospodarowanie wód opadowych pozwalające na ich późniejsze efektywne wykorzystanie.



Rys. 52. Objętość fal wezbraniowych w latach hydrologicznych (rz. Czarna Hańcza, profil Bród Stary)



Rys. 53. Liczba dni z wezbraniem w latach hydrologicznych (rz. Czarna Hańcza, profil Bród Stary)



Rys. 54. Występowanie wezbrań w poszczególnych miesiącach  
(rz. Czarna Hańcza, profil Bród Stary)

### 3. Projekcje temperatury i opadu na obszarze miasta Suwałki w perspektywie do 2050 roku

#### 3.1. Uwagi wstępne

Prognozy trendów temperatury i wysokości opadu są podstawową informacją niezbędną do oceny skutków narażenia na niekorzystne efekty zmian klimatu. Raport Międzyrządowego Panelu ds. Zmian Klimatu (IPCC) – Piąty Raport

Oceny opublikowany w 2013 roku oraz Raport Specjalny SR1.5 opublikowany w listopadzie 2018 roku nie pozostawiają wątpliwości co do statystycznej istotności trendów zmian, zarówno obserwowanych, jak i prognozowanych na kolejne dekady.

Zmiany klimatu pociągają za sobą głównie negatywne konsekwencje dla zdrowia, rolnictwa, lasów, produkcji i zużycia energii, a także dla transportu, turystyki, otoczenia urbanistycznego czy produkcji przemysłowej. Wpływają także na bioróżnorodność, jakość upraw oraz zmniejszanie się powierzchni zalesionych. Istotna jest także ocena oddziaływania na zdrowie ludzi i zwierząt w odniesieniu do chorób zakaźnych, pasożytów i negatywnego oddziaływania czynników meteorologicznych, jak fale upałów. Ze względu na dużą gęstość zaludnienia i zabudowy, tereny zurbanizowane są szczególnie podatne na niekorzystne czynniki klimatyczne i ich pochodne.

Celem dostarczenia wiedzy eksperckiej dotyczącej adaptacji do zmian klimatu w Polsce, Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy podjął prace badawczo-wdrożeniowe w ramach projektu „Baza wiedzy o zmianach klimatu i adaptacji do ich skutków oraz kanałów jej upowszechniania w kontekście zwiększania odporności gospodarki, środowiska i społeczeństwa na zmiany klimatu oraz przeciwdziałania i minimalizowania skutków nadzwyczajnych zagrożeń”. W projekcie przewidziano szereg działań, których głównym celem jest dostarczenie niezbędnej wiedzy w

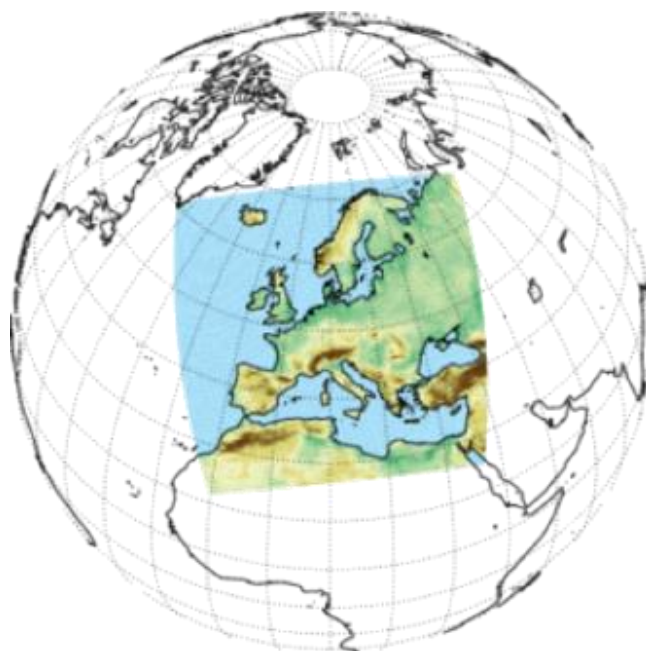
zakresie zmian klimatu i oceny ich skutków na rzecz poprawy skuteczności oraz efektywności działań adaptacyjnych w sektorach wrażliwych na zmiany klimatu, m.in. opracowanie projekcji klimatycznych dla Polski do roku 2100.

Poniższe opracowanie dotyczy zmian temperatury i opadu w mieście Suwałki w horyzoncie roku 2050. Analiza została wykonana dla dwóch scenariuszy emisyjnych: RPC 4.5 i RCP 8.5. Obliczone indeksy klimatyczne podzielone zostały na sześć bloków tematycznych: średnie warunki termiczne, fale upałów, fale chłodu, średnie warunki opadowe, opad ekstremalny i wskaźniki suszy.

### 3.2. Metodyka opracowania

Wyniki globalnych modeli klimatu (ang. GCM – *Global Climate Models*) ze względu na rozdzielczość nie są wystarczające na potrzeby planowania działań adaptacyjnych w poszczególnych krajach. Do tego celu stosowane są regionalne modele klimatu (ang. RCM – *Regional Climate Models*) wykorzystujące technikę dynamicznego skalowania dla zwiększenia rozdzielczości przestrzennej (ang. *dynamical downscaling*). Celem uzyskania lepszej reprezentacji cech lokalnych wyniki prognoz regionalnych można poddać dalszemu procesowi skalowania statystycznego z wykorzystaniem dostępnych obserwacji.

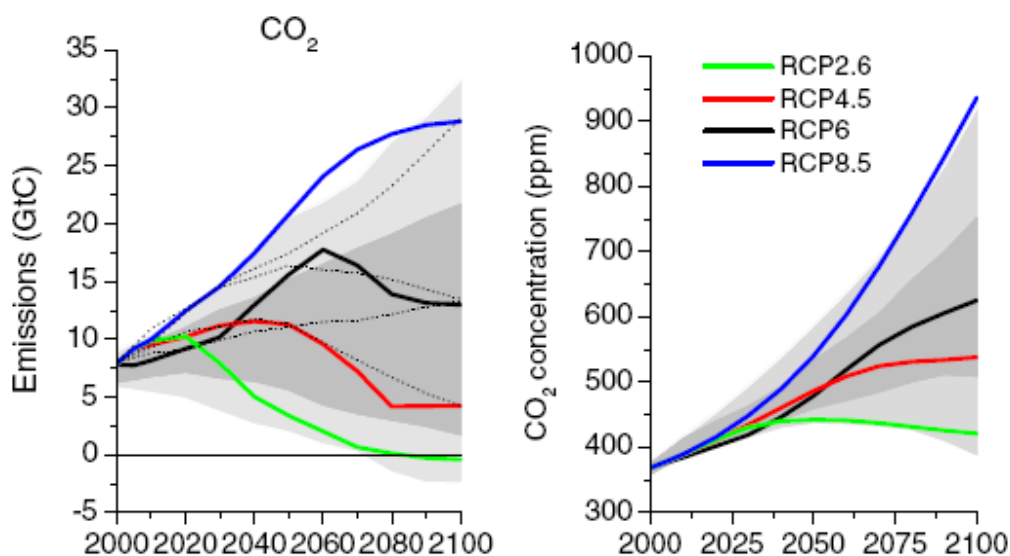
Wyniki modeli globalnych będących podstawą opracowania Raportów Oceny IPCC stanowią informację referencyjną dla opracowań regionalnych scenariuszy zmian klimatu. Aktualne wyniki pochodzą ze zbioru Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5). Na bazie tych wyników powstały projekcje regionalne w ramach międzynarodowej inicjatywy CORDEX, której częścią dla obszaru Europy jest EuroCORDEX. W ramach EuroCORDEX dostępne są zbiory symulacji regionalnych modeli klimatycznych, w których wymuszenie zewnętrzne pochodzi ze zbioru CMIP5. Wyniki modeli z repozytorium EuroCORDEX stanowią dane wejściowe do badań nad regionalnymi oddziaływaniami zmian klimatu w różnych sektorach w większości krajów europejskich.



Rys. 55. Domena obliczeniowa EuroCORDEX (źródło: <https://euro-cordex.net/>)

Wzorując się na licznych doświadczeniach europejskich, warunki przyszłego klimatu dla obszaru Polski opracowano w oparciu o symulacje klimatyczne udostępniane w ramach projektu EuroCORDEX (rys. 55). Wyniki EuroCORDEX dostępne są dla okresu 2006-2100. Wykorzystano dostępne symulacje regionalnych modeli klimatu dla obszaru obejmującego całą Europę, na siatce regularnej o rozdzielczości  $0,11^\circ$  (ok. 12,5 km).

Klimat zależy od wielu czynników globalnych, wśród których najistotniejszym jest ilość gazów cieplarnianych w atmosferze. Zgodne z wynikami analiz Międzyrządowego Panelu ds. Zmian Klimatu to gazy cieplarniane (głównie dwutlenek węgla) odpowiadają za obserwowany w wielu miejscach na świecie wzrost temperatury. W ostatnim sześćdziesięcioleciu średnie stężenie dwutlenku węgla w atmosferze wzrosło z 315 do ponad 415 milionowych części objętości (ppm) i rośnie o około 2 ppm/rok. Aby prognozować zmiany temperatury i innych parametrów klimatycznych, naukowcy starają się przewidzieć tempo zwiększania się zawartości dwutlenku węgla w atmosferze. W celu uchwycenia niepewności wynikających z możliwych alternatywnych ścieżek rozwoju gospodarczego i socjoekonomicznego, rozważane są różne, uzgodnione międzynarodowo, scenariusze, które co kilka lat podlegają uaktualnieniu.



Rys. 56. Różnice projekcji emisji CO<sub>2</sub> (lewy panel) i prognozowanych stężeń CO<sub>2</sub> (prawy panel) pomiędzy scenariuszami RCP. Obszar zacieniony odpowiada 98. i 90. percentylowi (jasny i ciemny szary) z literatury (źródło: van Vuuren et al. (2011)).

Analizy zmian temperatury i opadu przeprowadzono dla dwóch scenariuszy emisyjnych opisanych akronimami RCP 4.5 oraz RCP 8.5. Umiarkowany scenariusz RCP4.5 zakłada dalszy wzrost stężeń CO<sub>2</sub> do 540 ppm w roku 2100 oraz osiągnięcie wymuszenia radiacyjnego w wysokości 4,5 W/m<sup>2</sup>, zaś scenariusz ekstrapolacyjny RCP8.5 odpowiada wzrostowi stężeń CO<sub>2</sub> do 940 ppm i osiągnięciu wymuszenia radiacyjnego w wysokości 8,5 W/m<sup>2</sup> (rys. 56).

### Wyniki modeli klimatu

Podstawowe parametry meteorologiczne pozwalające na określenie ekspozycji i wrażliwości na zmiany klimatu to:

- temperatura średniodobowa [°C],

- temperatura maksymalna dobowa [°C],
- temperatura minimalna dobowa [°C],
- dobowa suma opadu [mm/doba].

Z repozytorium EuroCORDEX pobrano wszystkie dostępne dla powyższych czterech parametrów realizacje. Dla każdego parametru dostępne było kilkanaście realizacji. Pojedyncza unikatowa realizacja jest jednoznacznie określona poprzez połączenie akronimu regionalnego modelu (RCM) wykorzystanego jako narzędzie obliczeniowe do downscalingu dynamicznego oraz akronimu globalnego modelu (GCM), którego wyniki zostały wykorzystane jako tzw. warunki brzegowe do symulacji.

Do obliczenia projekcji zmian klimatu zastosowano dodatkowo skalowanie statystyczne w oparciu o historyczne dane bazujące na obserwacjach oraz podejście wiążkowe pozwalające na ocenę niepewności projekcji.

### Historyczne dane meteorologiczne

Jako dane referencyjne, pozwalające na wykorzystanie technik statystycznych, wykorzystano pola temperatury i opadu uzgodnione przestrzennie do siatki regularnej, bazujące na obserwacjach naziemnych lub będące wynikiem reanaliz:

- IMGW – dane przygotowane na potrzeby pracy przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy, to pomiary z sieci stacji meteorologicznych interpolowane do siatki regularnej wzorowanej na siatce EuroCORDEX, zagęszczonej dwukrotnie do rozdzielczości około 0,055°;
- E-OBS – dane w rozdzielczości dobowej obejmujące pole sumy opadu oraz pola temperatury minimalnej, średniej i maksymalnej dobowej w Europie z repozytorium ECA&D (*European Climate Assessment & Dataset*). Pełen zestaw danych obejmuje okres od 01.01.1950 i jest ciągle aktualizowany. Dane są udostępniane na regularnej siatce o rozdzielczości 0,25°;
- Reanaliza ERA5 – wytworzona w oparciu o metodę asymilacji danych 4DVar z CY41R2 systemu *Integrated Forecast System* (IFS) organizacji ECMWF. ERA5 zawiera dane globalne o rozdzielczości około 31 km;
- UERRA (ang. *Uncertainties in Ensembles of Regional ReAnalyses*) – nowa eksperymentalna reanaliza regionalna dla Europy, uwzględniająca podejście wiążkowe;

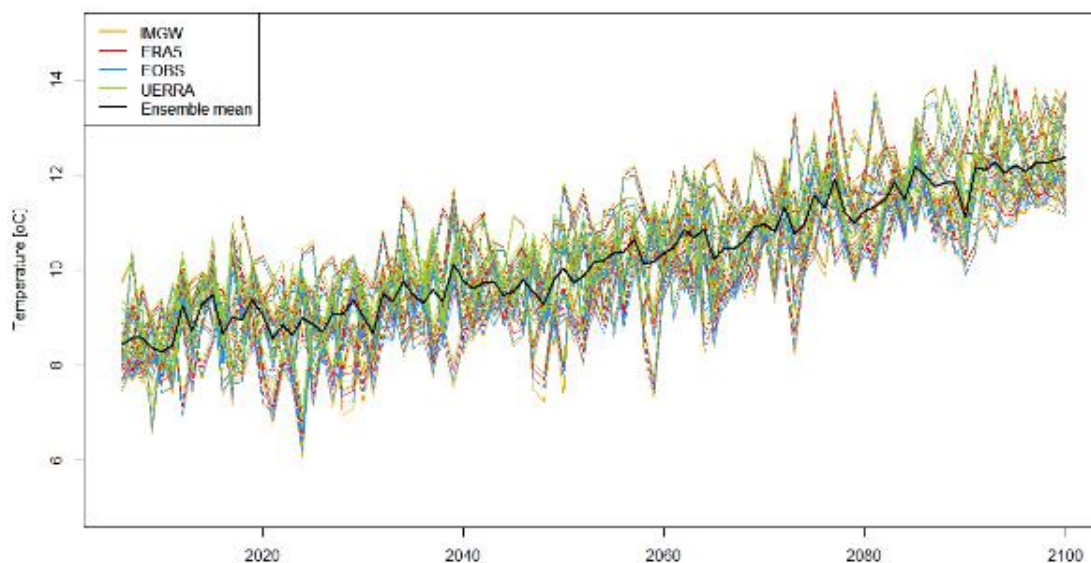
### Statystyczne skalowanie projekcji klimatycznych (downscaling)

Na potrzeby zastosowania statystycznego skalowania historyczne pola zmiennych meteorologicznych zostały poddane interpolacji do siatki EuroCORDEX w domenie EUR-11.

Dla każdej realizacji pobranej z repozytorium EuroCORDEX wykonano statystyczne skalowanie (*downscaling*) z wykorzystaniem pakietu statystycznego R (funkcje z pakietu QMAP) względem bazujących na obserwacjach danych historycznych, dla okresu referencyjnego 2006-2018.

Na podstawie zależności, które zostały ustalone indywidualnie dla każdego modelu dla okresu referencyjnego, wykonano skalowanie obejmujące cały okres analiz – do roku 2100. W wyniku zastosowania statystycznego skalowania, dzięki wykorzystaniu metody mapowania kwantyli,

uzyskano redukcję błędu średniego, poprawę rozrzutu wartości ekstremalnych oraz lepsze przybliżenie rozkładu gęstości prawdopodobieństwa.



Rys. 57. Finalna projekcja temperatury średniej rocznej na podstawie scenariusza RCP8.5.

Po wykonaniu statystycznego skalowania powstały niezależne wiązki bazujące na opisanych powyżej różnych zestawach danych obserwacyjnych. Rys. 57 przedstawia przykładowy przebieg temperatur średnich rocznych prognozowanych przez indywidualne regionalne modele klimatu po zastosowaniu procedury statystycznego skalowania z wykorzystaniem czterech różnych zestawów danych referencyjnych oraz scenariusz finalny, obliczony jako średnia wiązki, dla scenariusza RCP8.5. Finalna projekcja zmian została obliczona jako średnia arytmetyczna wszystkich indywidualnych realizacji, tworzących wiązkę.

## Indeksy klimatyczne

Ocenę narażenia na zmiany klimatu wykonano na podstawie indeksów klimatycznych wskazanych w załączniku 1.

### 3.3. Prognozowane zmiany temperatury i opadu

Na podstawie czterech podstawowych parametrów (temperatury średniodobowej, dobowej temperatury minimalnej, dobowej temperatury maksymalnej i sumy dobowej opadu) obliczony został zestaw indeksów klimatycznych pozwalających na ocenę zmiany narażenia w mieście Suwałki na termiczne i opadowe warunki średnie i ekstremalne. Analiza została wykonana dla dwóch scenariuszy rozwoju: PRC4.5 i RCP8.5. Zmiany w warunkach przyszłego klimatu analizowano na podstawie wartości rocznych (do 2050 roku) oraz średniomiesięcznych w trzech horyzontach czasowych: dla roku 2030 (jako średnia z dziesięciolecia 2026-2035) oraz 2050 (jako średnia z dziesięciolecia 2046-2055). Dla warunków klimatu bieżącego przeprowadzono obliczenia dla roku 2010, obliczonego jako średnia z lat 2006-2015. Analiza wartości średniorocznych została wsparta



dotatkowo o analizę trendów liniowych wyznaczonych jako liniowe funkcje regresji analizowanych zmiennych. Charakter rozwojowy danego wskaźnika opisano następującą funkcją liniową:

$$y = Slope \times x + Intercept$$

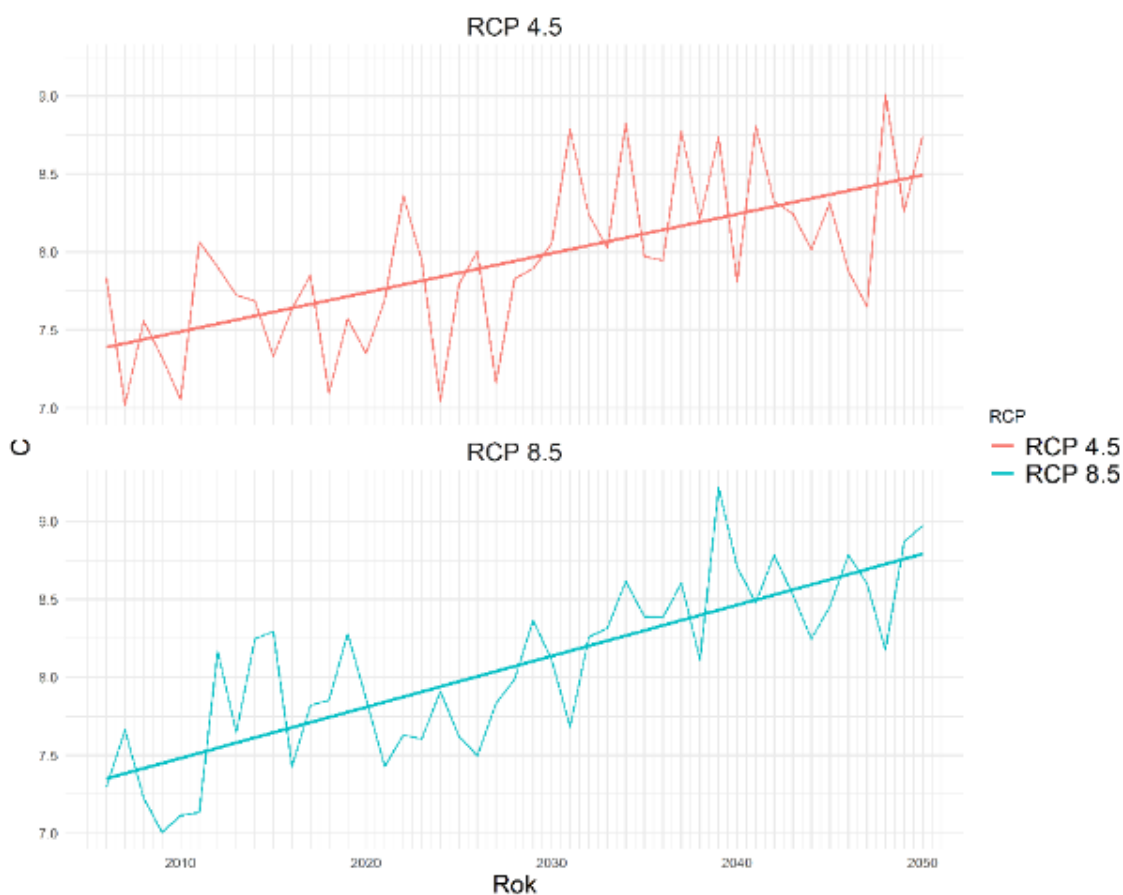
gdzie :

Slope – współczynnik kierunkowy prostej regresji (tangens kąta nachylenia)

Intercept – wyraz wolny (wartość przecięcia linii regresji z osią y; dla  $x=0$ )

Anomalie w ujęciu wartości średniomiesięcznych analizowanych parametrów wyznaczono jako różnice pomiędzy wartościami dla rozpatrywanych horyzontów czasowych: 2030 (jako średnia z lat 2026 – 2035) oraz 2050 (2046 – 2055) względem klimatu bieżącego – 2010 (jako średnia z lat 2006 – 2016).

### Średnie warunki termiczne – średnia roczna temperatura powietrza

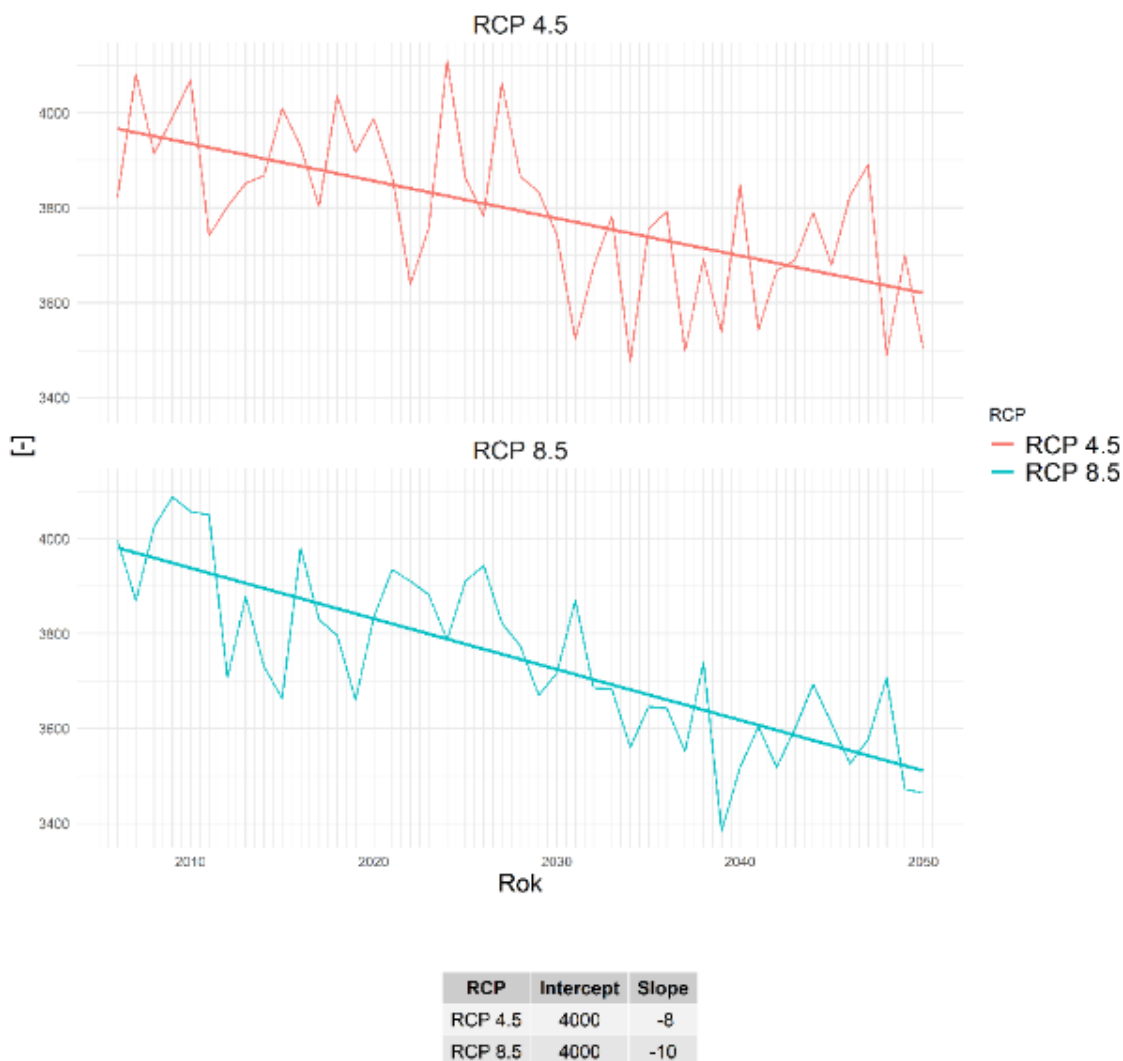


RCP	Intercept	Slope
RCP 4.5	7	0.03
RCP 8.5	7	0.03

Rys. 58. Średnia roczna temperatura powietrza, uśredniona dla obszaru miasta Suwałki, w dwóch scenariuszach klimatycznych.

