



Fundusze Europejskie  
na Infrastrukturę,  
Klimat, Środowisko



Rzeczpospolita  
Polska

Dofinansowane przez  
Unię Europejską



Instytut Ekologii  
Terenów Uprzemysłowionych

# Miejski plan adaptacji do zmian klimatu dla miasta Racibórz

## Załącznik 1

### Analiza warunków klimatycznych i hydrologicznych



Katowice, listopad 2025



Fundusze Europejskie  
na Infrastrukturę,  
Klimat, Środowisko



Rzeczpospolita  
Polska

Dofinansowane przez  
Unię Europejską



# Miejski plan adaptacji do zmian klimatu dla miasta Racibórz

## Załącznik 1

### Analiza warunków klimatycznych i hydrologicznych

**Janusz Krupanek** – Kierownik Zespołu Ekspertów

Jakub Słotwiński



Opracowanie Miejskiego Planu Adaptacji do zmian klimatu zostało zlecone przez **Miasto Racibórz** w ramach działania FENX.02.04 „Adaptacja do zmian klimatu, zapobieganie klęskom i katastrofom”; priorytetu „Opracowanie planów adaptacji do zmian klimatu” priorytetu FENX.02 „Wsparcie sektorów energetyka i środowisko z EFRR” programu Fundusze Europejskie na Infrastrukturę, Klimat, Środowisko 2021-2027”.

**Zadanie dofinansowane na podstawie umowy nr FENX.02.04-IW.01-0031/25.**

## Spis treści

Spis tabel.....	2
Spis ilustracji.....	3
1. Wstęp .....	5
2. Charakterystyka klimatologiczna Raciborza na podstawie danych pomiarowych z uwzględnieniem obserwowanych zmian klimatu .....	6
2.1. Temperatura powietrza.....	6
2.2. Opady atmosferyczne.....	13
2.3. Pokrywa śnieżna .....	17
2.4. Inne elementy klimatu i zjawiska atmosferyczne .....	18
3. Zmiany klimatu w Raciborzu prognozowane na podstawie danych modelowych.....	22
3.1. Temperatura powietrza.....	23
3.2. Opady atmosferyczne.....	30
3.3. Inne elementy klimatu i zjawiska atmosferyczne.....	35
4. Częściowa charakterystyka warunków hydrologicznych Raciborza .....	36
4.1. Przepływy charakterystyczne .....	37
4.2. Zmienność i gwałtowność przepływów .....	39
4.3. Charakterystyka okresów niżówkowych.....	40
4.4. Charakterystyka okresów wezbraniowych .....	42
5. Podsumowanie i wnioski .....	47
Literatura.....	49

## Spis tabel

Tabela 1 Średnia liczba wybranych dni charakterystycznych w Raciborzu (1991–2020).....	8
Tabela 2 Częstość wystąpienia rocznej sumy opadów atmosferycznych w przedziałach w Raciborzu w latach 1971–2024.....	14
Tabela 3 Prognozowane zmiany w wybranych termicznych charakterystykach klimatologicznych dla Raciborza w świetle scenariuszy klimatycznych RCP (wielolecia 2021–2030, 2031–2040 i 2041–2050) .....	24
Tabela 4 Prognozowane zmiany w wybranych pluwialnych charakterystykach klimatologicznych dla Raciborza w świetle scenariuszy klimatycznych RCP (wielolecia 2021–2030, 2031–2040 i 2041–2050) .....	34
Tabela 5 Prognozowane zmiany w wybranych niwalnych charakterystykach klimatologicznych dla Raciborza w świetle scenariuszy klimatycznych RCP (wielolecia 2021–2030, 2031–2040 i 2041–2050) .....	35
Tabela 6 Przepływy główne I stopnia w wybranych punktach wodowskazowych otoczenia Raciborza .....	38
Tabela 7 Przepływy główne II stopnia w wybranych punktach wodowskazowych otoczenia Raciborza (1991–2020) .....	39
Tabela 8 Interpretacja wartości współczynnika zmienności przepływów $C_v$ .....	40
Tabela 9 Wartości $C_v$ i RB index w wybranych punktach wodowskazowych otoczenia Raciborza (1991–2020)..	40
Tabela 10 Liczba przekroczeń stanów charakterystycznych w wybranych punktach wodowskazowych otoczenia Raciborza (1991–2020).....	44