Wyniki prognozy wskazują, iż dla wartości temperatury średniej rocznej występuje trend wzrostowy (linie proste na rys. 58) w obu scenariuszach. W scenariuszu RCP 4.5 o 0,9°C, natomiast w scenariuszu RCP 8.5 o 1,7°C.

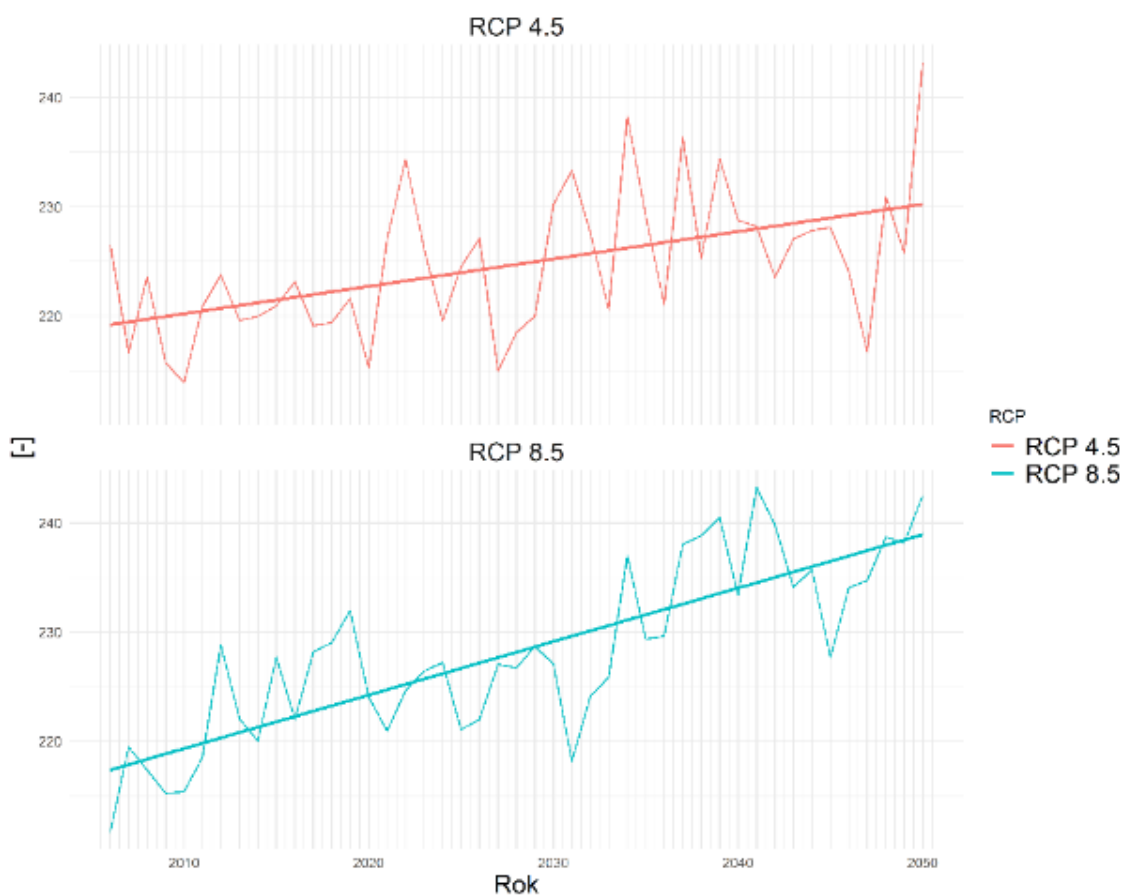
#### Średnie warunki termiczne – HDD – stopniodni z temperaturą średnią dobową < 18°C



Rys. 59. HDD – stopniodni z temperaturą średnią dobową < 18°C, uśredniona dla obszaru miasta Suwałki.

Prognoza stopniodni dla średniej dobowej temperatury powietrza poniżej 18°C wykazuje trend spadkowy (linie proste na rys. 59) w obu scenariuszach. W roku 2050, dla scenariusza RCP 4.5 prognozowany jest spadek liczby stopniodni o 318,5 dnia. Dla scenariusza RCP 8.5, natomiast spadek o 532,7 dnia.



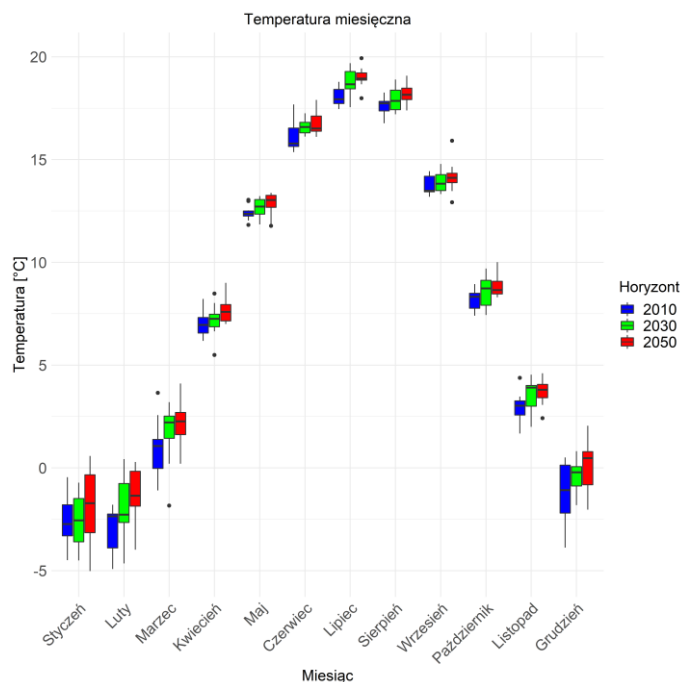
Średnie warunki termiczne – liczba dni wegetacyjnych ( $T_{\text{sr}} > 5^{\circ}\text{C}$ )Rys. 60. Liczba dni wegetacyjnych ( $T_{\text{sr}} > 5^{\circ}\text{C}$ ), uśredniona dla obszaru miasta Suwałki.

Liczba dni wegetacyjnych, ze średniodobową temperaturą powietrza powyżej  $5^{\circ}\text{C}$ , wykazuje w perspektywie kolejnych dekad trend wzrostowy (linie proste na rys. 60). W obu scenariuszach prognozowany jest wzrost do liczby 243 dni w roku 2050, jednakże dynamika zmian wyrażona nachyleniem linii trendu dla scenariusza RCP 8.5 jest większa niż w scenariuszu RCP 4.5.

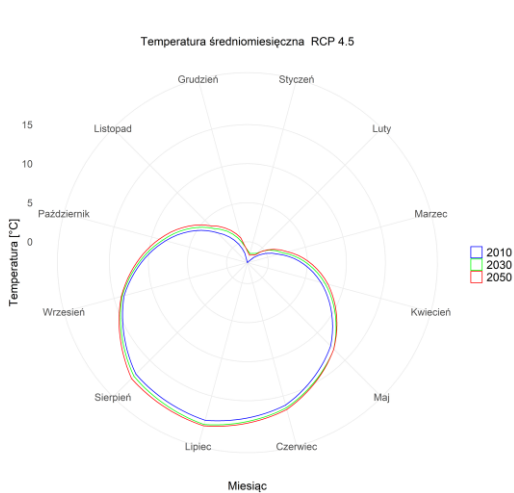
## Średnie warunki termiczne – temperatura średniomiesięczna

## Temperatura średniomiesięczna RCP 4.5

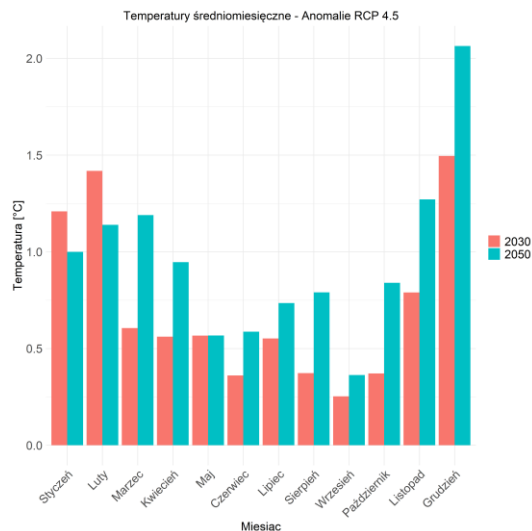
Na rysunkach od 61 do 63 przedstawiono wartości średniomiesięcznej temperatury dla trzech horyzontów czasowych: 2010, 2030 oraz 2050, dla scenariusza RCP 4.5.



Rys. 61. Średnia miesięczna temperatura powietrza – RCP4.5, dla obszaru miasta Suwałki, dla horyzontu 2010 – kolor niebieski, dla horyzontu roku 2030 – kolor zielony i dla horyzontu 2050 kolor czerwony.



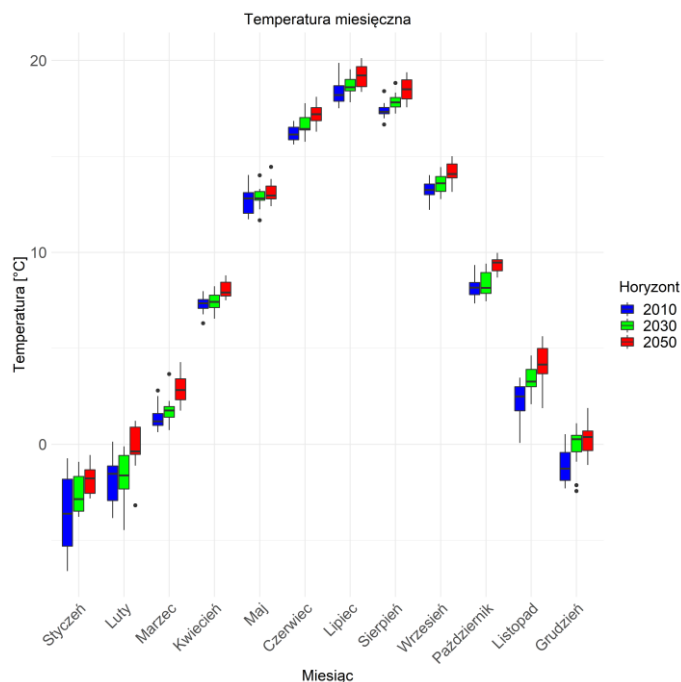
Rys. 62. Średnia miesięczna temperatura powietrza, uśredniona dla obszaru miasta Suwałki, dla horyzontów 2010, 2030 oraz 2050; scenariusz RCP4.5.



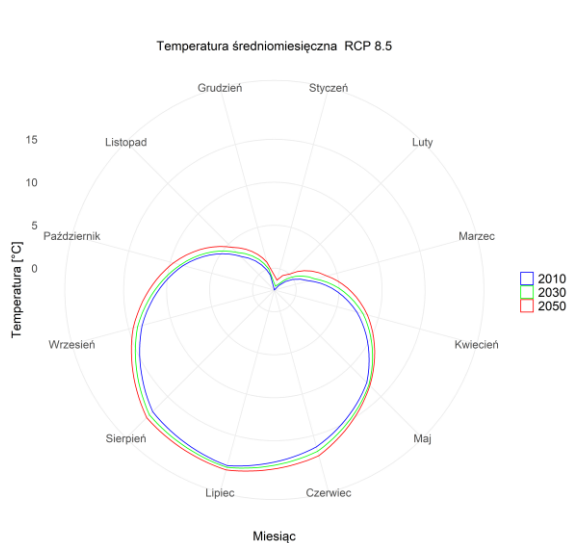
Rys. 63. Anomalia średniej miesięcznej temperatury powietrza, uśredniona dla obszaru miasta Suwałki; scenariusz RCP4.5.

### Temperatura średniomiesięczna RCP 8.5

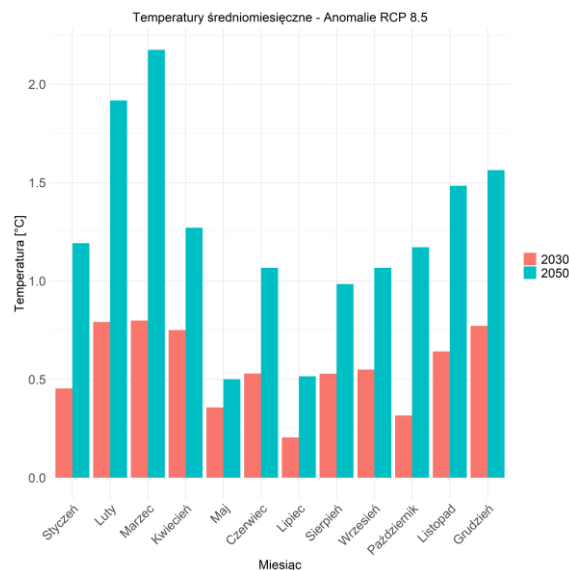
Na rysunkach od 64 do 66 przedstawiono wartości średniomiesięcznej temperatury dla trzech horyzontów czasowych: 2010, 2030 oraz 2050, dla scenariusza RCP 8.5.



Rys. 64. Średnia miesięczna temperatura powietrza – RCP8.5, dla obszaru miasta Suwałki, dla horyzontu 2010 - kolor niebieski, dla horyzontu roku 2030 - kolor zielony i dla horyzontu 2050 kolor czerwony.



Rys. 65. Średnia miesięczna temperatura powietrza, uśredniona dla obszaru miasta Suwałki, dla horyzontów 2010, 2030 oraz 2050; scenariusz RCP 8.5.

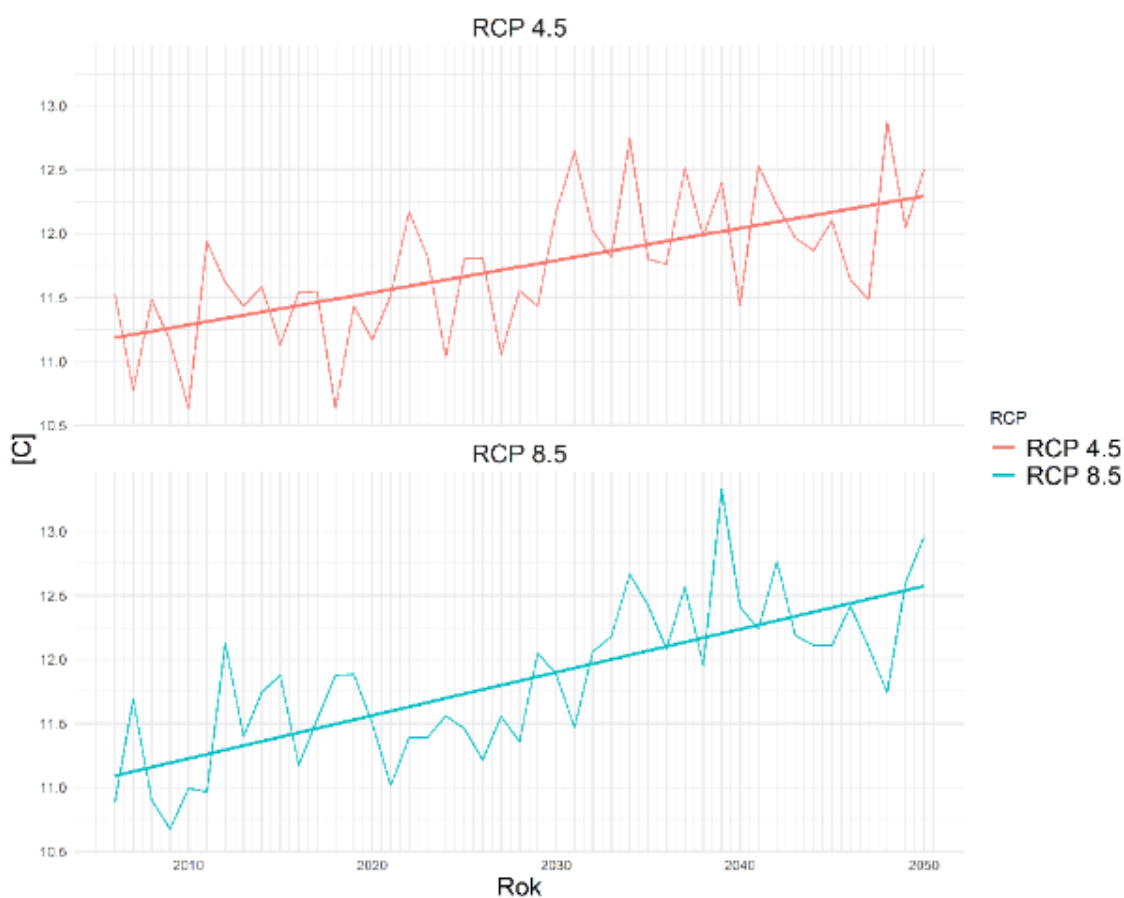


Rys. 66. Anomalia średniej miesięcznej temperatury powietrza, uśredniona dla obszaru miasta Suwałki; scenariusz RCP 8.5.

Prognoza średniej dobowej temperatury powietrza uśrednionej dla miesięcy w obu scenariuszach wykazuje tendencję wzrostową, co obrazują rys. 62 (RCP 4.5) i 65 (RCP 8.5), wskazują na to także diagramy pudełkowe na rys. 61 i 64, gdzie widoczne jest systematyczne przesunięcie wartości środkowej – mediany (pozioma linia w środku diagramów) w stronę wartości wyższych temperatur

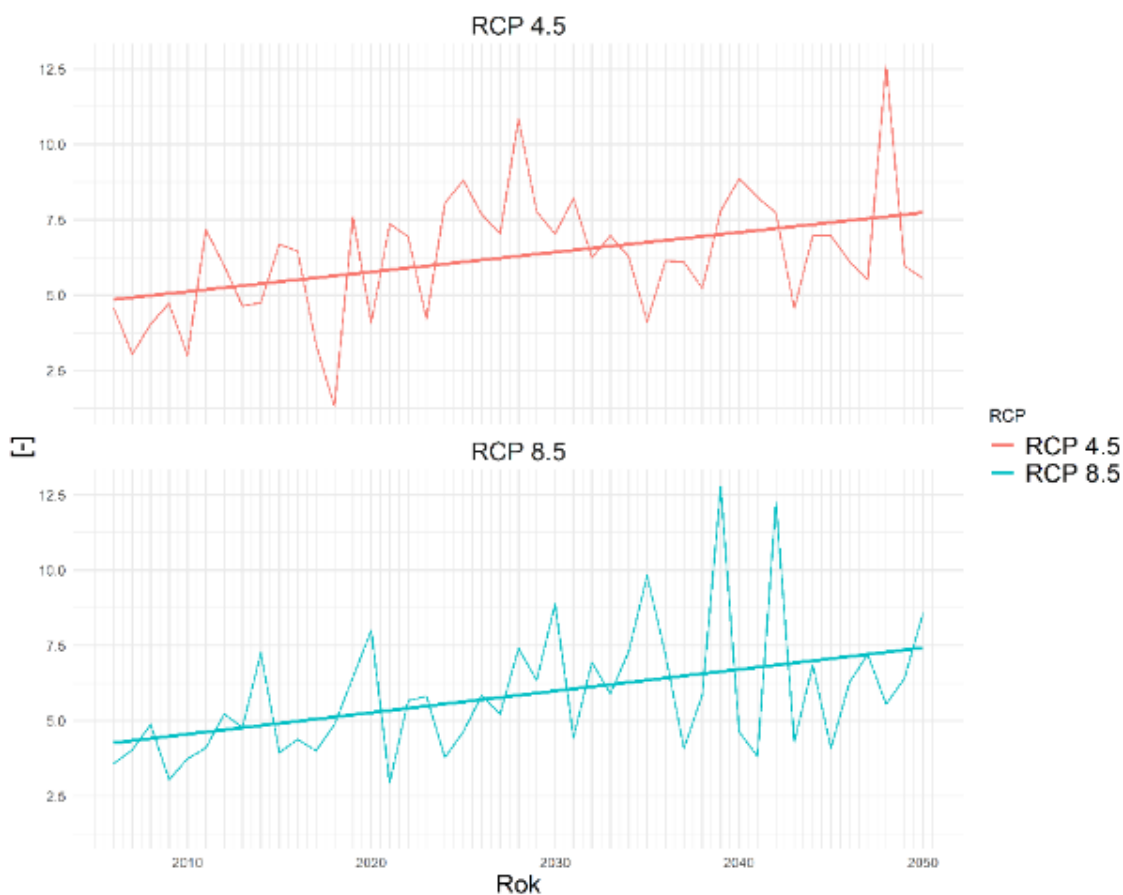
zarówno dla dekady 2026 – 2035 (scentrowanej na 2030) oraz dekady 2046 – 2055 (scentrowanej na 2050) Ponadto, na rys. 63 i 66 można zauważyć iż miesiące zimowe (szczególnie styczeń i luty) charakteryzują się największą zmiennością na przestrzeni rozpatrywanych dekad. Zmienność jest najniższa, natomiast w przypadku sezonu letniego (diagramy pudełkowe są najmniejsze). Wykresy anomalii, obliczonych jako różnica wartości pomiędzy horyzontami 2030 a 2010 oraz 2050 a 2010 dla obu scenariuszy wskazują na wystąpienie większych różnic wartości w przypadku miesięcy zimowych. Ponadto, w scenariuszu RCP 8.5 anomalie dla horyzontu 2050 są widocznie większe niż 2030. **Podsumowując należy stwierdzić, że prognozowany jest systematyczny wzrost średnich temperatur w każdym miesiącu, największy w miesiącach zimowych.**

#### Fale upałów – średnia roczna temperatura maksymalna

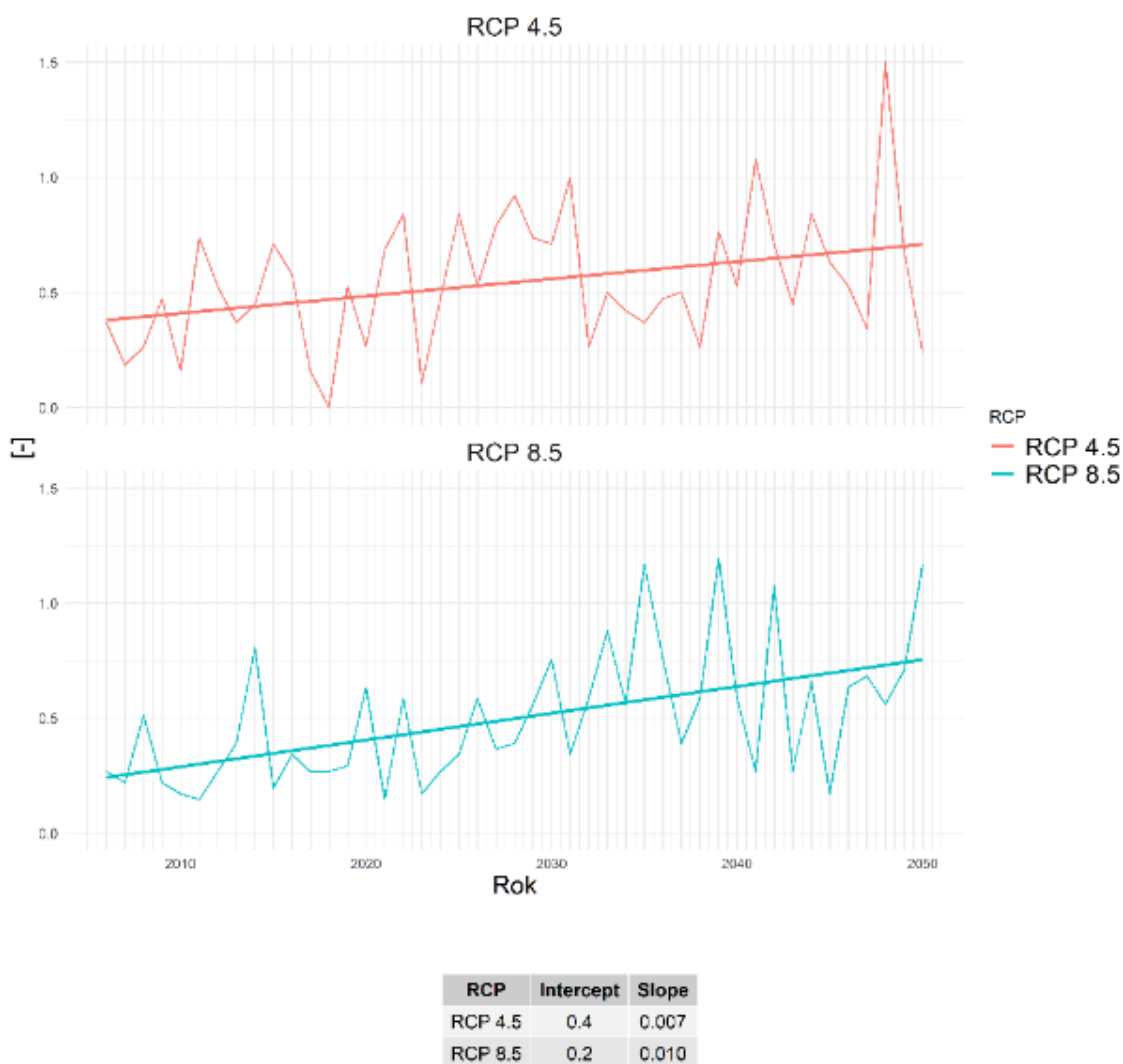


Rys. 67. Średnia roczna temperatura maksymalna, uśredniona dla obszaru miasta Suwałki.