## Spis ilustracji

Rys. 1 Przebieg średniej rocznej temperatury powietrza w Raciborzu w latach 1971–2024.....	6
Rys. 2 Przebieg miesięczny średniej, minimalnej i maksymalnej dobowej temperatury powietrza w Raciborzu (1991–2020) .....	7
Rys. 3 Przebieg obliczonej metodą Gumińskiego (1948) długości okresu wegetacyjnego w Raciborzu w latach 1991–2020.....	7
Rys. 4 Przebieg rocznej liczby nocy tropikalnych w Raciborzu w latach 1971–2024 .....	8
Rys. 5 Przebieg rocznej liczby dni upalnych w Raciborzu w latach 1971–2024 .....	9
Rys. 6 Liczba fal upałów i dni nimi objętych w Raciborzu w latach 1971–2024 .....	9
Rys. 7 Przebieg rocznej liczby dni gorących w Raciborzu w latach 1971–2024.....	10
Rys. 8 Przebieg rocznej liczby dni z przymrozkiem w Raciborzu w latach 1971–2024.....	10
Rys. 9 Przebieg liczby dni z wiosennymi (marzec–maj) przymrozkami w Raciborzu w latach 1971–2024 .....	11
Rys. 10 Przebieg rocznej liczby dni mroźnych w Raciborzu w latach 1971–2024 .....	11
Rys. 11 Przebieg rocznej liczby dni bardzo mroźnych w Raciborzu w latach 1971–2024 .....	12
Rys. 12 Liczba fal zimna i dni nimi objętych w Raciborzu w latach 1971–2024 .....	12
Rys. 13 Przebieg liczby stopniodni grzania i chłodzenia w Raciborzu w latach 1971–2024.....	13
Rys. 14 Przebieg rocznej sumy opadów atmosferycznych i liczby dni z opadem w Raciborzu w latach 1971–2024 .....	14
Rys. 15 Przebieg średniej miesięcznej sumy opadów atmosferycznych i liczby dni z opadem $\geq 0,1$ ; $\geq 1,0$ oraz $\geq 10,0$ mm w Raciborzu (1991–2020).....	15
Rys. 16 Przebieg maksymalnej dobowej sumy opadów atmosferycznych w Raciborzu w latach 1971–2024.....	15
Rys. 17 Przebieg maksymalnej dwudniowej sumy opadów atmosferycznych w Raciborzu w latach 1971–2024 .....	16
Rys. 18 Przebieg maksymalnej pięciodniowej sumy opadów atmosferycznych w Raciborzu w latach 1971–2024 .....	16
Rys. 19 Przebieg długości najdłuższych okresów bezopadowych w Raciborzu w latach 1971–2024 .....	17
Rys. 20 Przebieg liczby dni z pokrywą śnieżną w Raciborzu w latach 1971–2024 .....	17
Rys. 21 Przebieg liczby dni z opadem śniegu w Raciborzu w latach 1971–2023 .....	18
Rys. 22 Przebieg maksymalnej dobowej miąższości pokrywy śnieżnej w Raciborzu w latach 1971–2024.....	18
Rys. 23 Częstość kierunków wiatru w podziale na zakresy jego prędkości w Raciborzu (1991–2020).....	19
Rys. 24 Przebieg liczby dni z porywem wiatru $\geq 10$ m/s w Raciborzu w latach 1976–2021.....	19
Rys. 25 Przebieg liczby dni z porywem wiatru $\geq 15$ m/s w Raciborzu w latach 1976–2021.....	20
Rys. 26 Przebieg liczby dni z burzą w Raciborzu w latach 1971–2020 .....	20
Rys. 27 Przebieg liczby dni z gradem w Raciborzu w latach 1971–2020 .....	21
Rys. 28 Przebieg liczby dni z gołoledzią w Raciborzu w latach 1971–2020.....	21
Rys. 29 Przebieg prognozowanej średniej rocznej temperatury powietrza w Raciborzu w latach 2021–2095....	23
Rys. 30 Przebieg miesięczny prognozowanej średniej, minimalnej i maksymalnej temperatury powietrza w Raciborzu w latach 2021–2030.....	25
Rys. 31 Przebieg miesięczny prognozowanej średniej, minimalnej i maksymalnej temperatury powietrza w Raciborzu w latach 2031–2040.....	26
Rys. 32 Przebieg miesięczny prognozowanej średniej, minimalnej i maksymalnej temperatury powietrza w Raciborzu w latach 2041–2050.....	27
Rys. 33 Przebieg prognozowanej średniej rocznej liczby nocy tropikalnych w Raciborzu w latach 2021–2095... ..	27
Rys. 34 Przebieg prognozowanej średniej rocznej liczby dni upalnych w Raciborzu w latach 2021–2095.....	28
Rys. 35 Przebieg prognozowanej średniej rocznej liczby dni gorących w Raciborzu w latach 2021–2095.....	28
Rys. 36 Przebieg prognozowanej średniej rocznej liczby dni z przymrozkiem w Raciborzu w latach 2021–2095 .....	29
Rys. 37 Przebieg prognozowanej średniej rocznej liczby dni z przymrozkiem wiosennym w Raciborzu w latach 2021–2095.....	29
Rys. 38 Przebieg prognozowanej średniej rocznej liczby dni mroźnych w Raciborzu w latach 2021–2095 .....	30
Rys. 39 Przebieg prognozowanej rocznej sumy opadów atmosferycznych w Raciborzu w latach 2021–2095 ....	31
Rys. 40 Przebieg prognozowanej rocznej liczby dni z opadem w Raciborzu w latach 2021–2095 .....	31
Rys. 41 Przebieg prognozowanej średniej miesięcznej sumy opadów atmosferycznych w Raciborzu w latach 2021–2030.....	32

Rys. 42 Przebieg prognozowanej średniej miesięcznej sumy opadów atmosferycznych w Raciborzu w latach 2031–2040.....	32
Rys. 43 Przebieg prognozowanej średniej miesięcznej sumy opadów atmosferycznych w Raciborzu w latach 2041–2050.....	33
Rys. 44 Przebieg prognozowanej średniej rocznej liczby dni z pokrywą śnieżną w Raciborzu w latach 2021–2095 .....	34
Rys. 45 Przebieg prognozowanej średniej rocznej liczby dni z gołoledzią w Raciborzu w latach 2021–2095 .....	35
Rys. 46 Przebieg rocznej liczby dni z $Q \leq SNQ$ oraz szacowanego rocznego deficytu wody na stacji hydrologicznej Racibórz-Miedonia (1991–2020).....	42
Rys. 47 Przebieg rocznej liczby dni z $Q \leq SNQ$ oraz szacowanego rocznego deficytu wody na stacji hydrologicznej Bojanów (1991–2020).....	42
Rys. 48 Przebieg rocznej liczby dni z $Q \geq SWQ$ oraz szacowanej rocznej objętości wezbrania na stacji hydrologicznej Racibórz-Miedonia (1991–2020).....	45
Rys. 49 Przebieg rocznej liczby dni z $Q \geq SWQ$ oraz szacowanej rocznej objętości wezbrania na stacji hydrologicznej Bojanów (1991–2020).....	46

## 1. Wstęp

Celem niniejszego opracowania jest zwrócenie uwagi na główne zagrożenia wynikające ze zmian klimatu występujące na obszarze Raciborza. Oceny dokonano na podstawie analizy danych instrumentalnych oraz modelowych. W opracowaniu wykorzystano następujące dane źródłowe:

- dane pomiarowe ze stacji synoptycznej IMGW-PIB Racibórz (WMO 12540) dla lat 1971–2024;
- dane modelowe opracowane dla scenariuszy klimatycznych RCP przez Instytut Ochrony Środowiska - Państwowy Instytut Badawczy (IOŚ-PIB) w ramach projektu Klimada 2.0 „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” [<https://klimada2.ios.gov.pl/>] (powiat raciborski);
- dane pomiarowe ze stacji hydrologicznych IMGW-PIB Racibórz-Miedonia (150180060) oraz Bojanów (150180040) dla lat 1991–2024.

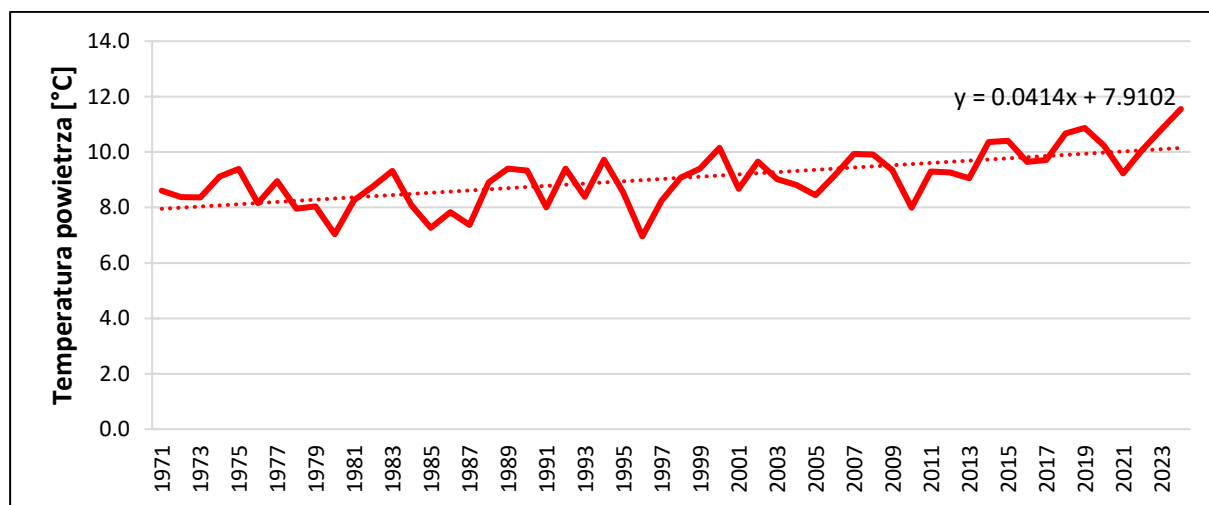
## 2. Charakterystyka klimatologiczna Raciborza na podstawie danych pomiarowych z uwzględnieniem obserwowanych zmian klimatu

Charakterystykę klimatologiczną Raciborza oparto w większości o dane pomiarowe ze stacji synoptycznej IMGW-PIB (WMO 12540) położonej jest o około 4 kilometry w kierunku południowo-zachodnim od centrum omawianego miasta.

Według regionalizacji Wosia (1993) Racibórz leży w regionie klimatycznym Śląsko-Krakowskim (XXVI). Na tle innych regionów wyróżnia się on stosunkowo większą liczbą dni z pogodą bardzo ciepłą z opadem oraz dni z pogodą umiarkowanie ciepłą z dużym zachmurzeniem i opadem.