Prognoza średniej rocznej temperatury maksymalnej dla obu scenariuszy RCP, wykazuje w badanym okresie trend wzrostowy (linie ciągłe na rys. 67). Pomimo widocznych różnic w ujęciu wartości średniorocznych, prognozowana dynamika wzrostu dla obu scenariuszy jest taka sama, o czym świadczą te same współczynniki linii trendu.

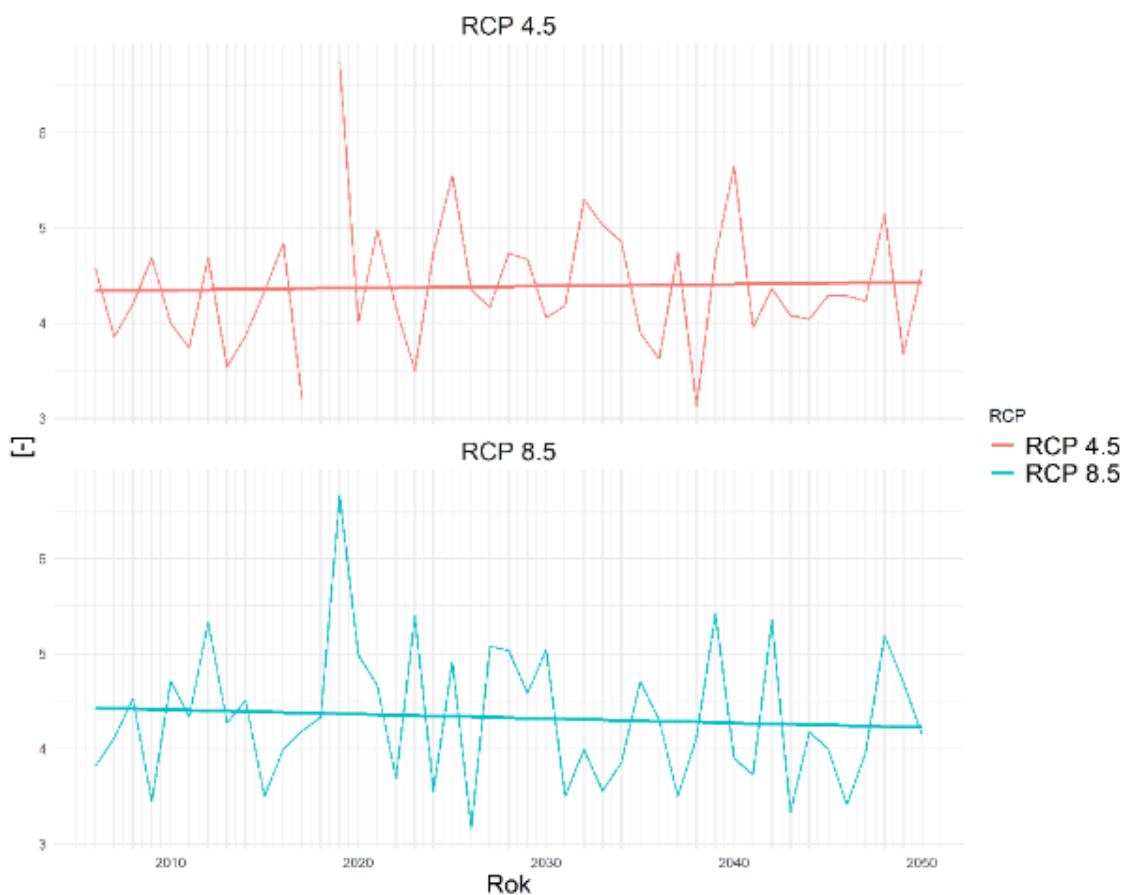
Fale upałów – liczba dni upalnych ( $T_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$ )Rys. 68. Liczba dni upalnych ( $T_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$ ), uśredniona dla obszaru miasta Suwałki.

Prognoza liczby dni upalnych dla obu scenariuszy RCP, wykazuje w badanym okresie trend wzrostowy (linie ciągłe na rysunku 68). Pomimo widocznych różnic pomiędzy scenariuszami, w ujęciu rocznym, nachylenie linii trendu w obu scenariuszach jest takie same. Zakres zmienności tego parametru w analizowanym okresie zawiera się w przedziale od 1.30 do 12.6 dni w scenariuszu RCP 4.5. W scenariuszu RCP 8.5, natomiast od 2.93 do 12.75 dni.

Fale upałów – Liczba fal upałów (co najmniej 3 dni z  $T_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$ )Rys. 69. Liczba fal upałów (co najmniej 3 dni z  $T_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$ ).

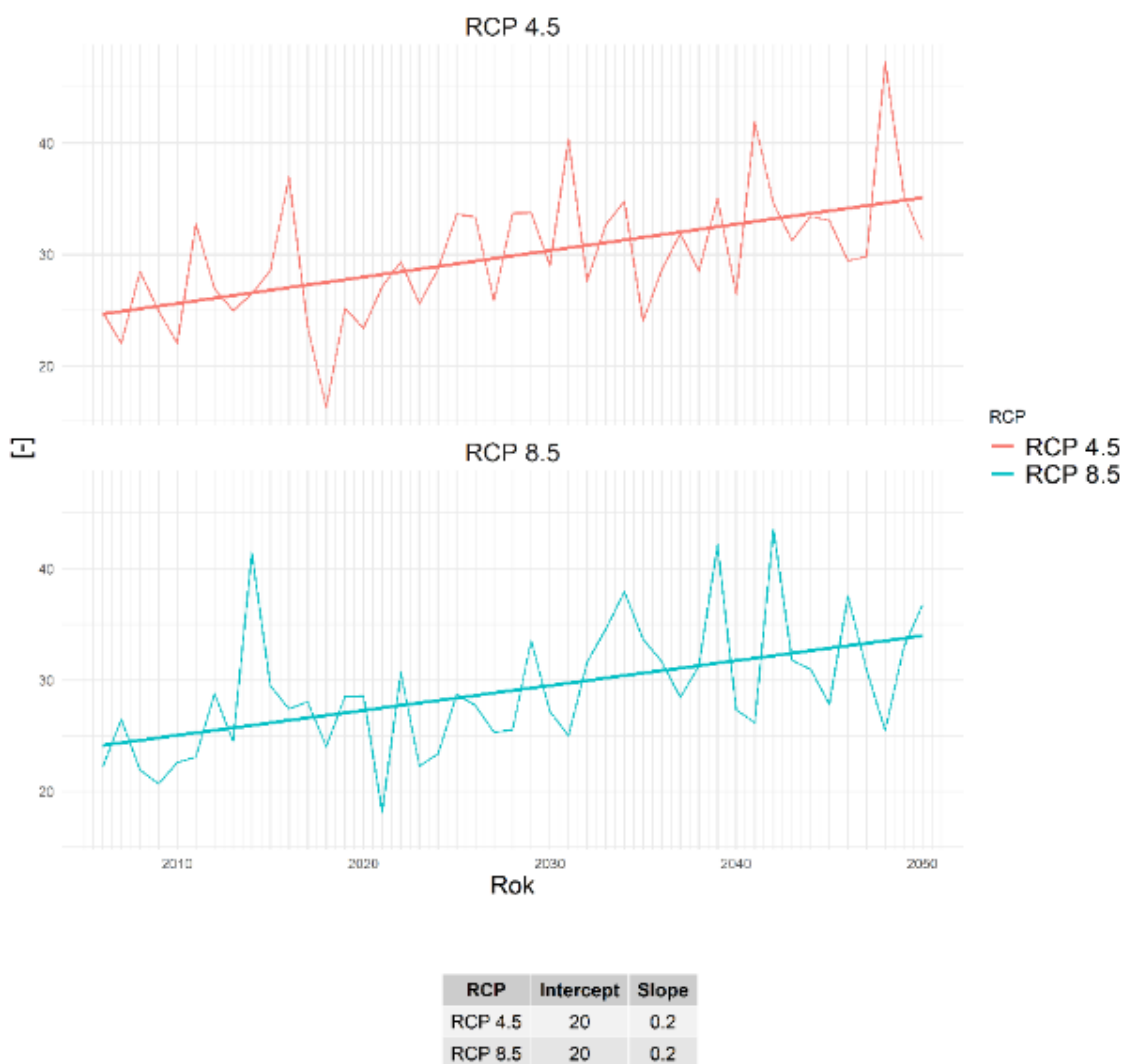
Fale upałów, definiowane jako okres co najmniej 3 dni z  $T_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$  w Suwałkach będą występowały z małą lecz zmienną częstotliwością. Początkowo, prognozowana jest częstotliwość rzędu jednej fali na kilka lat (stąd ułamkowe wartości na wykresach rocznych). Wraz z upływem czasu ich liczba się zwiększy. W obu scenariuszach widoczny jest trend wzrostowy (linie ciągłe na rysunku 69).

## Fale upałów – średnia długość trwania fal upałów



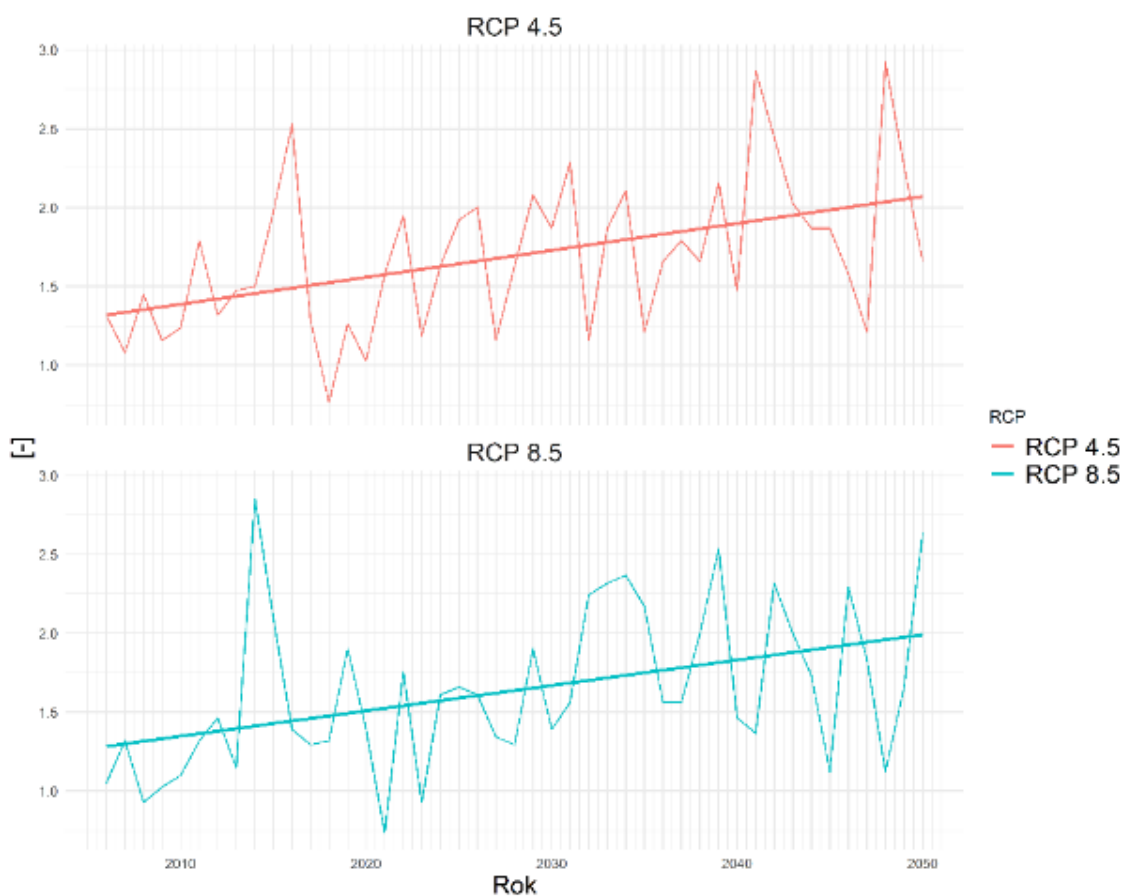
Rys. 70. Średnia długość trwania fal upałów, uśredniona dla obszaru miasta Suwałki.

W horyzoncie do 2050 roku, prognozowane zmiany w długości trwania fal upałów w Suwałkach są niewielkie (rys. 70). W scenariuszu RCP 4.5 widoczny jest trend silnie zbliżony do trendu bocznego (bardzo małe nachylenie kąta). Na przestrzeni 45 lat, w ujęciu wartości średniorocznych długość trwania fal upałów będzie wahała się w przedziale od 3.125 do 6.75. W scenariuszu RCP 8.5, natomiast prognozowany jest niewielki spadek czasu trwania fal upałów. W ujęciu wartości średniorocznych na przestrzeni analizowanego okresu prognozowana będzie zmiana od 3.167 do 6.667 dni.

Fale upałów – Liczba dni gorących ( $T_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$ )Rys. 71. Liczba dni gorących ( $T_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$ ), uśredniona dla obszaru miasta Suwałki.

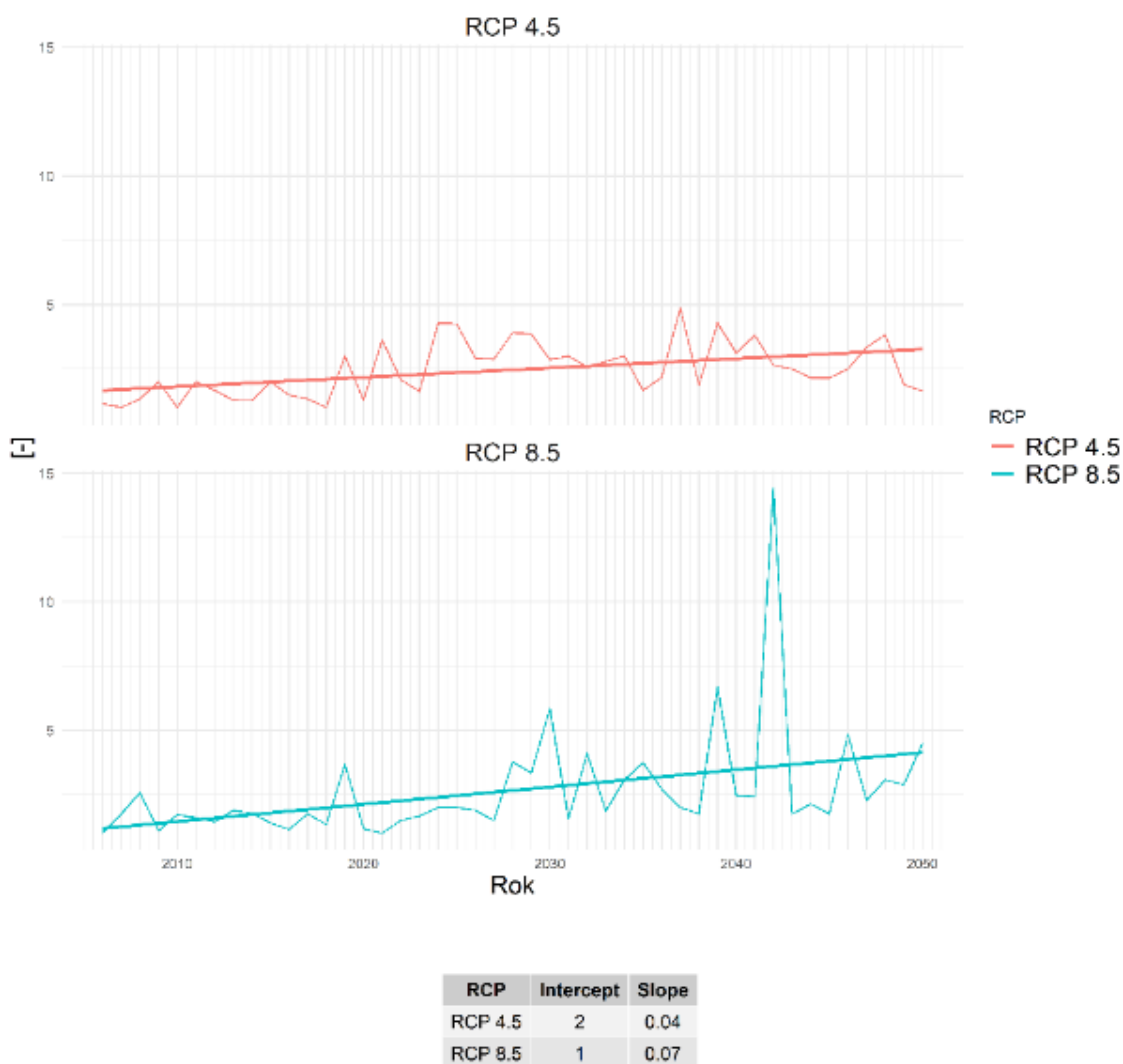
Dla liczby dni w roku z temperaturą maksymalną większą niż  $25^{\circ}\text{C}$ , w przypadku obu scenariuszy występuje w ciągu analizowanego okresu trend wzrostowy (rys. 71). Pomimo różnic pomiędzy scenariuszami, w ujęciu wartości średniorocznych, parametry linii trendów są takie same. W scenariuszu RCP 4.5 w analizowanym okresie prognozowana jest zmienność wartości od 16.24 do 47.23 dni w ciągu roku. W scenariuszu RCP 8.5, natomiast od 18.17 do 43.55 dnia.



Fale upałów – liczba okresów długości co najmniej 5 dni z  $T_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$ 

Rys. 72. Liczba okresów długości co najmniej 5 dni z  $T_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$ , uśredniona dla obszaru miasta Suwałki.

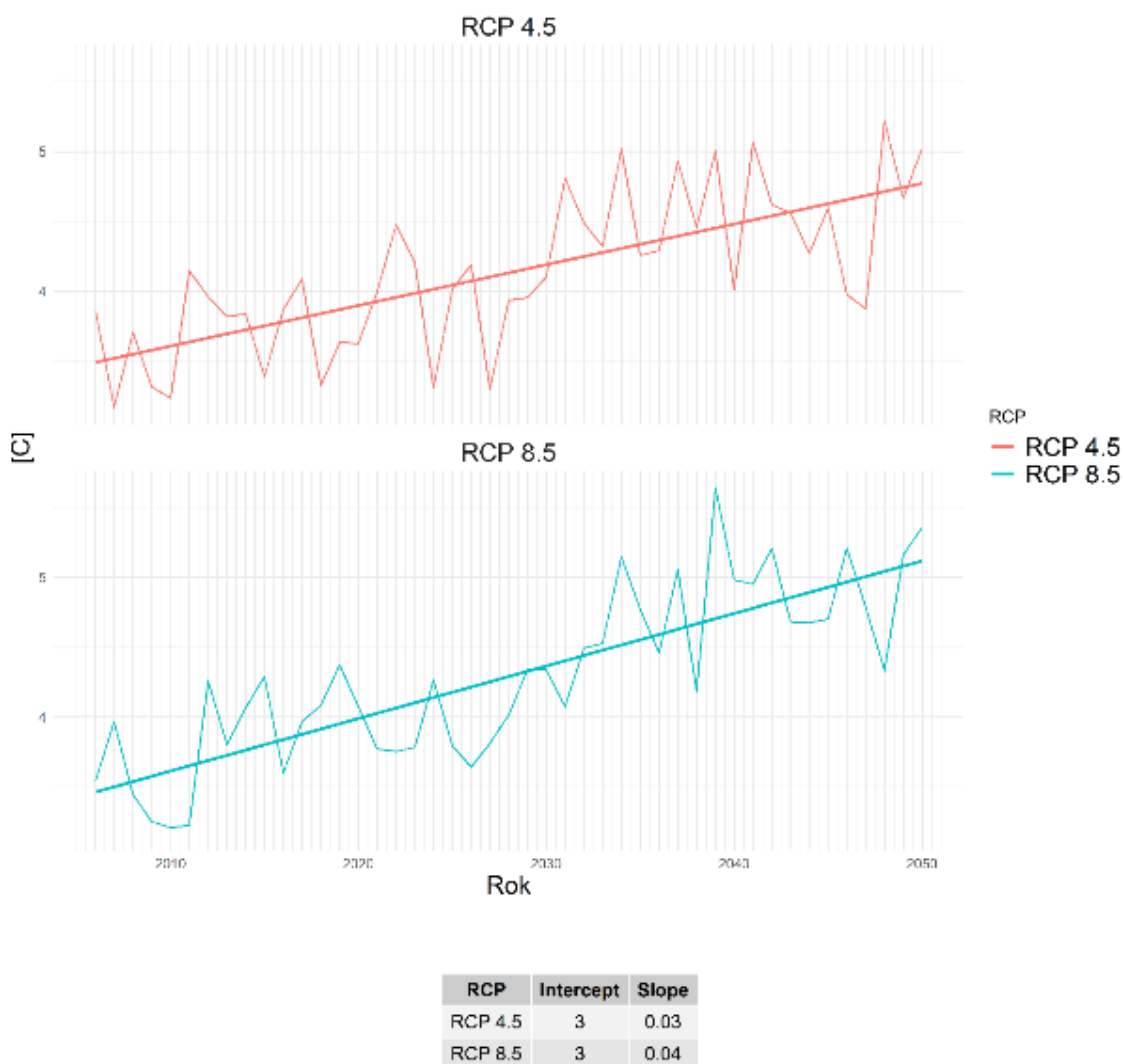
W obu scenariuszach, dla analizowanego okresu, prognozowany jest trend wzrostowy (rys. 72). Pomimo różnic pomiędzy scenariuszami w ujęciu wartości średniorocznych, parametry linii trendów są takie same. W analizowanym okresie prognozowana jest zmienność tego indeksu od 0.73 do 2.9 w scenariuszu RCP 4.5, oraz od 0.73 do 2.85 w scenariuszu RCP 8.5.

Fale upałów – Liczba nocy tropikalnych ( $T_{\min} > 20^{\circ}\text{C}$ )

Rys. 73. Liczba nocy tropikalnych ( $T_{\min} > 20^{\circ}\text{C}$ ), uśredniona dla obszaru miasta Suwałki.

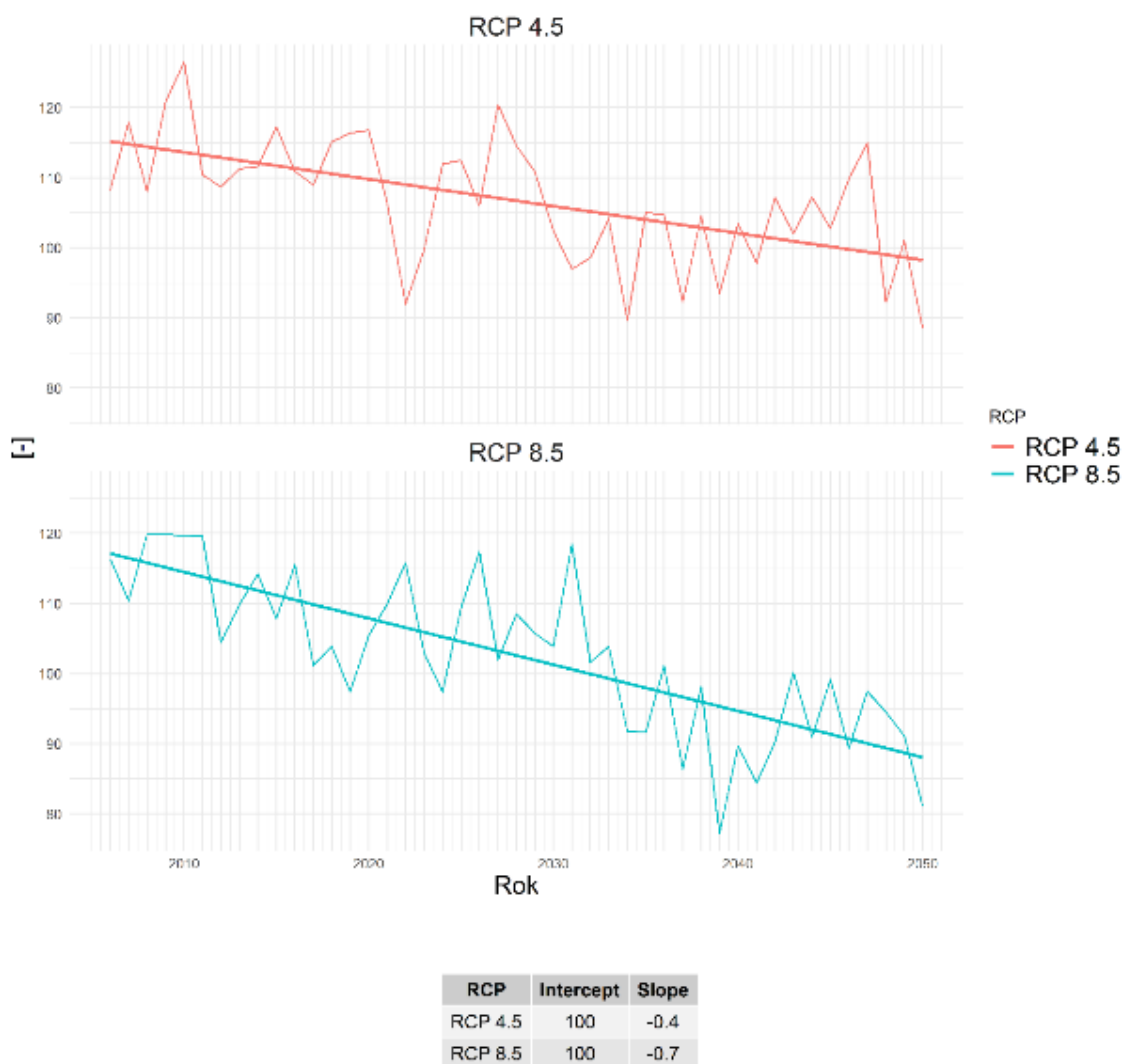
Indeks liczby nocy tropikalnych w obu scenariuszach wykazuje tendencję wzrostową (rys. 73). Przy czym, w scenariuszu RCP 8.5 dynamika zmian przybiera silniejszy charakter (nachylenie kąta linii trendu jest większe). W scenariuszu RCP 4.5, na przestrzeni analizowanego okresu, prognozowana jest zmienność tego wskaźnika od 1 do 4.86 nocy. W scenariuszu RCP 8.5, natomiast prognozowana jest zmienność od 1 do 14.42 nocy.

## Fale chłodu – średnia roczna temperatura minimalna

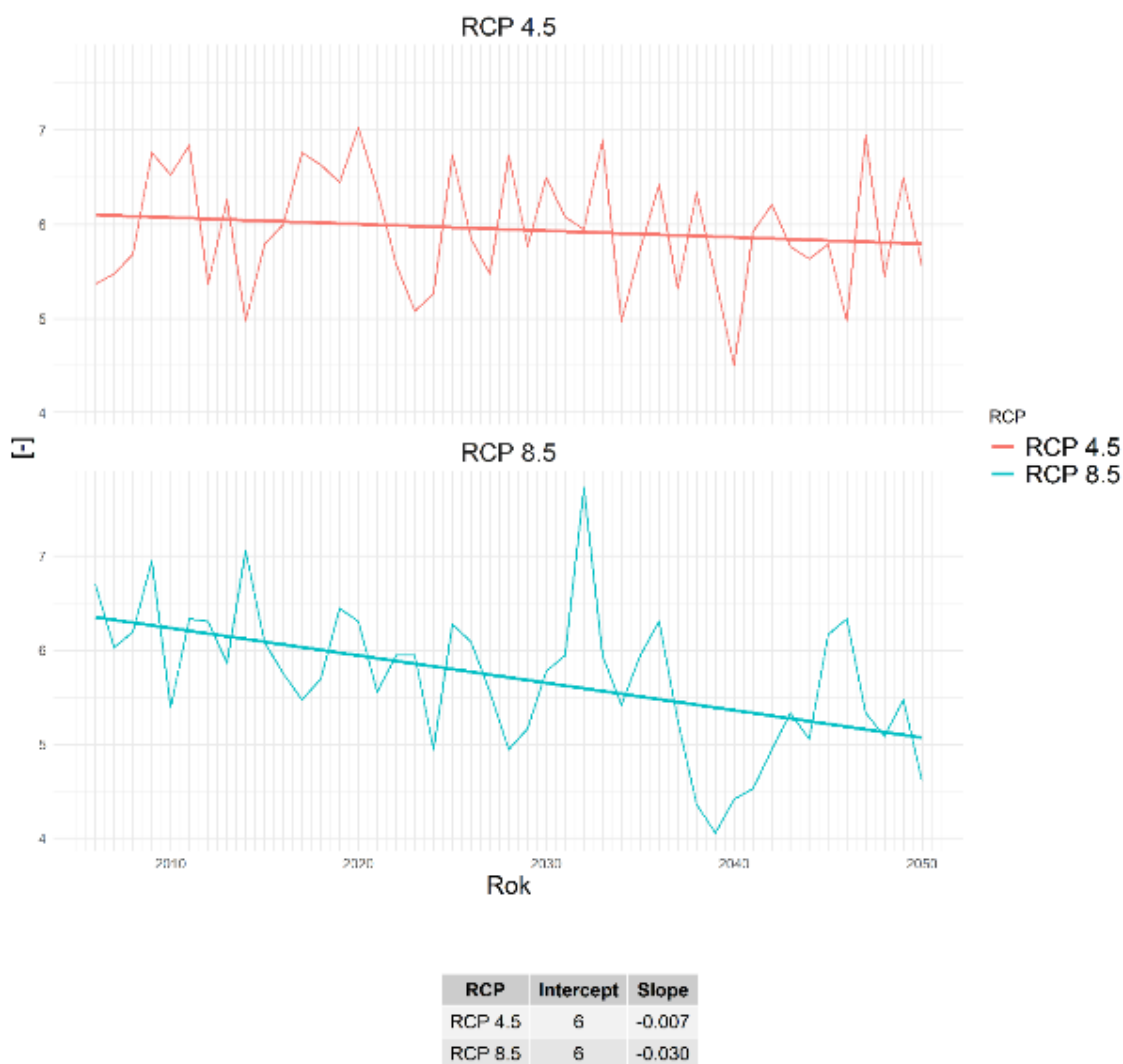


Rys. 74. Średnia roczna temperatura minimalna, uśredniona dla obszaru miasta Suwałk.

Średnia roczna temperatura minimalna w analizowanym okresie, w obu scenariuszach wykazuje trend wzrostowy (rys. 74). W scenariuszu RCP 8.5 trend jest nieznacznie silniejszy niż w RCP 4.5. Na przestrzeni analizowanych 45 lat, w ujęciu wartości średniorocznych, w scenariuszu RCP 4.5 temperatura minimalna będzie się zmieniać od 3.17°C do 5.22°C. W scenariuszu RCP 8.5, natomiast od 3.21°C do 5.63°C.

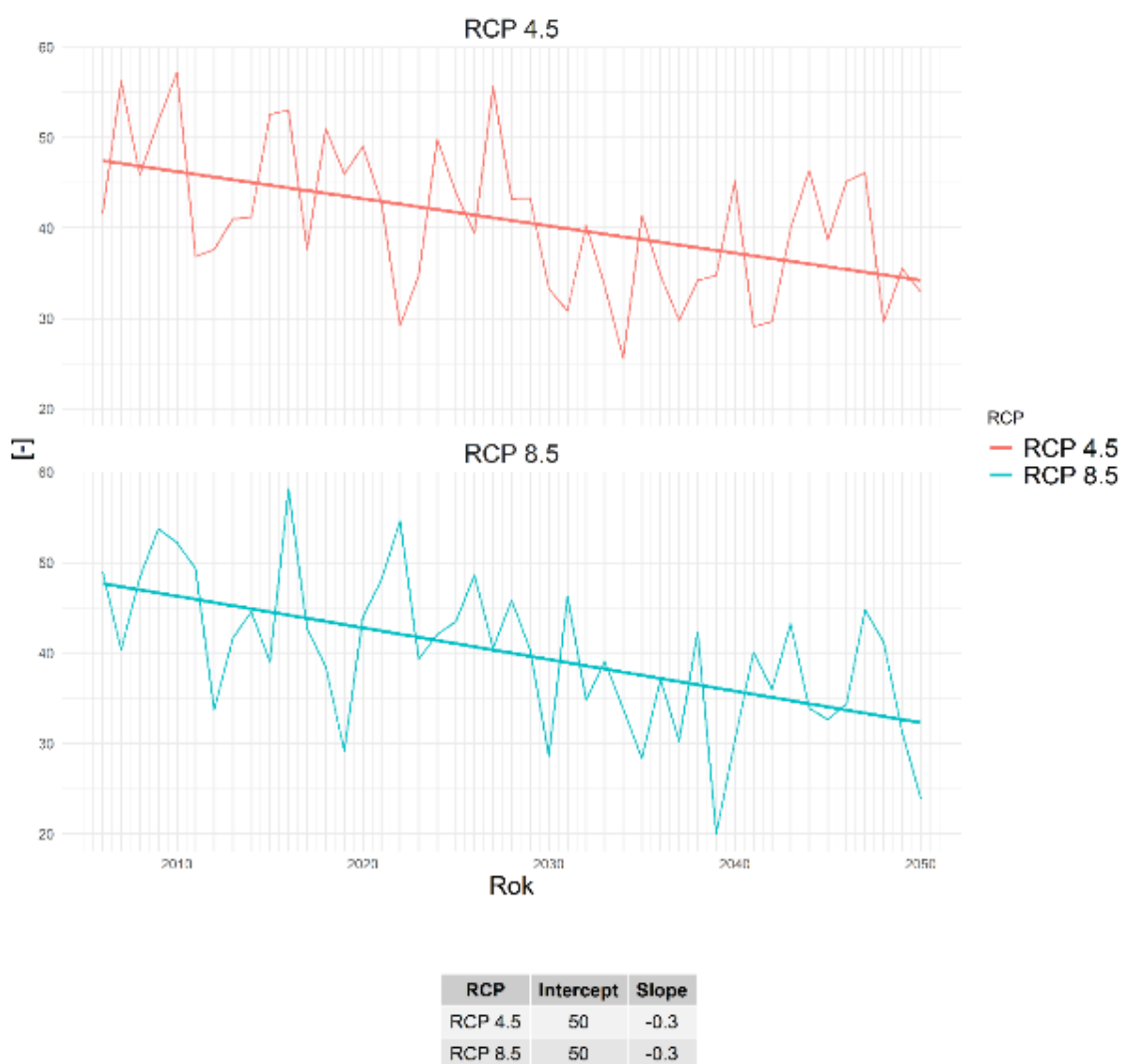
Fale chłodu – Liczba dni przymrozkowych ( $T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$ )Rys. 75. Liczba dni przymrozkowych ( $T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$ ), uśredniona dla obszaru miasta Suwałki.

W analizowanym okresie, w obu scenariuszach prognozowany jest spadek wartości liczby dni przymrozkowych (rys. 75). W scenariuszu RCP 8.5 prognozowany spadek będzie bardziej dynamiczny niż w RCP 4.5. W ujęciu średniorocznym, do 2050 roku, wartości tego indeksu będą się wahać od 88.58 do 126.4 dni dla scenariusza RCP 4.5. W scenariuszu RCP 8.5, natomiast od 77.25 do 119.8 dni.

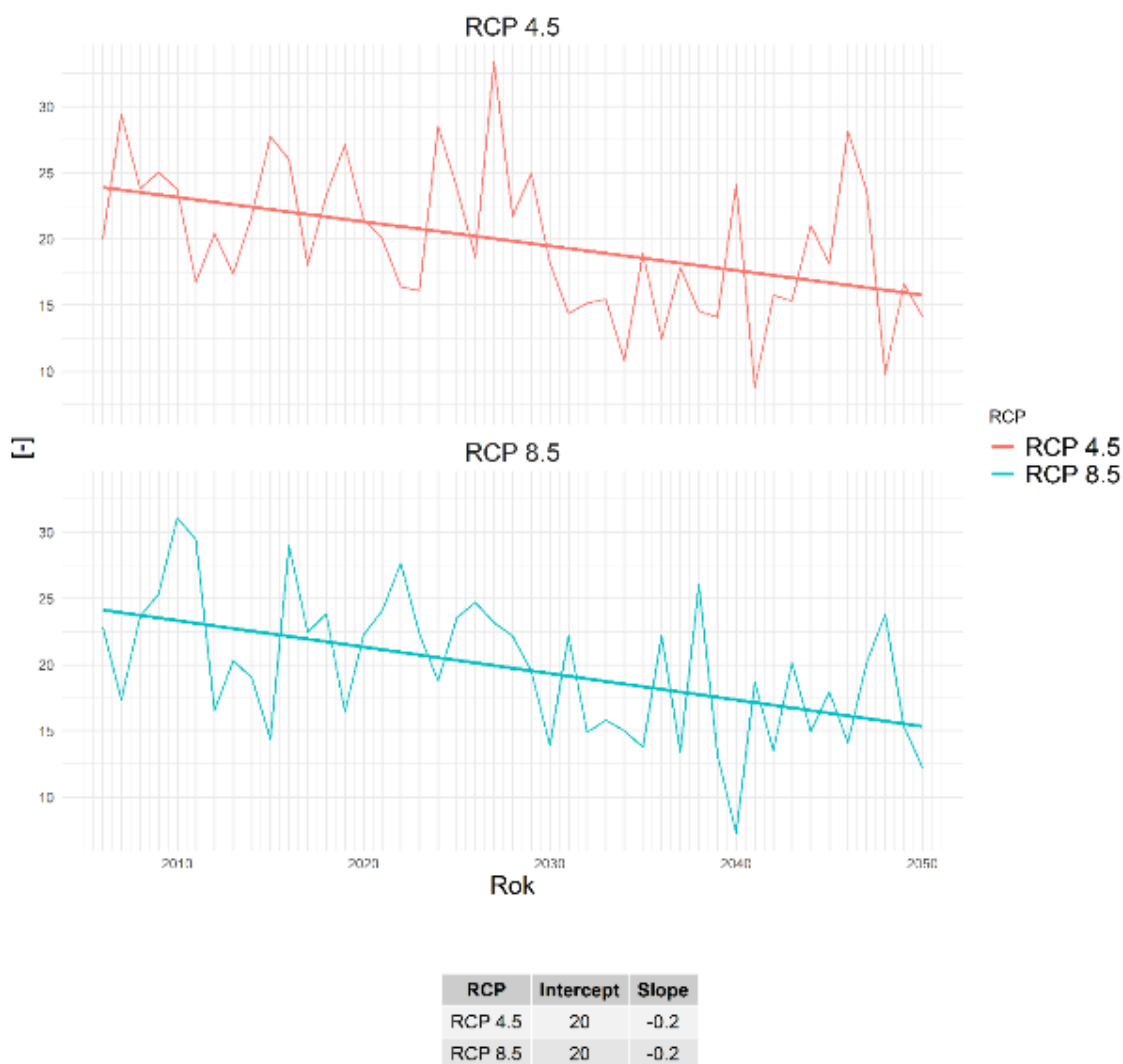
Fale chłodu – Liczba okresów przymrozkowych (co najmniej 5 dni z  $T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$ )

Rys. 76. Liczba okresów przymrozkowych (co najmniej 5 dni z  $T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$ ), uśredniona dla obszaru miasta Suwałk.

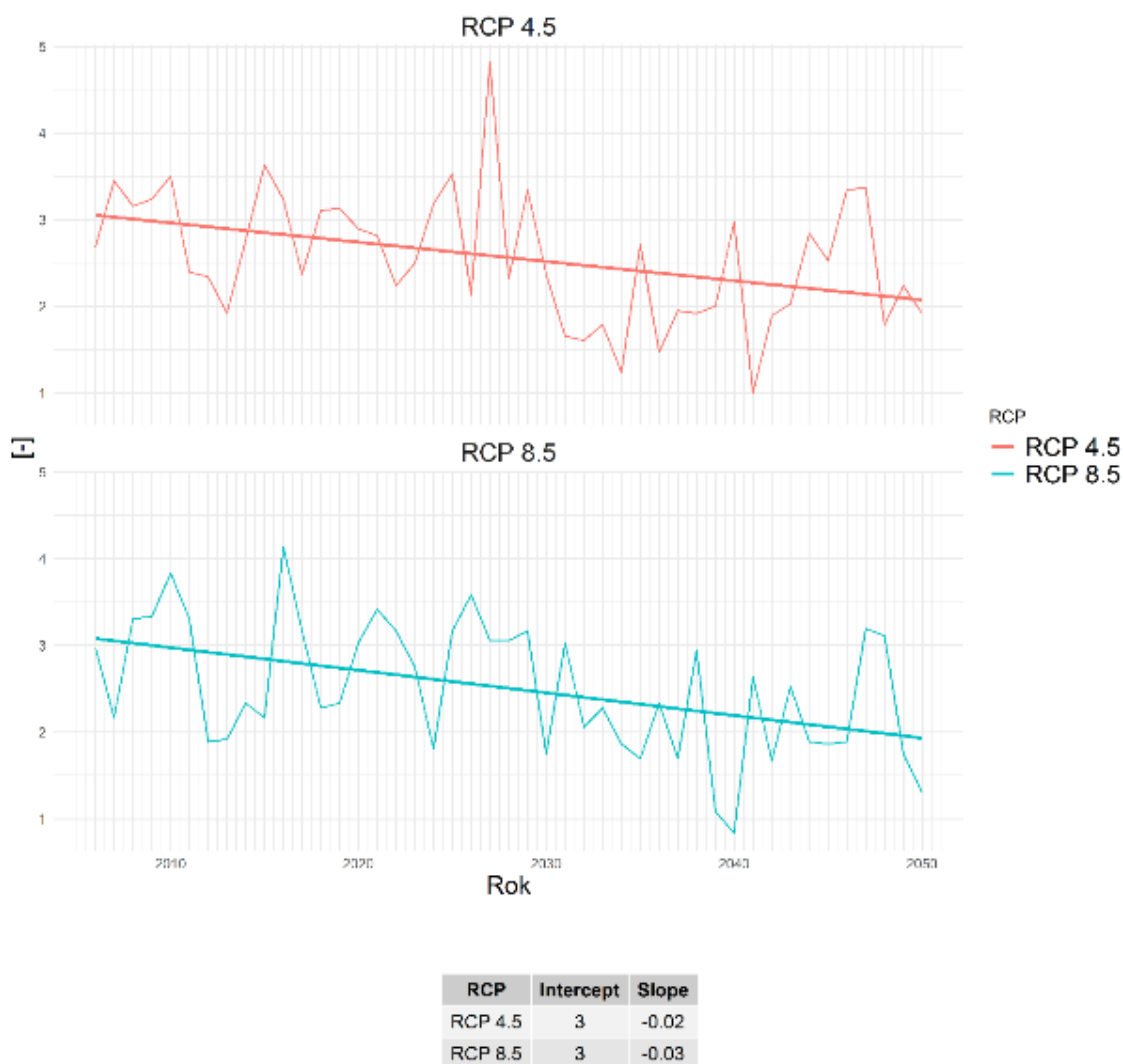
Liczba okresów przymrozkowych, definiowana jako ciąg co najmniej 5 dni z temperaturą minimalną mniejszą od zera, w analizowanym okresie, dla obu scenariuszy wykazuje tendencję spadkową (rys. 76). W scenariuszu RCP 8.5 widoczny jest bardziej dynamiczny spadek wartości tego indeksu, niż w scenariuszu RCP 4.5. Na przestrzeni analizowanego okresu, w ujęciu wartości średniorocznych, zmienność wartości dla scenariusza RCP 4.5 wyniesie od 4.5 do 7.03 okresów, natomiast dla scenariusza RCP 8.5, od 4.05 do 7.72 okresów.

Fale chłodu – liczba dni mroźnych ( $T_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$ )Rys. 77. Liczba dni mroźnych ( $T_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$ ), uśredniona dla obszaru miasta Suwałki

Liczba dni mroźnych, definiowana jako liczba dni z temperaturą maksymalną poniżej  $0^{\circ}\text{C}$ , w obu scenariuszach, wykazuje w analizowanym okresie tendencję spadkową (rys. 77). Pomimo widocznych różnic występujących w ujęciu wartości średniorocznych, pomiędzy analizowanymi scenariuszami, linie trendu odznaczają się takimi samymi parametrami. Na przestrzeni analizowanego okresu, w scenariuszu RCP 4.5 prognozowana jest zmienność tego wskaźnika od 25.60 do 57.21 dni. W scenariuszu RCP 8.5, natomiast od 20.02 do 58.10 dni.