### 2.1. Temperatura powietrza

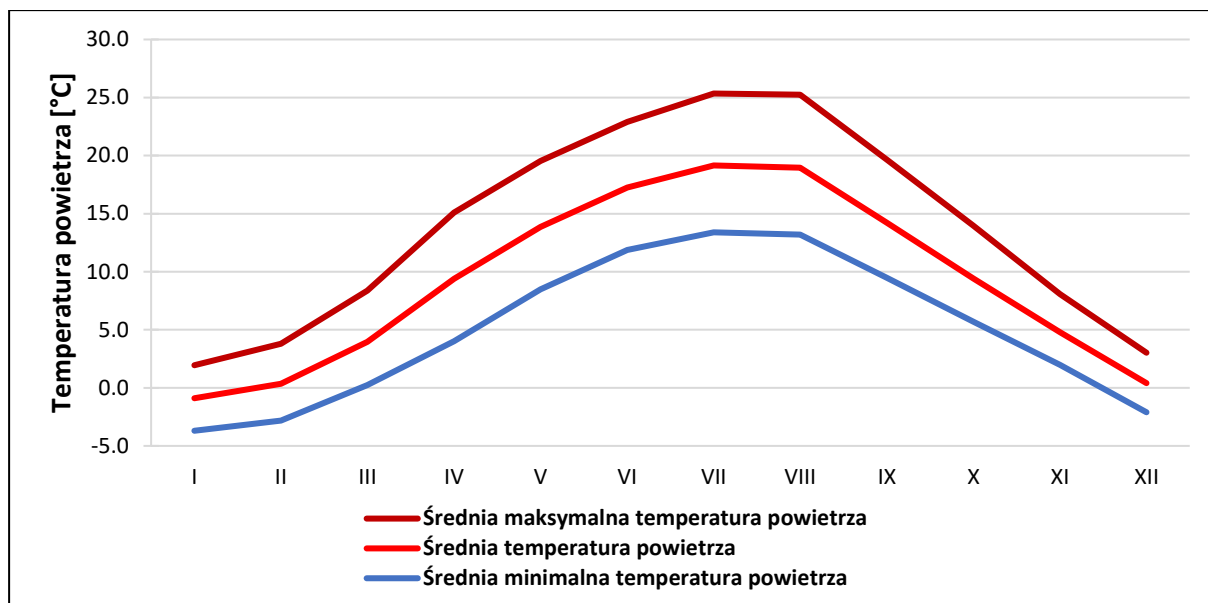
Średnia roczna temperatura powietrza w Raciborzu wyniosła w wieloleciu 1991–2020 9,3°C, co stanowiło wzrost o 0,5°C względem wielolecia 1981–2010 (8,8°C) i o 0,8°C względem wielolecia 1971–2000 (8,5°C). Analiza międzyrocznych wahań średniej rocznej temperatury powietrza w latach 1971–2024 (Rys. 1) wykazała znaczną zmienność tej wartości. Najcieplejszym rokiem był 2024 ze średnią roczną temperaturą powietrza 11,6°C; najchłodniejszym zaś 1996 z wartością 7,0°C. Cechą charakterystyczną przebiegu średniej rocznej temperatury powietrza w latach 1971–2024 był jej systematyczny, istotny statystycznie wzrost.



Rys. 1 Przebieg średniej rocznej temperatury powietrza w Raciborzu w latach 1971–2024

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB.