Fale chłodu – liczba dni bardzo mroźnych ( $T_{\min} < -10^{\circ}\text{C}$ )Rys. 78. Liczba dni bardzo mroźnych ( $T_{\min} < -10^{\circ}\text{C}$ ), uśredniona dla obszaru miasta Suwałki

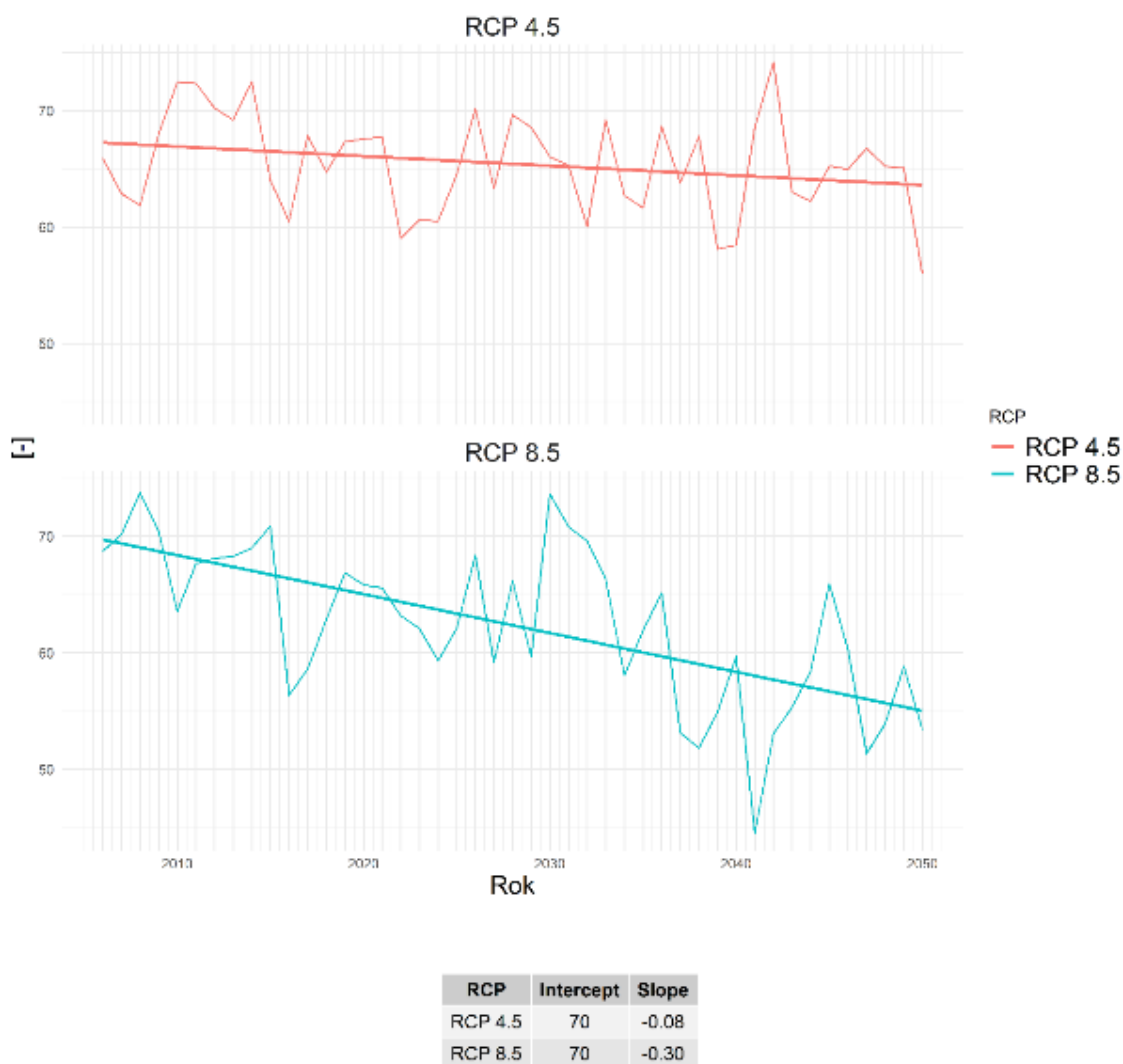
Liczba dni bardzo mroźnych definiowana jako liczba dni z temperaturą minimalną mniejszą od  $-10^{\circ}\text{C}$ , w obu scenariuszach wykazuje tendencję spadkową (rys. 78). Pomimo widocznych różnic, pomiędzy scenariuszami w ujęciu wartości średniorocznych, parametry linii trendów są takie same. Na przestrzeni analizowanego okresu zmienność tego wskaźnika będzie się wahała od 8.79 do 33.34 dni w scenariuszu RCP 4.5. W scenariuszu RCP 8.5, natomiast od 7.27 do 31.08 dni.

Fale chłodu – liczba fal chłodu (co najmniej 3 dni z  $T_{\min} < -10^{\circ}\text{C}$ )Rys. 79. Liczba fal chłodu (co najmniej 3 dni z  $T_{\min} < -10^{\circ}\text{C}$ ), uśredniona dla obszaru miasta Suwałki

Liczba fal chłodu definiowana jako liczba co najmniej trzydniowych okresów z temperaturą minimalną mniejszą niż  $-10^{\circ}\text{C}$ , dla analizowanego okresu, w obu scenariuszach wykazuje tendencję spadkową (rys. 79). W scenariuszu RCP 8.5 prognozowany spadek jest bardziej dynamiczny niż w scenariuszu RCP 4.5. Na przestrzeni analizowanego okresu, w scenariuszu RCP 4.5 zmienność tego indeksu zawiera się w przedziale od 1 do 4.81 fal. W scenariuszu RCP 8.5, natomiast od 0.83 do 4.14 fal.



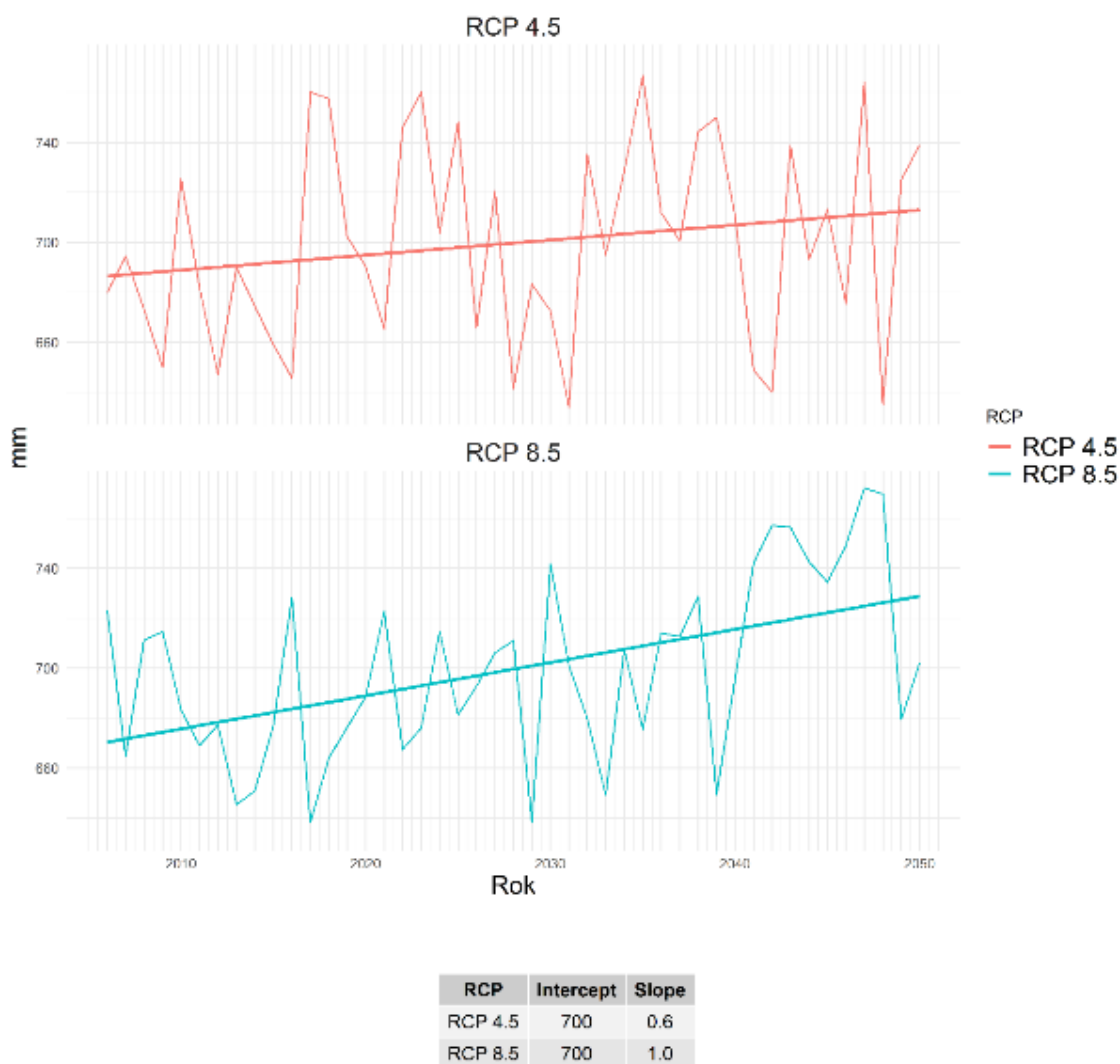
## Fale chłodu – liczba dni z przejściem przez 0°C



Rys. 80. Liczba dni z przejściem przez 0°C, uśredniona dla obszaru miasta Suwałki.

Liczba dni z przejściem przez zero definiowana jako liczba dni w ciągu roku, podczas których w ciągu doby temperatura maksymalna jest wyższa od 0°C, a temperatura minimalna jest niższa od 0°C, w obu scenariuszach wykazuje tendencję spadkową (rys. 80). W przypadku scenariusza RCP 8.5 spadek jest bardziej dynamiczny niż w scenariuszu RCP 4.5. W analizowanym okresie, dla scenariusza RCP 4.5 prognozowana jest zmienność tego wskaźnika od 55.97 do 74.15 dni. Dla scenariusza RCP 8.5, natomiast od 44.5 do 73.72 dni.

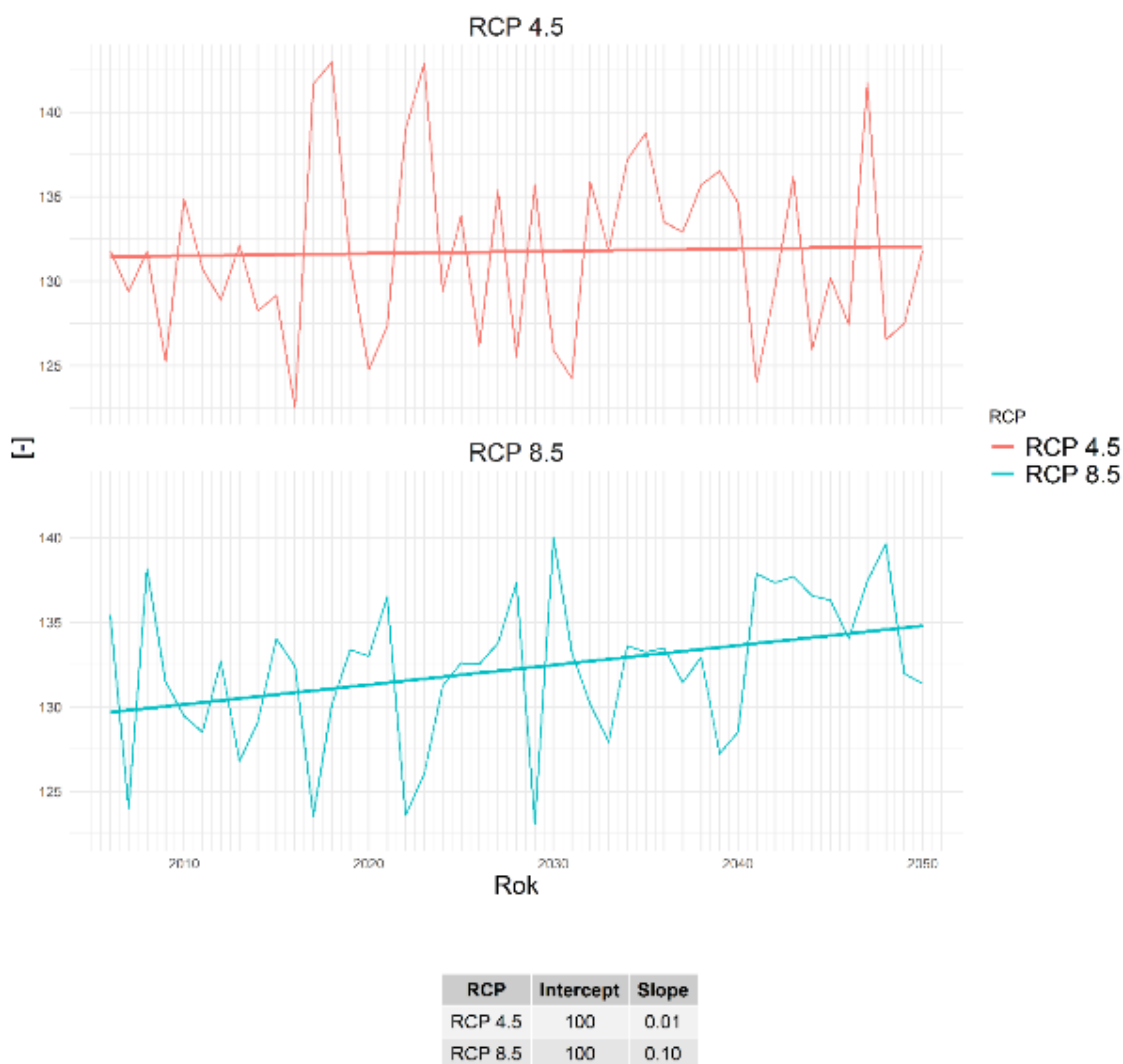
## Średnie warunki opadowe – roczna suma opadu



Rys. 81. Roczna suma opadu, uśredniona dla obszaru miasta Suwałki

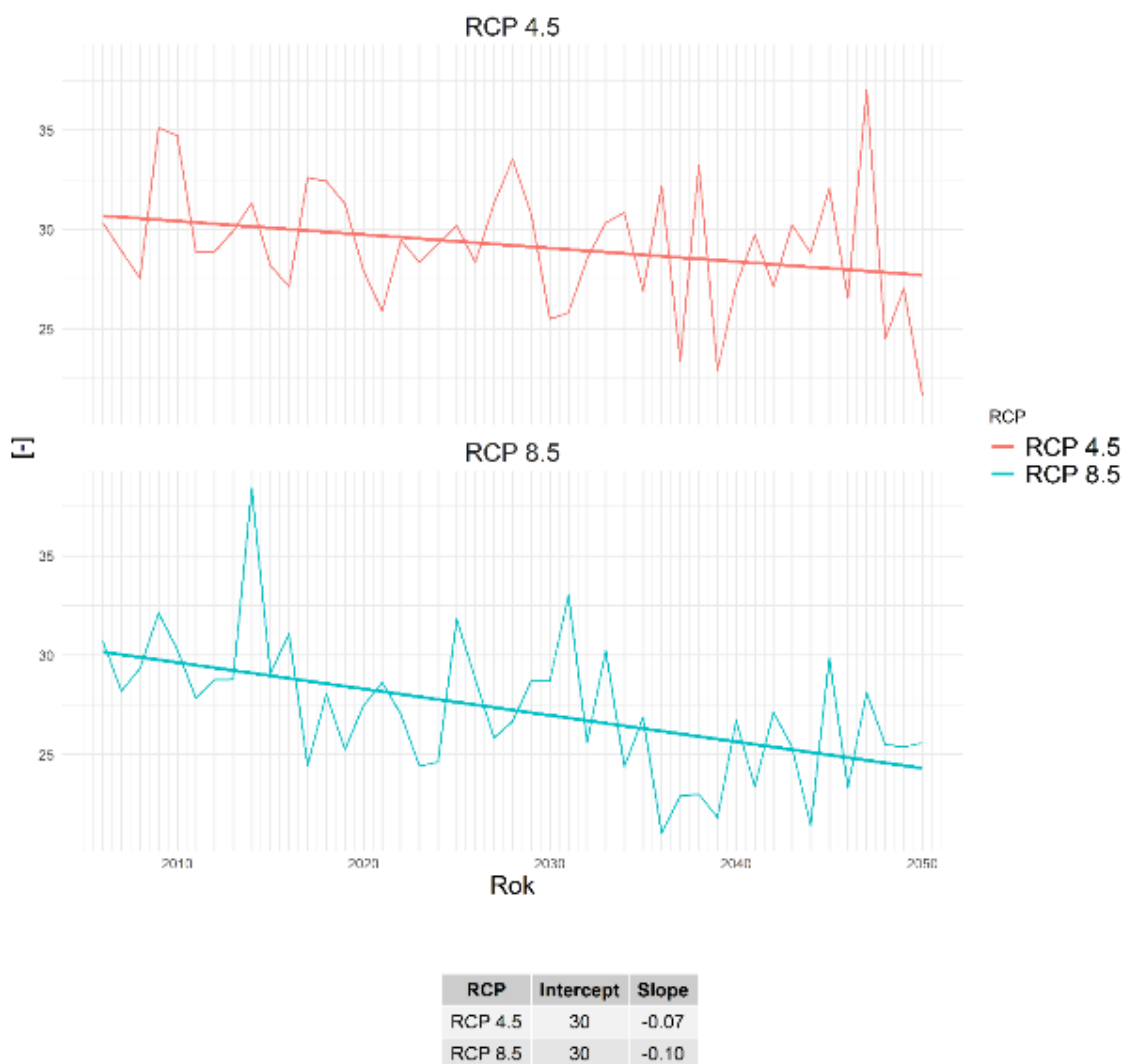
Roczna suma opadu dla miasta Suwałk w obu scenariuszach, dla analizowanego okresu wykazuje tendencję wzrostową (rys. 81). W scenariuszu RCP 8.5 prognozuje się bardziej dynamiczny wzrost niż w scenariuszu RCP 4.5. W ujęciu wartości średniorocznych, na przestrzeni analizowanych 45 lat, w scenariuszu RCP 4.5 zakres prognozowanej sumy opadu będzie się zmieniał od 633.8 mm do 766.8 mm. W scenariuszu RCP 8.5 natomiast, od 638.1 do 772.1 mm.

## Średnie warunki opadowe – liczba dni z opadem dobowym wyższym od 1 mm



Rys. 82. Liczba dni z opadem dobowym wyższym od 1 mm, uśredniona dla obszaru miasta Suwałki

Liczba dni z opadem definiowana jako liczba dni w których prognozowany jest opad wyższy od 1 mm, dla miasta Suwałk wykazuje w obu scenariuszach trend wzrostowy (rys. 82). Wzrost w scenariuszu RCP 8.5 jest bardziej dynamiczny niż w scenariuszu RCP 4.5. W analizowanym okresie, w scenariuszu RCP 4.5, prognozowana jest zmienność od 122.5 do 142.9 dni. W scenariuszu RCP 8.5, natomiast od 123.1 do 140 dni.

Średnie warunki opadowe – liczba dni z opadem przy temperaturze od  $-5^{\circ}\text{C}$  do  $2,5^{\circ}\text{C}$ 

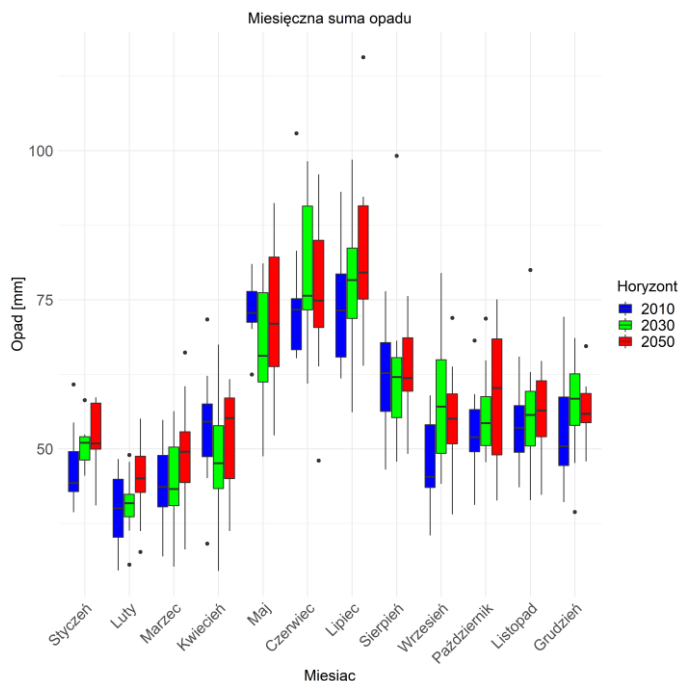
Rys. 83. Liczba dni z opadem przy temperaturze od  $-5^{\circ}\text{C}$  do  $2,5^{\circ}\text{C}$ , uśredniona dla obszaru miasta Suwałki

Liczba dni z opadem przy temperaturze od  $-5^{\circ}\text{C}$  do  $2,5^{\circ}\text{C}$  dla miasta Suwałki, w obu scenariuszach wykazuje tendencję spadkową (rys. 83). W scenariuszu RCP 8.5 prognozowany jest bardziej dynamiczny spadek niż w scenariuszu RCP 4.5. W analizowanym okresie, w scenariuszu RCP 4.5 wartość tego wskaźnika waha się od 21.65 do 37.04 dni. W scenariuszu RCP 8.5, natomiast od 21.04 do 38.42 dni.

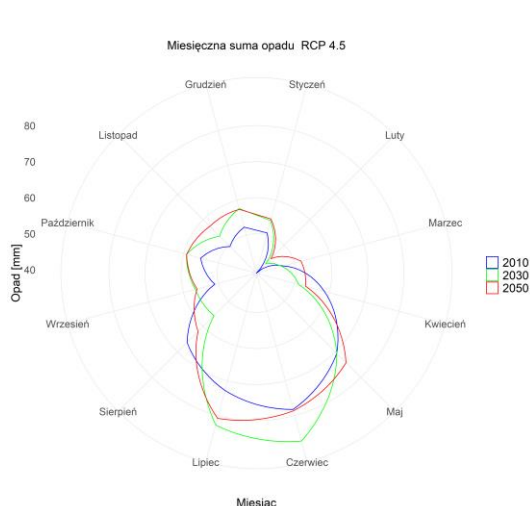
## Średnie warunki opadowe – miesięczna suma opadu

### Miesięczna suma opadu RCP 4.5

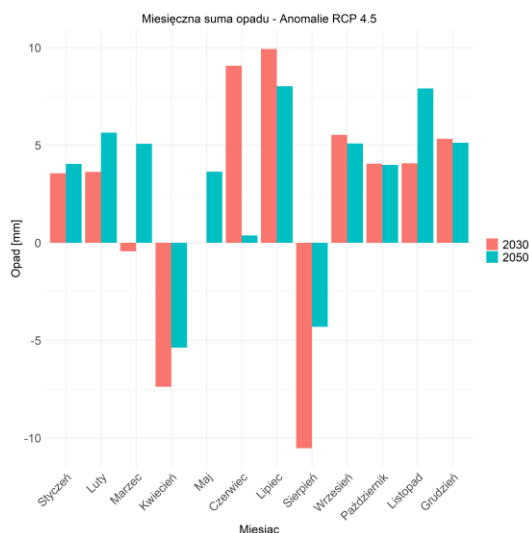
Na rysunkach od 84 do 86 przedstawiono wartości sumy miesięcznej opadu dla trzech horyzontów czasowych: 2010, 2030 oraz 2050, dla scenariusza RCP 4.5.