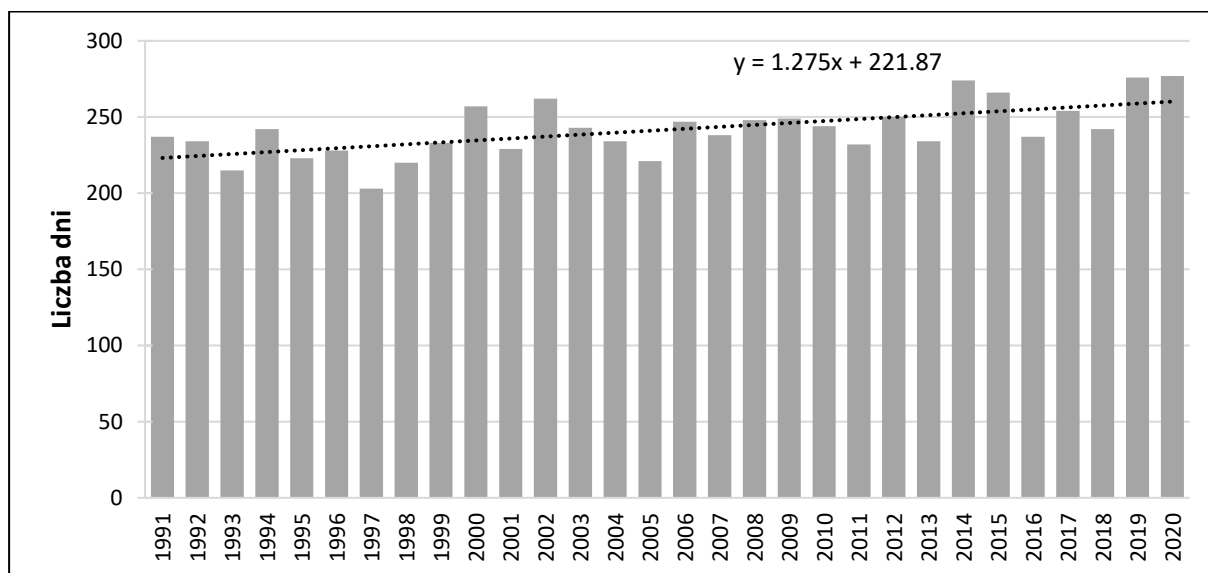
Miesięczny przebieg średniej, minimalnej i maksymalnej dobowej temperatury w Raciborzu dla wielolecia 1991–2020 przedstawia Rys. 2. Średnia sezonowa wartość temperatury powietrza wyniosła kolejno: 9,1°C wiosną; 18,5°C latem; 9,5°C jesienią i 0,0°C zimą. Najcieplejszym miesiącem był tu lipiec (średnio 19,2°C), a najchłodniejszym styczeń (-0,9°C). W omawianym wieloleciu absolutne maksimum średniej miesięcznej temperatury powietrza odnotowano w sierpniu roku 2015 (22,3°C), a minimum w styczniu roku 2006 (-6,6°C). Absolutne maksimum średniej dobowej temperatury powietrza przypadło na 08.08.2013 z wartością 28,6°C; minimum zaś na 24.01.2010 z wartością -22,4°C.



Rys. 2 Przebieg miesięczny średniej, minimalnej i maksymalnej dobowej temperatury powietrza w Raciborzu (1991–2020)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB.

Długość okresu wegetacyjnego ( $TG \geq 5^{\circ}\text{C}$ ) na obszarze miasta Racibórz obliczona metodą Gumińskiego (1948) wyniosła w omawianym wieloleciu średnio 242 dni. Rokiem z najkrótszym okresem wegetacyjnym (203 dni) był rok 1997; rokiem z najdłuższym okresem wegetacyjnym zaś rok 2020 (277) (Rys. 3). Długość okresu wegetacyjnego w Raciborzu w latach 1991–2020 systematycznie wzrastała w tempie średnio 1,0 dnia na rok.



Rys. 3 Przebieg obliczonej metodą Gumińskiego (1948) długości okresu wegetacyjnego w Raciborzu w latach 1991–2020

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB.

W omawianym wieloleciu w Raciborzu występowało średnio na rok:

- 0 nocy tropikalnych (1971–2000: 0 nocy; 1981–2010: 0 nocy);
- 10 dni upalnych (1971–2000: 5 dni; 1981–2010: 7 dni);