Rys. 84. Suma miesięczna opadu, uśredniona dla obszaru miasta Suwałki, dla horyzontu 2010 – kolor niebieski, dla horyzontu roku 2030 – kolor zielony i dla horyzontu 2050 – kolor czerwony; scenariusz RCP4.5



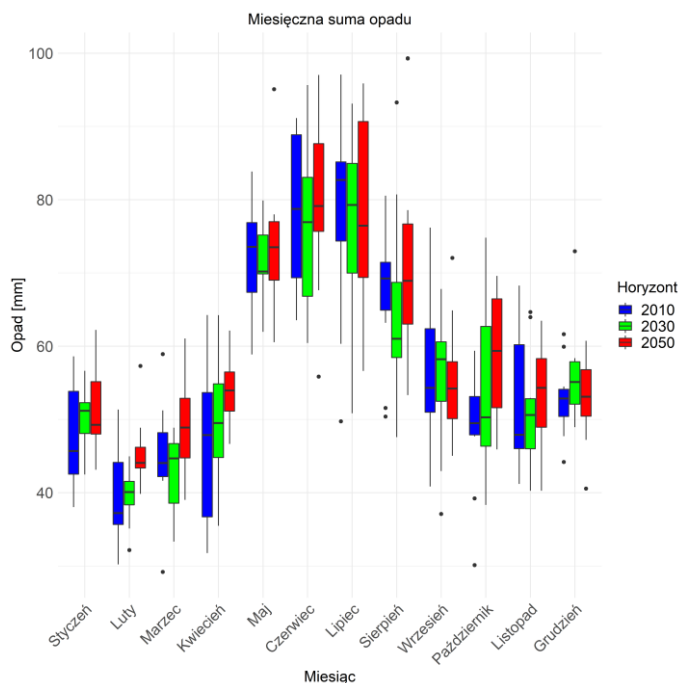
Rys. 85. Suma miesięczna opadu, uśredniona dla obszaru miasta Suwałk, dla horyzontów: 2010, 2030 i 2050; scenariusz RCP4.5



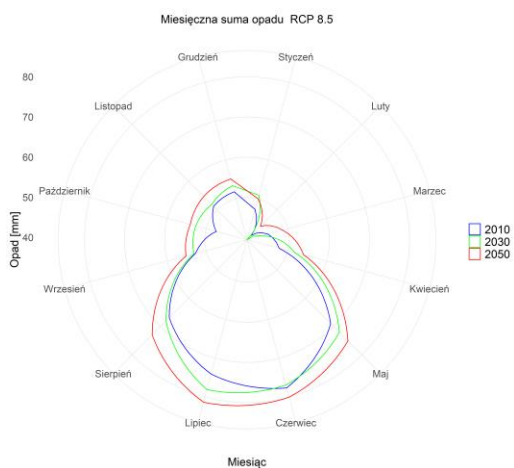
Rys. 86. Anomalia sumy miesięcznej opadu, uśredniona dla obszaru miasta Suwałk; scenariusz RCP4.5

### Miesięczna suma opadu RCP 8.5

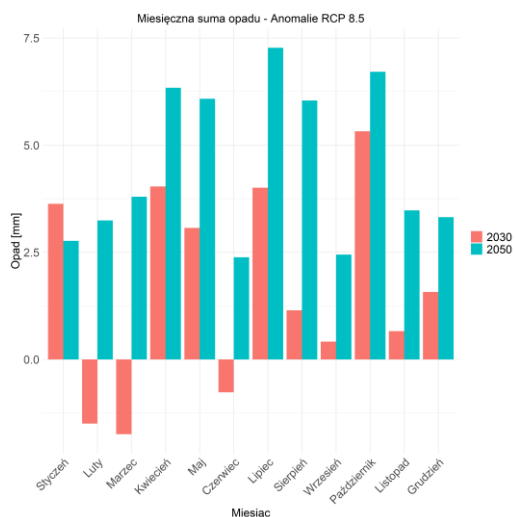
Na rysunkach od 87 do 89 przedstawiono wartości sumy miesięcznej opadu dla trzech horyzontów czasowych: 2010, 2030 oraz 2050, dla scenariusza RCP 8.5.



Rys. 87. Suma miesięczna opadu, uśredniona dla obszaru miasta Suwałki, dla horyzontu 2010 – kolor niebieski, dla horyzontu roku 2030 – kolor zielony i dla horyzontu 2050 – kolor czerwony; scenariusz RCP4.5



Rys. 88. Suma miesięczna opadu, uśredniona dla obszaru miasta Suwałki, dla horyzontów: 2010, 2030 i 2050; scenariusz RCP8.5

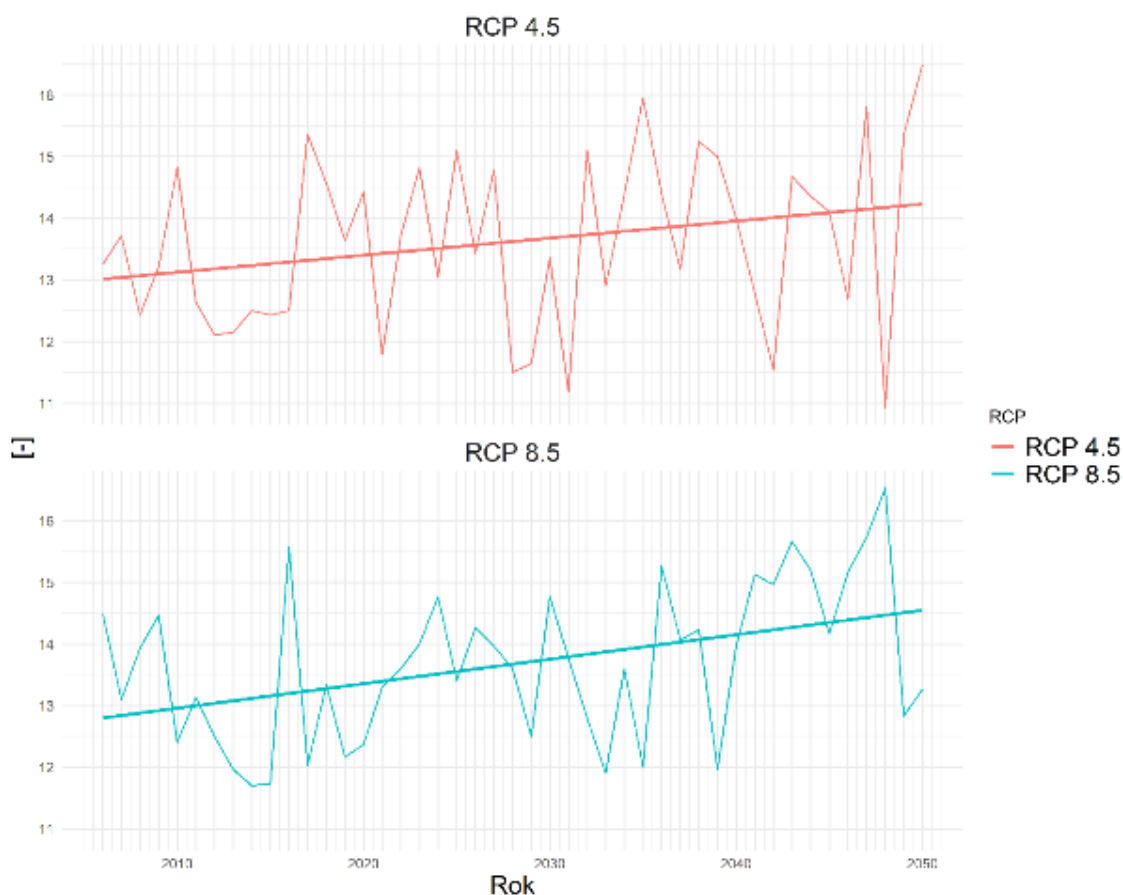


Rys. 89. Anomalia sumy miesięcznej opadu, uśredniona dla obszaru miasta Suwałki; scenariusz RCP8.5

Prognoza średniej miesięcznej sumy opadu zmienia się w zależności od pory roku. Prawie we wszystkich miesiącach, w obu scenariuszach dane charakteryzuje tendencja wzrostowa (poziome linie na diagramach pudełkowych – mediany, rys. 84 i 87). Wyjątek stanowią miesiące kwiecień i sierpień w scenariuszu RCP 4.5. W scenariuszu RCP 8.5 w trzech miesiącach: luty, marzec i czerwiec

w horyzoncie do 2030 roku prognozowany jest spadek względem roku 2010, a następnie, w horyzoncie 2050 wzrost, co także obrazują słupki anomalii na rys. 86 i 89. Największą zmianę względem dekady 2006-2016 można odnotować dla czerwca i lipca w scenariuszu RCP 4.5 oraz dla lipca i sierpnia w scenariuszu RCP 8.5. **Podsumowując należy stwierdzić, że prognozowany jest wzrost sum opadów w prawie każdym miesiącu.**

#### Opad ekstremalny – liczba dni z opadem dobowym powyżej 10 mm



RCP	Intercept	Slope
RCP 4.5	10	0.03
RCP 8.5	10	0.04

Rys. 90. Liczba dni z opadem dobowym powyżej 10 mm, uśredniona dla obszaru miasta Suwałk.

Liczba dni z opadem powyżej 10 mm dla miasta Suwałk w obu scenariuszach, dla analizowanego okresu wykazuje tendencję wzrostową (rys. 90). W scenariuszu RCP 8.5 prognozuje się bardziej dynamiczny wzrost niż w scenariuszu RCP 4.5. W ujęciu wartości średniorocznych, na przestrzeni analizowanych 45 lat, w scenariuszu RCP 4.5 zakres prognozowanego wskaźnika będzie się zmieniał od 10.93 do 16.50. W scenariuszu RCP 8.5 natomiast, od 11.7 do 16.53 dni.

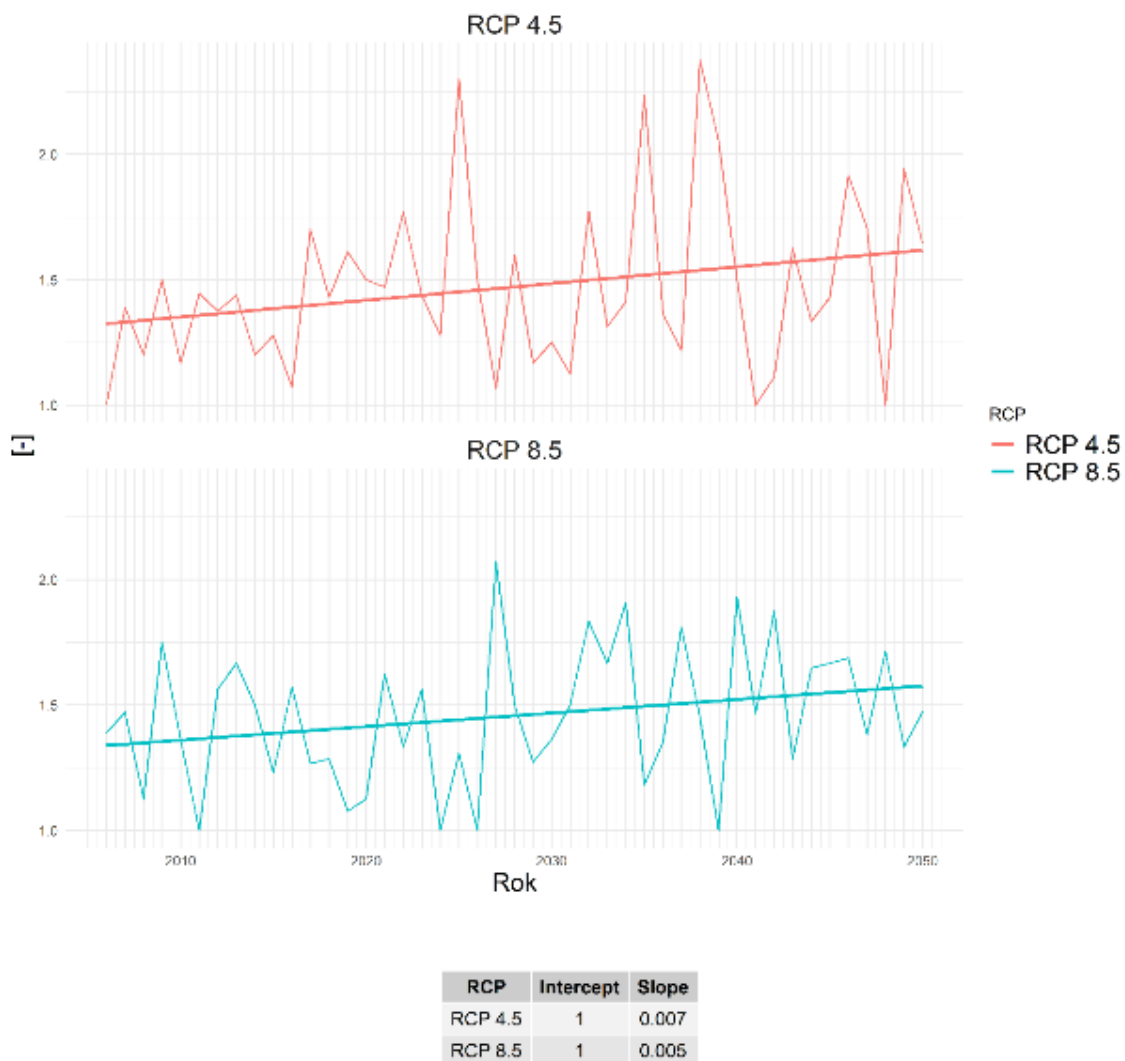
## Opad ekstremalny – liczba dni z opadem dobowym powyżej 20 mm



Rys. 91. Liczba dni z opadem dobowym powyżej 20 mm, uśredniona dla obszaru miasta Suwałki

Liczba dni z opadem powyżej 20 mm dla miasta Suwałk w obu scenariuszach, dla analizowanego okresu wykazuje tendencję wzrostową (rys. 91). Pomimo różnic pomiędzy scenariuszami w ujęciu rocznym, parametry linii trendów są takie same. W ujęciu wartości średniorocznych, na przestrzeni analizowanych 45 lat, w scenariuszu RCP 4.5 zakres prognozowanego wskaźnika będzie się zmieniał od 2.12 do 4.44. W scenariuszu RCP 8.5 natomiast, od 2.03 do 4.03 dni.

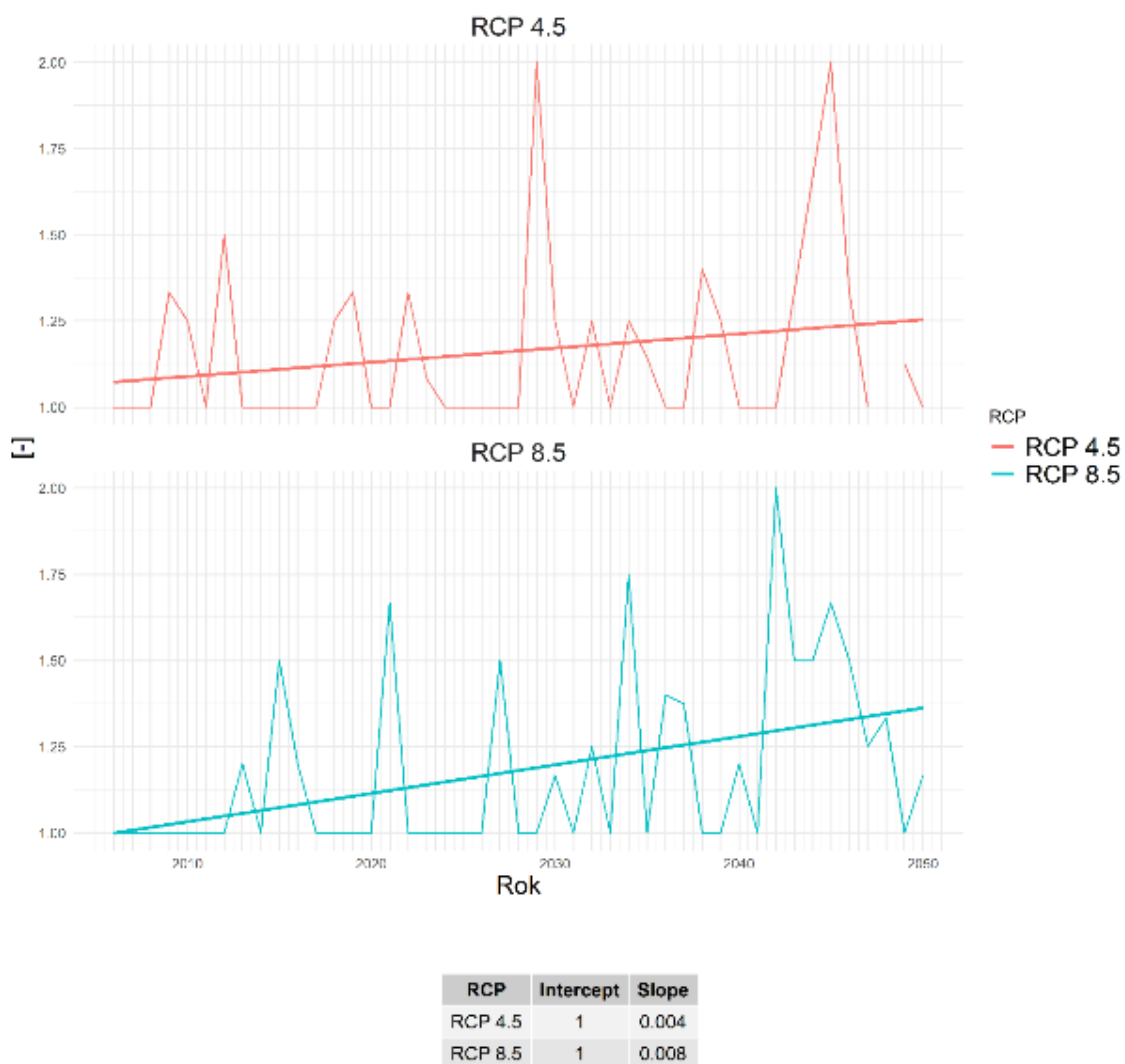




Rys. 92. Liczba dni z opadem dobowym powyżej 30 mm, uśredniona dla obszaru miasta Suwałki

Liczba dni z opadem powyżej 30 mm dla miasta Suwałk w obu scenariuszach, dla analizowanego okresu wykazuje tendencję wzrostową (rys. 92). W analizowanym okresie, w scenariuszu RCP 4.5 prognozowany wzrost jest bardziej dynamiczny niż w RCP 8.5. W ujęciu wartości średniorocznych w scenariuszu RCP 4.5 zakres prognozowanego wskaźnika będzie się zmieniał od 1 do 2.38 dni. W scenariuszu RCP 8.5 natomiast, od 1 do 2.07 dni.

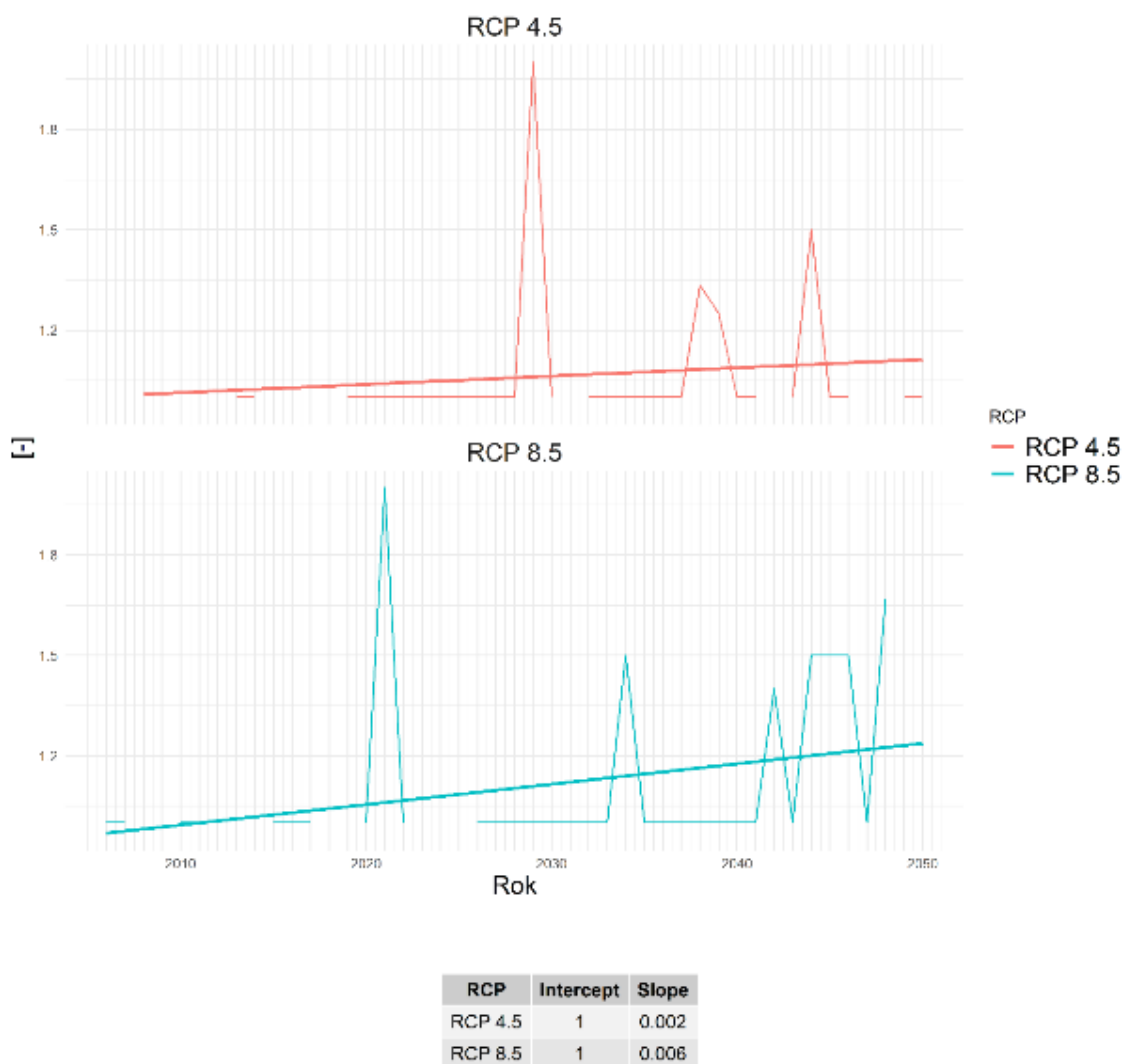
## Opad ekstremalny – Liczba dni z opadem dobowym powyżej 40 mm



Rys. 93. Liczba dni z opadem dobowym powyżej 40 mm, uśredniona dla obszaru miasta Suwałk.

Liczba dni z opadem powyżej 40 mm dla miasta Suwałk w obu scenariuszach, dla analizowanego okresu wykazuje tendencję wzrostową (rys. 93). W analizowanym okresie, w scenariuszu RCP 8.5 prognozowany wzrost jest bardziej dynamiczny niż w RCP 4.5. W ujęciu wartości średniorocznych w obu scenariuszach, zakres prognozowanego wskaźnika będzie się zmieniał od 1 do 2 dni.

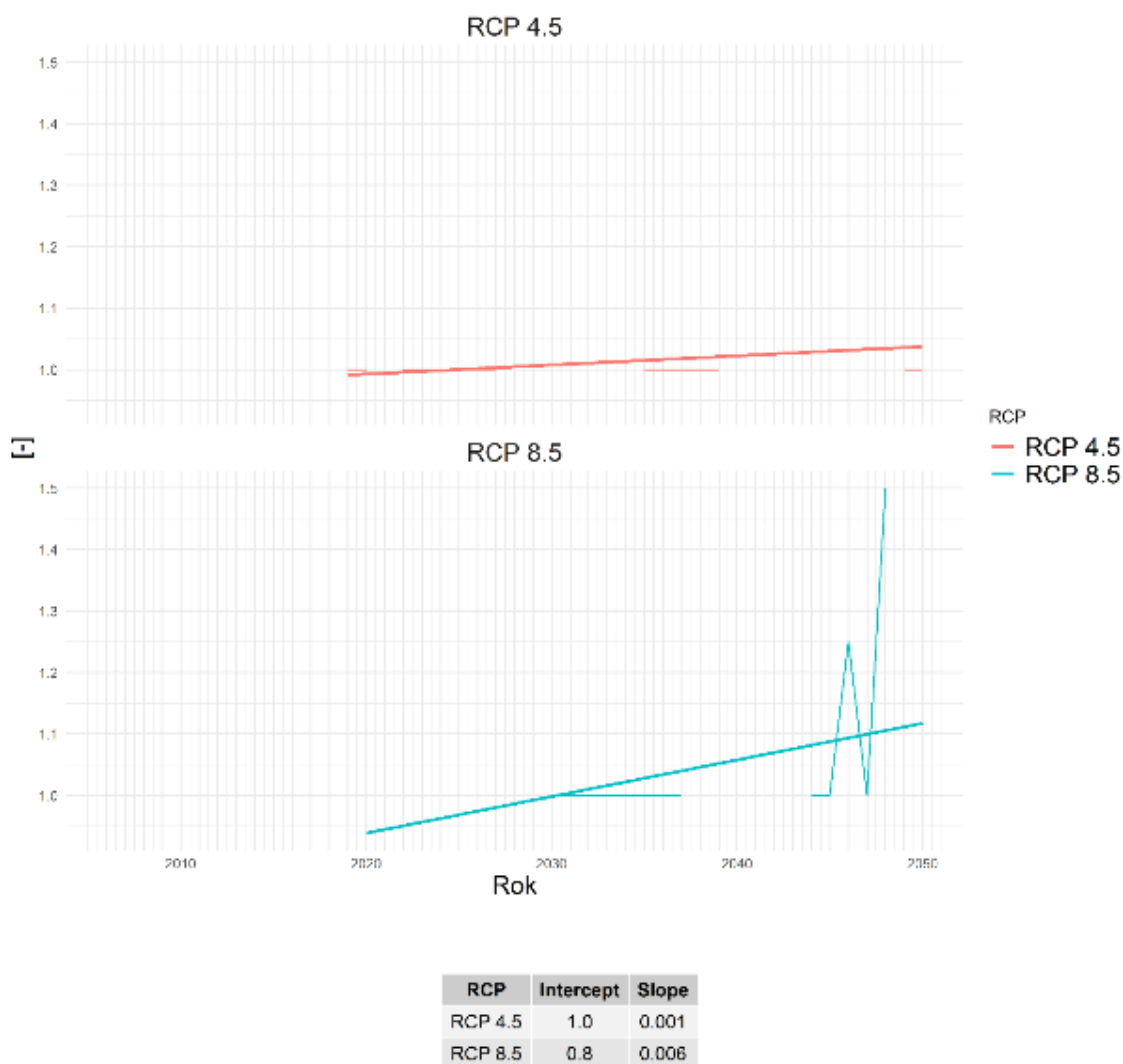
## Opad ekstremalny – Liczba dni z opadem dobowym powyżej 50 mm



Rys. 94. Liczba dni z opadem dobowym powyżej 50 mm, uśredniona dla obszaru miasta Suwałk.

Liczba dni z opadem powyżej 50 mm dla miasta Suwałk w obu scenariuszach, dla analizowanego okresu wykazuje tendencję wzrostową (rys. 94). W analizowanym okresie, w scenariuszu RCP 8.5 prognozowany wzrost jest bardziej dynamiczny niż w RCP 4.5. W ujęciu wartości średniorocznych w obu scenariuszach, w analizowanym okresie, zakres prognozowanego wskaźnika będzie się zmieniał od 1 do 2 dni. Należy nadmienić, iż prognozowana częstotliwość występowania liczby dni z opadem powyżej 50 mm, jest mniejsza niż innych wskaźników analizowanych w niniejszym raporcie, taki opad pojawia się raz na kilka lat.

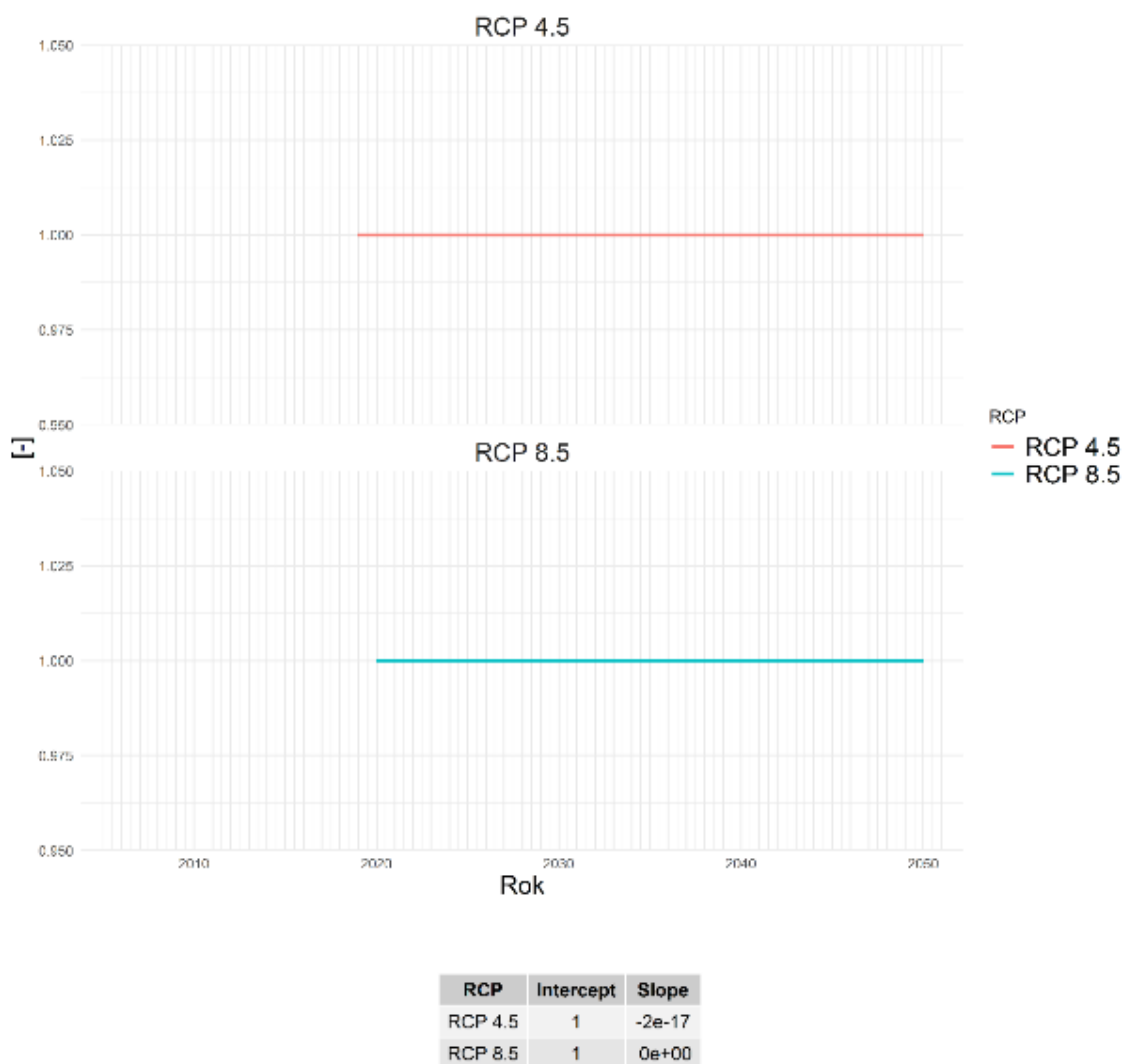
## Opad ekstremalny – liczba dni z opadem dobowym powyżej 60 mm



Rys. 95. Liczba dni z opadem dobowym powyżej 60 mm, uśredniona dla obszaru miasta Suwałki

Liczba dni z opadem powyżej 60 mm dla miasta Suwałk w obu scenariuszach, dla analizowanego okresu wykazuje tendencję wzrostową (rys. 95). W analizowanym okresie, w scenariuszu RCP 8.5 prognozowany wzrost jest bardziej dynamiczny niż w RCP 4.5. W ujęciu wartości średniorocznych, w analizowanym okresie, zakres prognozowanego wskaźnika będzie się zmieniał od 1 do 1.25 dni w scenariuszu RCP 4.5 oraz od 1 do 1.5 dni w scenariuszu RCP 8.5. Należy nadmienić, iż prognozowana częstotliwość występowania liczby dni z opadem powyżej 60 mm, jest mniejsza niż innych wskaźników analizowanych w niniejszym raporcie, taki opad pojawia się raz na kilka lat.

## Opad ekstremalny – Liczba dni z opadem dobowym powyżej 70 mm



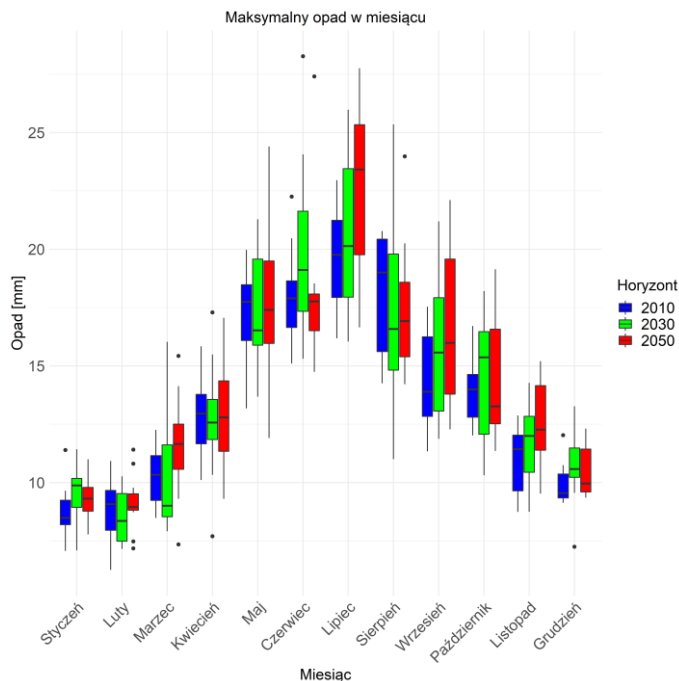
Rys. 96. Liczba dni z opadem dobowym powyżej 70 mm, uśredniona dla obszaru miasta Suwałki

Liczba dni z opadem powyżej 70 mm dla miasta Suwałk w obu scenariuszach, dla analizowanego okresu charakteryzuje się trendem stałym (rys. 96). W ujęciu wartości średniorocznych, w analizowanym okresie, w obu scenariuszach liczba dni z opadem powyżej 70 mm nie przekroczy wartości 1 dnia. Do 2050 roku, w scenariuszu RCP 4.5 prognozuje się w sumie wystąpienie 12 lat, w których opad może przekraczać 70 mm. W scenariuszu RCP 8.5, natomiast 10 lat. Należy nadmienić, iż prognozowana częstotliwość występowania liczby dni z opadem powyżej 70 mm, jest mniejsza niż innych wskaźników analizowanych w niniejszym raporcie, taki opad pojawia się raz na kilka lat.

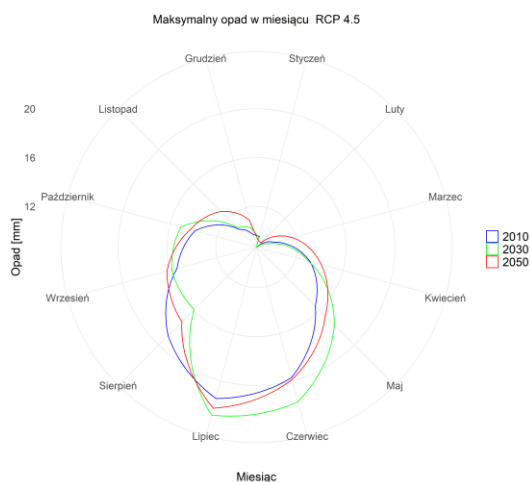
## Opad ekstremalny – Maksymalny opad dobowy w miesiącu

### Maksymalny opad dobowy w miesiącu RCP 4.5

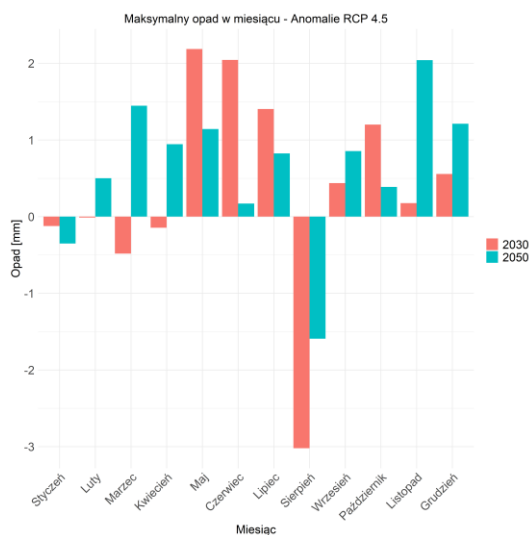
Na rysunkach od 97 do 99 przedstawiono wartości maksymalnego opadu dobowego w miesiącu dla trzech horyzontów czasowych: 2010, 2030 oraz 2050, dla scenariusza RCP 4.5.



Rys. 97. Maksymalny opad dobowy w miesiącu, uśredniony dla obszaru miasta Suwałk, dla horyzontu 2010 – kolor niebieski, dla horyzontu roku 2030 - kolor zielony i dla horyzontu 2050 – kolor czerwony; scenariusz RCP4.5



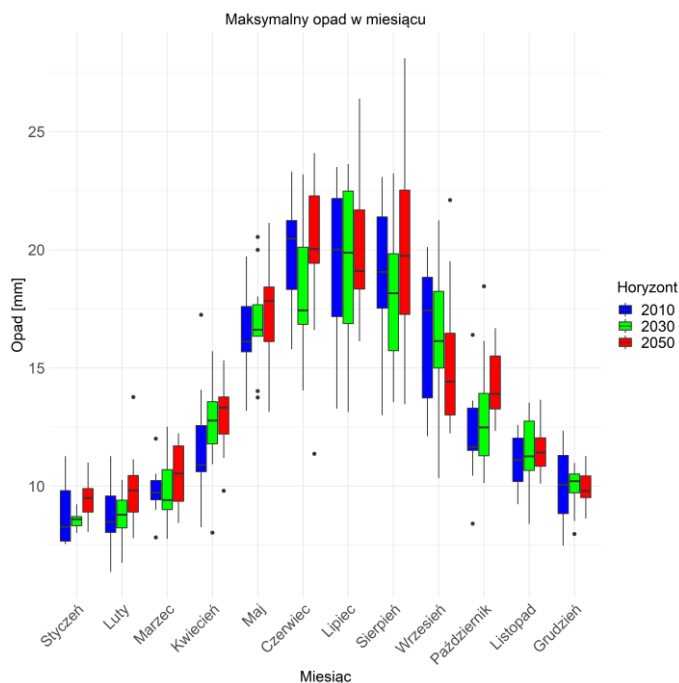
Rys. 98. Maksymalny opad dobowy w miesiącu, uśredniony dla obszaru miasta Suwałk, dla horyzontów: 2010, 2030 i 2050; scenariusz RCP4.5



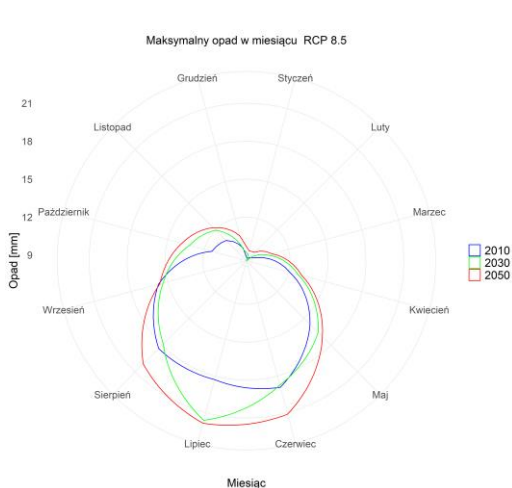
Rys. 99. Anomalia maksymalnego opadu dobowego, uśredniona dla obszaru miasta Suwałk; scenariusz RCP4.5

### Maksymalny opad dobowy w miesiącu RCP 8.5

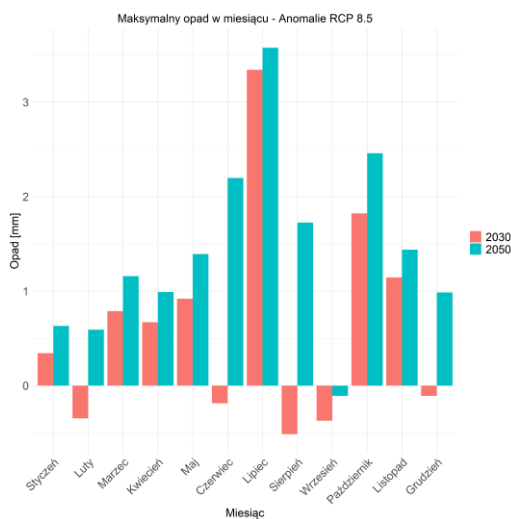
Na rysunkach od 100 do 102 przedstawiono wartości maksymalnego opadu dobowego w miesiącu dla trzech horyzontów czasowych: 2010, 2030 oraz 2050, dla scenariusza RCP 8.5.



Rys. 100. Maksymalny opad dobowy w miesiącu, uśredniony dla obszaru miasta Suwałk, dla horyzontu 2010 – kolor niebieski, dla horyzontu roku 2030 - kolor zielony i dla horyzontu 2050 – kolor czerwony; scenariusz RCP8.5



Rys. 101. Maksymalny opad dobowy w miesiącu, uśredniona dla obszaru miasta Suwałk, dla horyzontów: 2010, 2030 i 2050; scenariusz RCP8.5



Rys. 102. Anomalia maksymalnego opadu dobowego, uśredniona dla obszaru miasta Suwałk; scenariusz RCP8.5

Prognoza maksymalnego opadu dobowego w miesiącu charakteryzuje wysoka zmienność w analizowanych dekadach o czym świadczy wielkość diagramów pudełkowych prezentowanych na rys. 97 i 100. Największą zmianę względem dekady 2006-2016 można odnotować dla maja i czerwca w scenariuszu RCP 4.5 oraz dla czerwca i lipca w scenariuszu RCP 8.5 (rys. 98 oraz 101). Spadek wartości wskaźnika prognozuje się w dla stycznia i sierpnia w scenariuszu RCP 4.5 oraz dla września w scenariuszu RCP 8.5. **Podsumowując należy stwierdzić, że prognozowany jest wzrost maksymalnego opadu dobowego prawie w każdym miesiącu.**

### 3.4. Wskaźniki suszy

Liczba dni bez opadu



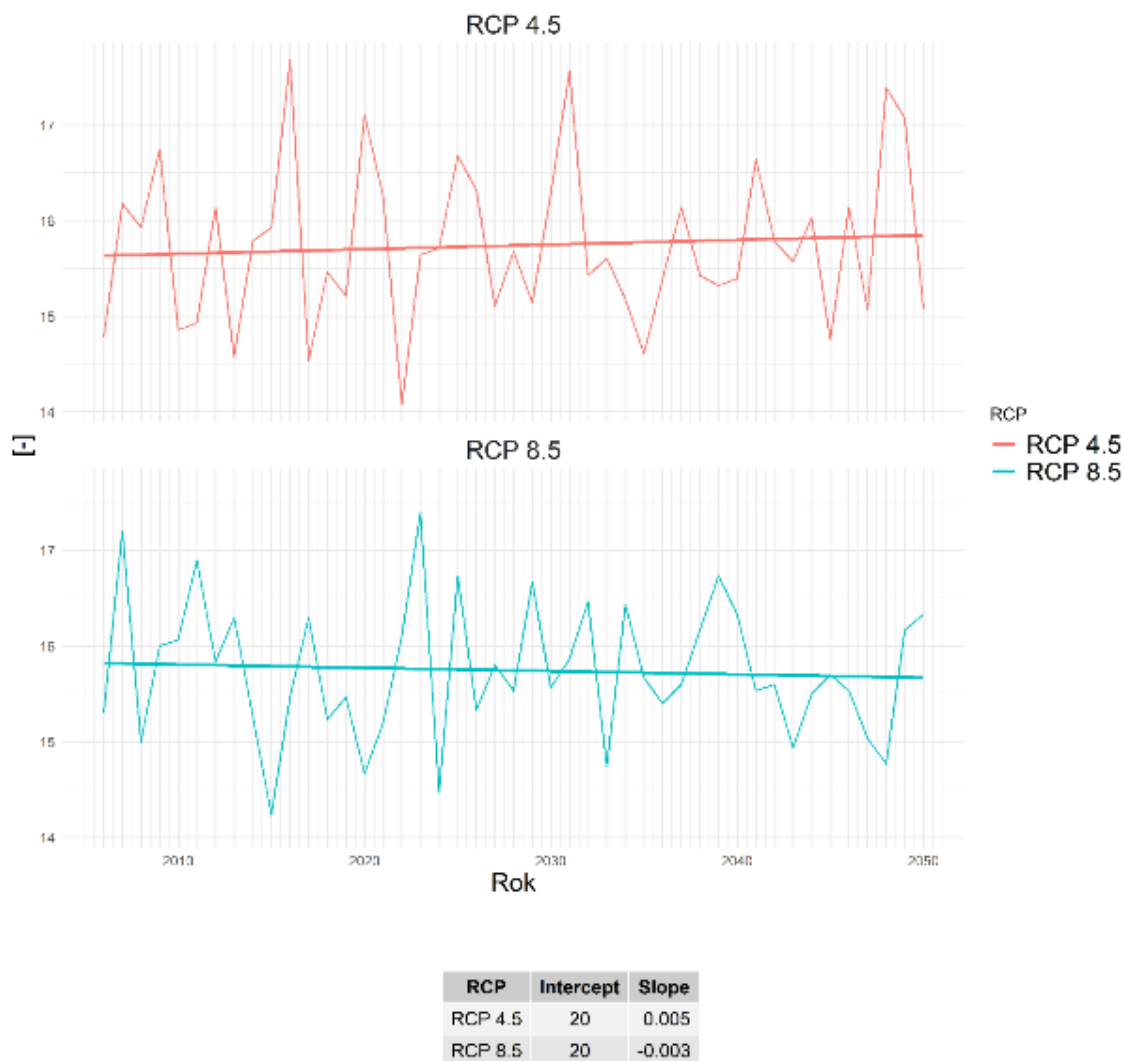
Rys. 103. Liczba dni bez opadu, uśredniona dla obszaru miasta Suwałk.

Liczba dni bez opadu dla miasta Suwałk w obu scenariuszach, dla analizowanego okresu wykazuje tendencję spadkową (rys. 103). W scenariuszu RCP 4.5 prognozowany spadek jest nieznaczny, w



scenariuszu RCP 4.5, natomiast bardziej dynamiczny. W ujęciu wartości średniorocznych w scenariuszu RCP 4.5, w analizowanym okresie, zakres prognozowanego wskaźnika będzie się zmieniał od 222.01 do 243.5 dni. W RCP 8.5, natomiast od 225 do 241.9 dni.