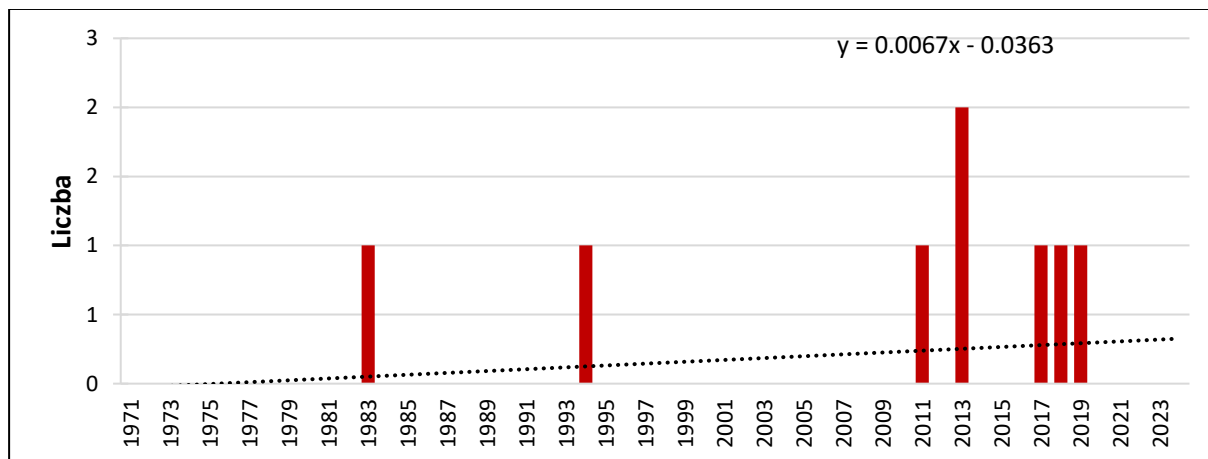
- 51 dni gorących (1971–2000: 39 dni; 1981–2010: 44 dni);
- 60 dni z przymrozkiem (1971–2000: 65 dni; 1981–2010: 62 dni);
- 27 dni mroźne (1971–2000: 26 dni; 1981–2010: 30 dni);
- 1 dzień bardzo mroźny (1971–2000: 1 dni; 1981–2010: 2 dni) (Tabela 1).

Tabela 1 Średnia liczba wybranych dni charakterystycznych w Raciborzu (1991–2020)

Dni charakterystyczne	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
<b>Noce tropikalne</b> ( $T_{\min} \geq 20^{\circ}\text{C}$ )	0	0	0	0	0	3	1	3	0	0	0	0	0
<b>Dni upalne</b> ( $T_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$ )	0	0	0	0	6	41	135	126	6	0	0	0	10
<b>Dni gorące</b> ( $T_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$ )	0	0	0	27	129	299	495	477	101	5	0	0	51
<b>Dni z przymrozkiem</b> ( $T_{\min} < 0^{\circ}\text{C} \wedge T_{\max} > 0^{\circ}\text{C}$ )	299	327	358	135	9	0	0	0	3	96	226	347	60
<b>Dni mroźne</b> ( $T_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$ )	309	192	56	0	0	0	0	0	0	0	40	198	27
<b>Dni bardzo mroźne</b> ( $T_{\max} < -10^{\circ}\text{C}$ )	14	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	1

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB.