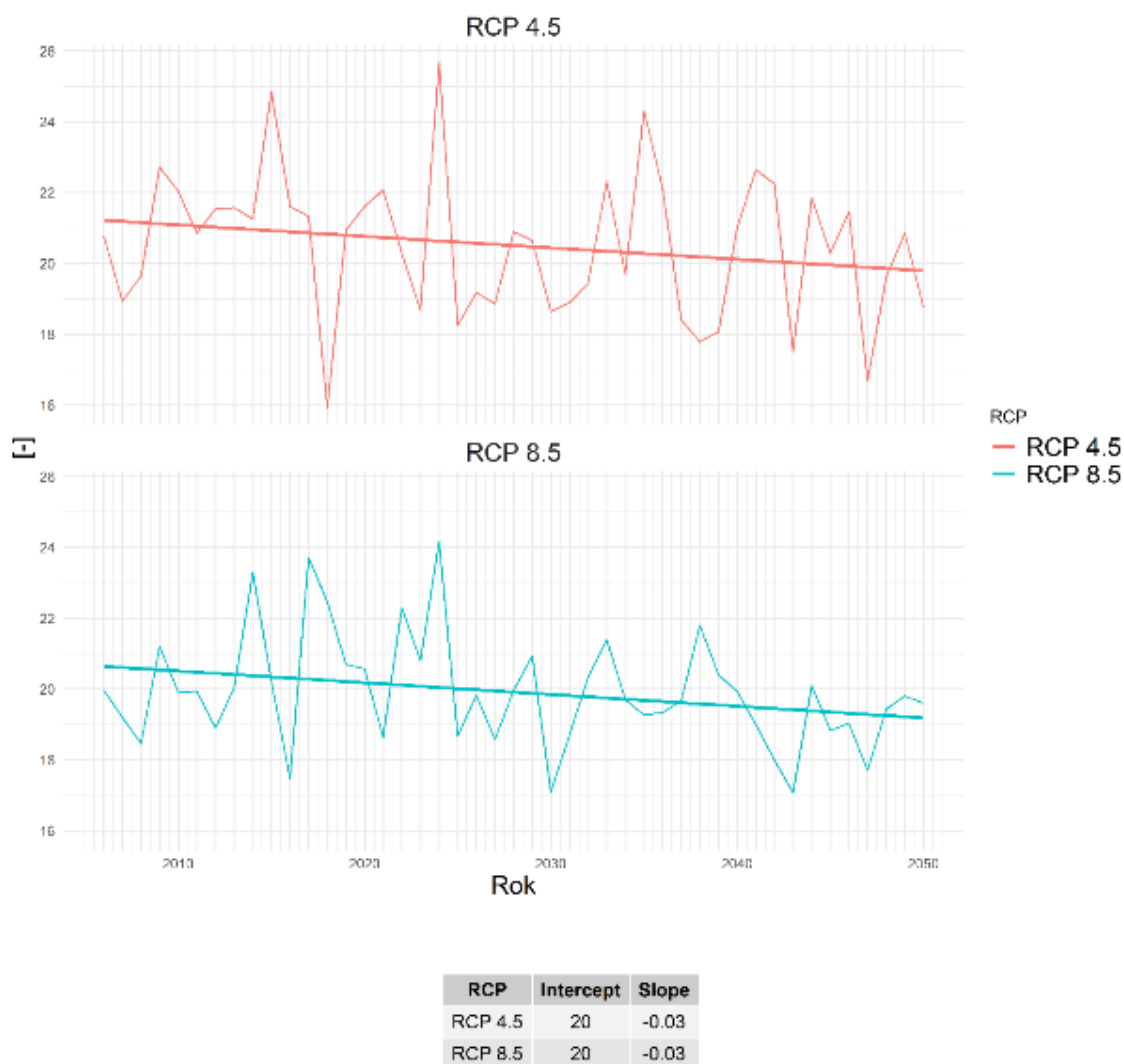
#### Liczba okresów bez opadu długości co najmniej 5 dni



Rys. 104. Liczba okresów bez opadu długości co najmniej 5 dni, uśredniona dla obszaru miasta Suwałk.

Liczba okresów bez opadu o długości co najmniej 5 dni, dla miasta Suwałk w zależności od scenariusza emisyjnego charakteryzuje się inną tendencją rozwojową (rys. 104). W scenariuszu RCP 4.5 prognozowany jest trend rosnący, a scenariuszu RCP 8.5 malejący. W ujęciu wartości średniorocznych w scenariuszu RCP 4.5, w analizowanym okresie, zakres prognozowanego wskaźnika będzie się zmieniał od 14.07 do 17.67 dni. W RCP 8.5, natomiast od 14.23 do 17.4 dni.

## Najdłuższy okres bez opadu



Rys. 105. Najdłuższy okres bez opadu, uśredniony dla obszaru miasta Suwałk.

Długość najdłuższego okresu bez opadu dla miasta Suwałk w obu scenariuszach, dla analizowanego okresu wykazuje tendencję spadkową (rys. 105). Pomimo widocznych różnic pomiędzy scenariuszami, w ujęciu wartości rocznych, trendy charakteryzują się takimi samymi parametrami. W ujęciu wartości średniorocznych w scenariuszu RCP 4.5, zakres prognozowanego wskaźnika będzie się zmieniał od 15.93 do 25.68 dni. W scenariuszu RCP 8.5, natomiast od 17.07 do 24.17 dni.

### 3.5. Podsumowanie

Dla Suwałk przeprowadzono analizę zmian klimatu dla wartości średniorocznych oraz dla wartości miesięcznych w horyzoncie roku 2030 (jako średnia z dziesięciolecia 2026-2035) oraz 2050 (jako średnia z dziesięciolecia 2046-2055). Analizę przeprowadzono w oparciu o wiązkę wyników EuroCORDEX w rozdzielczości ok. 12,5 km. Celem uchwycenia niepewności wyników modelowania, wynikającego z różnych możliwych scenariuszy emisyjnych i związanego z nim tempa wzrostu zawartości gazów cieplarnianych w atmosferze, analizy przeprowadzono dla dwóch scenariuszy opisanych akronimami RCP4.5 oraz RCP8.5.

W odniesieniu do zmian charakterystyk temperaturowych prognozowany jest wzrost temperatury średniorocznej. Prognozy średnich miesięcznych temperatur powietrza wskazują wzrost w każdym miesiącu. Szczególnie wyraźny wzrost wystąpi w listopadzie grudniu, styczniu i lutym, natomiast najmniejsze wzrosty w kwietniu i maju. W odniesieniu do średnich warunków termicznych bardziej znaczące zmiany występują przeważnie dla scenariusza RCP8.5 w horyzoncie 2050.

- Do roku 2050 przewidywane jest zwiększenie się ilości dni upalnych oraz zwiększenie się ilości fal upałów. Prognozowany jest znaczący wzrost liczby dni gorących i wydłużenie czasu trwania okresów z maksymalną temperaturą dobową przekraczającą 25°C. Wrośnie także liczba dni z temperaturą minimalną >20°C (nocy tropikalnych).
- Prognozowane jest osłabienie niekorzystnych zjawisk związanych z występowaniem niskich temperatur w okresie zimowym. Liczba dni mroźnych z temperaturą maksymalną poniżej 0°C (liczba dni mroźnych) oraz liczba dni z temperaturą minimalną poniżej -10°C (liczba dni bardzo mroźnych) ulegnie zmniejszeniu.
- Prognozowana liczba dni przymrozkowych w ciągu roku ulegnie zmniejszeniu, w szczególności zmniejszy się liczba okresów przymrozkowych, trwających przynajmniej 5 dni. Prognozowane jest zmniejszenie się liczby dni z przejściem temperatury przez 0°C.
- Prognozowane jest znaczące zmniejszenie się wartości indeksu stopniodni dla temperatury średniodobowej <18°C, co oznacza zmniejszone zapotrzebowaniem na energię w miesiącach zimowych.
- Prognozowane jest zwiększenie się liczby dni z temperaturą średniodobową >5°C, co jest wskaźnikiem wydłużenia okresu wegetacyjnego niektórych roślin.

Dla charakterystyk opadowych prognozowany jest wzrost zarówno ilości dni z opadem jak i wysokość sumy rocznej opadu w horyzoncie do roku 2050. Prognozowany jest wzrost miesięcznej sumy opadu, szczególnie o okresie letnim.

- Prognozowany jest wyraźny spadek liczby dni z opadem przy temperaturze od -5°C do 2.5°C, które są wskaźnikiem dni, w których występuje gołoledź (wynika to ze zmian temperatury).
- Liczba dni z opadem ekstremalnym, powyżej 10 mm/d i wyższym wrośnie w analizowanym okresie.
- Zagrożenie suszą w horyzoncie do roku 2050 - prognozy nie wskazują na istotne zmiany. W przypadku liczby dni bez opadu i liczby okresów bez opadu dłuższych niż 5 dni wystąpi niewielki trend spadkowy.

## 4. Literatura

- AR5 Synthesis Report: Climate Change 2014, [w:] <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>
- Bajkiewicz-Grabowska E., Mikulski Z., 1999, Hydrologia ogólna. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa
- Bartnik A., Jokić P. 2005. Niektóre problemy zmian i zmienności rocznego hydrogramu przepływu rzecznoego na podstawie Pilicy w Przedborzu. Wiadomości IMGW. T. 28. Z. 2 s. 5–31
- Bednarek K., Cebulak E., Drwal-Tylmann A., Kilar P., Krywoszejew T., Limanówka D., Kurowska-Łazarz R., Mizera M., Pyrc R., Socha E., Solarz M., Wałach P., Winnicki W., Wrzesińska B., Zawisłak T. 2014, Meteorologiczna osłona kraju. Vademecum. Niebezpieczne zjawiska meteorologiczne. Geneza, skutki, częstość występowania. Część trzecia – województwa. 10. Podlaskie. IMGW-PIB Warszawa
- CMIP Phase 5 (CMIP5 protocol), [w:] <https://www.wcrp-climate.org/wgcm-cmip/wgcm-cmip5>
- Dębski K., 1970, Hydrologia. Dział Wydawnictw SGGW, Warszawa
- EURO-CORDEX, [w:] <http://www.euro-cordex.net>
- E-OBS dataset, [w:] <https://www.ecad.eu/download/ensembles/download.php>
- ERA5 dataset, [w:] <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era5>
- ERRA dataset, [w:] <http://www.uerra.eu/>
- Fal B., 2007, Nizówki na górnej i środkowej Wiśle. Gospodarka Wodna, nr2/2007.
- Global Warming of 1.5 °C, [w:] <https://www.ipcc.ch/sr15/>
- Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – PIB, [w:] <http://www.imgw.pl/>
- IPCC, AR5 Synthesis Report: Climate Change, 2014
- IPCC, AR6 Synthesis Report: Climate Change, 2021
- Kaznowska E., 2011, Analysis of low flow characteristics and drought frequency in agricultural catchments. [W:] Banasik K., Øygarden L., Hejduk L. (red.), Prediction and Reduction of Diffuse
- Kaznowska E., Hejduk A., Hejduk L. 2015. Charakterystyka występowania wezbrań i niżówek w małej zlewni niziny mazowieckiej. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 15. Z. 3 (51) s. 45–59
- Kundzewicz Z.W. 2008. Hydrological extremes in the changing world. Folia Geographica. Ser. Geographica Physica. Vol. 39 s. 37–52
- Ozga-Zielińska M., 1990, Nizówki i wezbrania – ich definiowanie i modelowanie. [W:] Przegląd geofizyczny, zeszyt 1-2
- Ozga-Zielińska M., Brzeziński J., 1997, Hydrologia stosowana. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa
- Pakiet języka programowania R 'qmap', [w:], <https://cran.r-project.org/web/packages/qmap/qmap.pdf>
- Pollution, Solid Emission and Extreme Flows from Rural Areas – case study of small agricultural catchment. Wydawnictwo SGGW, Warszawa
- Portal Klimada 2.0, [w:] <https://klimada2.ios.gov.pl/>

RCP Database, [w:] <http://www.iiasa.ac.at/web-apps/tnt/RcpDb>

Siwek G.T., 2016, Analiza wyboru wartości przepływu granicznego wezbrań w zlewni górnego Wieprza. [W:] *Annales Inversitatis Mariae Curie-Skłodowska*, vol. LXXI, z. 2, Lublin

Słownik Meteorologiczny. Niedźwiedz T. (red.), PTG, IMGW, 2003

Tokarczyk T., 2010, Niżówka jako wskaźnik suszy hydrologicznej. Monografie Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej, IMGW, Warszawa

Tomaszewski E., 2015, Metody oceny dynamiki rozwoju i zaniku niżówek rzecznych. [W:] Monografie Komisji Hydrologicznej PTG: Nowoczesne metody i rozwiązania w hydrologii i gospodarce wodnej, Tom 3

WCRP CORDEX, [w:] <https://www.cordex.org/>

Węglarczyk S., 2014, Kryteria definicyjne niżówki i ich wpływ na własności charakterystyk niżówki. 1. Stacjonarność niżówek. [W:] *Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich*, nr II/1/2014. Polska Akademia Nauk, Kraków

Zelenhasi E., Salvai A. 1987. A method of streamflow drought analysis. *Water Resources Research*, Vol. 23, No 1

## Indeksy klimatyczne

Indeksy temperaturowe	
Średnia roczna temperatura powietrza	Średnia dobowa temperatura powietrza, uśredniona dla dekady. Obliczona według wzoru $Tsr_n = \frac{\sum_{i=1}^{dni\_w\_roku} Tsr_{in}}{dni\_w\_roku}$ gdzie Tsr – średnia dobowa temperatura powietrza w dniu $i$ w roku $n$ .
HDD- Stopniodni z temperaturą średnią dobową <18°C	Suma nadwyżki temperatury w roku, gdy średnia dobowa temperatura powietrza jest niższa od 18°C, obliczone według wzoru $HDD_n = \sum_{i=1}^{dni\_w\_roku(n)} E(\max(0, 18 - Tsr_{in})),$ gdzie Tsr – średnia dobowa temperatura powietrza w dniu $i$ w roku $n$ .
Liczba dni wegetacyjnych ( $T_{sr.d.} > 5^\circ\text{C}$ )	Liczba dni w roku dni ze średniodobową temperaturą powietrza wyższą od 5°C, obliczona według wzoru $Tsr5_n = \sum_{i=1}^{dni\_w\_roku(n)} i, \text{ jeżeli } Tsr_{in} > 5^\circ\text{C}$ gdzie $Tsr_{in}$ jest średniodobową temperaturą w dniu $i$ w roku $n$
Temperatura średnia miesięczna	Średnia dobowa temperatura w miesiącu. Obliczona według wzoru $Tsr_m = \frac{\sum_{i=1}^{dni\_w\_miesiacu\_m} Tsr_{im}}{dni\_w\_miesiacu}$ Tsr – średnia dobowa temperatura powietrza w dniu $i$ w miesiącu $m$ .
Średnia roczna temperatura maksymalna	Średnia temperatura maksymalna, obliczona według wzoru $Tmax_n = \frac{\sum_{i=1}^{dni\_w\_roku} Tmax_{in}}{dni\_w\_roku}$ gdzie $T_{max}$ – maksymalna dobowa temperatura powietrza w dniu $i$ w roku $n$ .
Liczba dni upalnych ( $T_{max} > 30^\circ\text{C}$ )	Liczba dni w roku, w których dobowa temperatura maksymalna jest wyższa niż 30°C, obliczona według wzoru $TX30_n = \sum_{i=1}^{dni\_w\_roku(n)} i \text{ jeżeli } Tmax_{in} > 30^\circ\text{C};$ gdzie $Tmax_{in}$ jest maksymalną dzienną temperaturą w dniu $i$ w roku $n$
Liczba fal upałów (min. 3 dni z $T_{max} > 30^\circ\text{C}$ )	Liczba fal upałów występujących w ciągu dekady. Fala upałów to okres minimum 3 dni następujących po sobie z dobową temperaturą maksymalną wyższą od 30°C
Średnia długość trwania fal upałów	Średnia długość okresów, w których dobowa temperatura maksymalna powyżej 30°C utrzymuje się przez minimum 3 kolejne doby
Liczba dni gorących ( $T_{max} > 25^\circ\text{C}$ )	Liczba dni w roku, w których dobowa temperatura maksymalna jest wyższa niż 25°C, obliczona według wzoru $TX25_n = \sum_{i=1}^{dni\_w\_roku(n)} i, \text{ jeżeli } Tmax_{in} > 25^\circ\text{C}$ gdzie $Tmax_{in}$ jest maksymalną dzienną temperaturą w dniu $i$ w roku $n$
Liczba okresów dłuższych niż 5 dni z $T_{max} > 25^\circ\text{C}$	Liczba okresów w roku z dobową temperaturą maksymalną wyższą niż 25°C występującą przez 5 kolejnych dni.
Liczba nocy tropikalnych	Liczba dni w roku, w których dobowa temperatura minimalna jest wyższa od 20°C uśredniona dla dekady. Obliczona według wzoru $TN20_n = \sum_{i=1}^n i, \text{ jeżeli } Tmin_{in} > 20^\circ\text{C};$ gdzie $Tmin_{in}$ jest minimalną dzienną temperaturą w dniu $i$ w roku $n$

Średnia roczna temperatura minimalna	Średnia temperatura minimalna, obliczona według wzoru $Tmin_n = \frac{\sum_{i=1}^{dni\_w\_roku(n)} Tmin_{in}}{dni\_w\_roku(n)}$ gdzie $T_{min}$ – minimalna temperatura powietrza w dniu $i$ w roku $n$ .
Liczba dni przymrozkowych ( $T_{min} < 0^{\circ}C$ )	Liczba dni w roku, w których dobowa temperatura minimalna jest niższa od $0^{\circ}C$ , obliczona według wzoru: $TNO_n = \sum_{i=1}^{dni\_w\_roku(n)} i$ , jeżeli $Tmin_{in} < 0^{\circ}C$ gdzie $Tmin_{in}$ jest minimalną temperaturą w dniu $i$ w roku $n$
Liczba okresów przymrozkowych (min. 5 dni z $T_{min} < 0^{\circ}C$ )	Średnia liczba okresów, w których dobowa temperatura minimalna poniżej $0^{\circ}C$ utrzymuje się przez minimum 5 dni następujące po sobie
Liczba dni mroźnych ( $T_{max} < 0^{\circ}C$ )	Średnia liczba dni, w których dzienna temperatura maksymalna jest niższa od $0^{\circ}C$ uśredniona dla dekady. Obliczona według wzoru $TX0_n = \sum_{i=1}^{dni\_w\_roku(n)} i$ , jeżeli $Tmax_{in} < 0^{\circ}C$ gdzie $Tmax_{in}$ jest maksymalną dzienną temperaturą w dniu $i$ w roku $n$
Liczba dni bardzo mroźnych ( $T_{min} < -10^{\circ}C$ )	Liczba dni w roku z temperaturą minimalną niższą niż $-10^{\circ}C$ , obliczona według wzoru $TN10_n = \sum_{i=1}^{dni\_w\_roku(n)} i$ , jeżeli $Tmin_{in} < -10^{\circ}C$ gdzie $Tmin_{in}$ jest minimalną dzienną temperaturą w dniu $i$ w roku $n$
Liczba fal chłodu (min 3 dni z $T_{min} < -10^{\circ}C$ )	Średnia liczba okresów w ciągu roku, w których dobowa temperatura minimalna niższa od $-10^{\circ}C$ utrzymuje się przez minimum 3 kolejne doby
Liczba dni z przejściem przez $0^{\circ}C$	Liczba dni w ciągu roku, podczas których w ciągu doby temperatura maksymalna jest wyższa od $0^{\circ}C$ a temperatura minimalna jest niższa od $0^{\circ}C$ , obliczona według wzoru $TXNO_n = \sum_{i=1}^{dni\_w\_roku(n)} i$ , jeżeli $Tmax_{in} > 0^{\circ}$ i $Tmin < 0^{\circ}C$ ; gdzie $Tmax_{in}$ i $Tmin_{in}$ jest odpowiednio maksymalną i minimalną dzienną temperaturą powietrza w dniu $i$ w roku $n$
<b>Indeksy opadowe</b>	
Roczna suma opadu	Roczna suma opadów atmosferycznych, obliczona według wzoru $PR_n = \sum_{i=1}^{dni\_w\_roku(n)} PR_{in}$ gdzie: $PR_{in}$ jest dobową sumą opadu atmosferycznego w dniu $i$ w roku $n$
Liczba dni z opadem dobowym wyższym od 1 mm	Średnia liczba dni w ciągu roku, podczas których opad dobowy jest wyższy od 1mm. Obliczona według wzoru $PR1_n = \sum_{i=1}^{dni\_w\_roku(n)} i$ jeśli $PR_{in} > 1mm$ gdzie $PR_{in}$ jest dobową sumą opadu atmosferycznego w dniu $i$ w roku $n$
Liczba dni z opadem przy temp. od $-5^{\circ}C$ do $2.5^{\circ}C$	Liczby dni w roku z opadem powyżej 1mm podczas których średniodobowa temperatura powietrza jest wyższa od $-5^{\circ}C$ i niższa od $2.5^{\circ}C$ .
Miesięczna suma opadu	Suma opadu atmosferycznego w danym miesiącu., obliczona według wzoru $PR_m = \sum_{i=1}^{dni\_w\_miesiącu(n)} PR_{im}$ gdzie $PR_{im}$ jest dobową sumą opadu atmosferycznego w dniu $i$ w miesiącu $m$ , w roku $n$



Liczba dni z opadem dobowym powyżej 10 mm	Średnia liczba dni w ciągu roku, podczas których opad dobowy jest wyższy od 10mm. Obliczona według wzoru $PR10_n = \sum_{i=1}^{dni\_w\_roku(n)} i$ jeśli $PR_{in} \geq 10\text{mm}$ gdzie $PR_{in}$ jest dobową sumą opadu atmosferycznego w dniu $i$ w roku $n$
Liczba dni z opadem dobowym powyżej 20 mm	Średnia liczba dni z opadem dobowym >20mm, obliczona według wzoru $PR20_n = \sum_{i=1}^{dni\_w\_roku(n)} i$ jeżeli $PR_{in} \geq 20\text{mm}$ gdzie $PR_{in}$ jest dobową sumą opadu atmosferycznego w dniu $i$ w roku $n$
Liczba dni z opadem dobowym powyżej 30 mm	Liczba dni z opadem dobowym >30mm, obliczona według wzoru $PR30_n = \sum_{i=1}^{dni\_w\_roku(n)} i$ jeżeli $PR_{in} \geq 30\text{mm}$ gdzie $PR_{in}$ jest dobową sumą opadu atmosferycznego w dniu $i$ w roku $n$
Liczba dni z opadem dobowym powyżej 40 mm	Liczba dni z opadem dobowym >40mm, obliczona według wzoru $PR40_n = \sum_{i=1}^{dni\_w\_roku(n)} i$ jeżeli $PR_{in} \geq 40\text{mm}$ gdzie $PR_{in}$ jest dobową sumą opadu atmosferycznego w dniu $i$ w roku $n$
Liczba dni z opadem dobowym powyżej 50 mm	Liczba dni z opadem dobowym >50mm, obliczona według wzoru $PR50_n = \sum_{i=1}^{dni\_w\_roku(n)} i$ jeżeli $PR_{in} \geq 50\text{mm}$ gdzie $PR_{in}$ jest dobową sumą opadu atmosferycznego w dniu $i$ w roku $n$
Liczba dni z opadem dobowym powyżej 60 mm	Liczba dni z opadem dobowym >60mm, obliczona według wzoru $PR60_n = \sum_{i=1}^{dni\_w\_roku(n)} i$ jeżeli $PR_{in} \geq 60\text{mm}$ gdzie $PR_{in}$ jest dobową sumą opadu atmosferycznego w dniu $i$ w roku $n$
Liczba dni z opadem dobowym powyżej 70 mm	Liczba dni z opadem dobowym >70mm, obliczona według wzoru $PR70_n = \sum_{i=1}^{dni\_w\_roku(n)} i$ jeżeli $PR_{in} \geq 70\text{mm}$ gdzie $PR_{in}$ jest dobową sumą opadu atmosferycznego w dniu $i$ w roku $n$
Maksymalny opad dobowy w miesiącu	Najwyższa suma opadu dobowego w danym miesiącu. Obliczona według wzoru $PR_m = \sum_{i=1}^{dni\_w\_miesiacu(m)} \max PR_{im}$ $PR_{im}$ - jest dobową sumą opadu atmosferycznego w dniu $i$ w miesiącu $m$
Liczba dni bez opadu	Suma liczby dni bez opadu atmosferycznego obliczona według wzoru $PR0_n = \sum_{i=1}^{dni\_w\_roku(n)} i$ jeśli $PR_{in} < 1\text{mm}$ ; gdzie $PR_{in}$ jest dobową sumą opadu atmosferycznego w dniu $i$ w roku $n$
Liczba okresów bez opadu dłuższych niż 5 dni	Liczba okresów w ciągu roku, podczas których nie występuje opad atmosferyczny przez 5 następujących po sobie dni
Najdłuższy okres bez opadu	Ciąg następujących po sobie dni, w których nie wystąpił żaden opad atmosferyczny