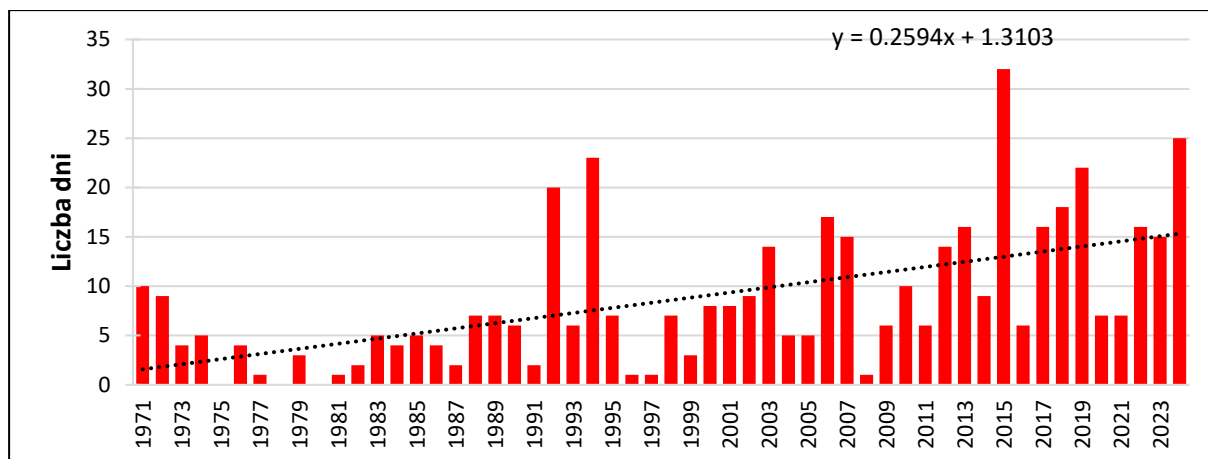
Międzyroczną zmienność liczby nocy tropikalnych ( $T_{\min} \geq 20^{\circ}\text{C}$ ) w mieście w latach 1971–2024 przedstawia Rys. 4. Najwięcej nocy tropikalnych, 2, zaobserwowano w roku 2013. W większości lat analizowanego wielolecia w Raciborzu nie zaobserwowano nocy tropikalnych.



Rys. 4 Przebieg rocznej liczby nocy tropikalnych w Raciborzu w latach 1971–2024

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB.

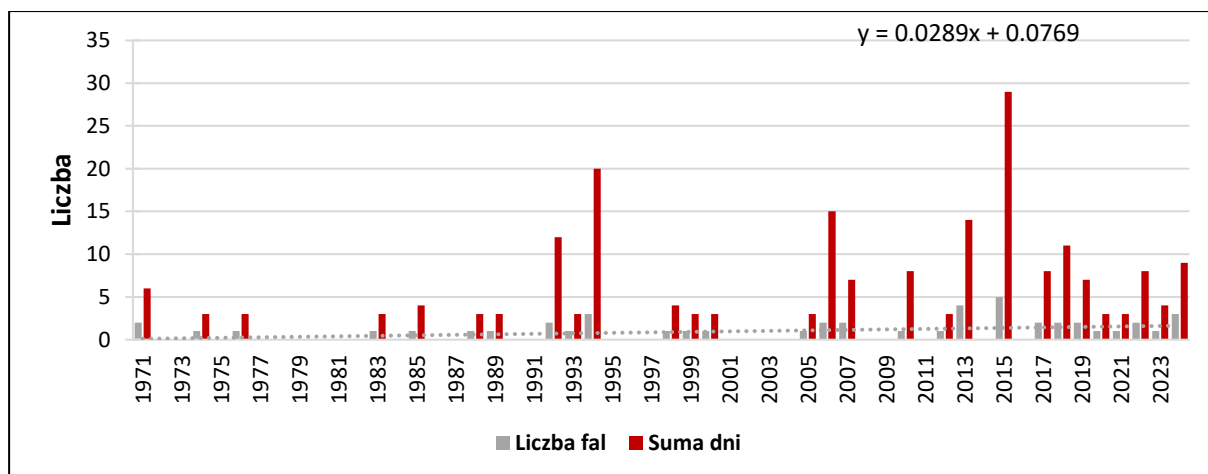
Przebieg liczby dni upalnych ( $T_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$ ) w Raciborzu w latach 1971–2024 przedstawiono na Rys. 5. Rokiem z największą liczbą dni upalnych był rok 2015 (32 dni); dni upalne nie wystąpiły w latach 1975, 1978 i 1980. Liczba dni upalnych systematycznie wzrastała w tempie około 0,2 dnia na rok.



Rys. 5 Przebieg rocznej liczby dni upalnych w Raciborzu w latach 1971–2024

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB.

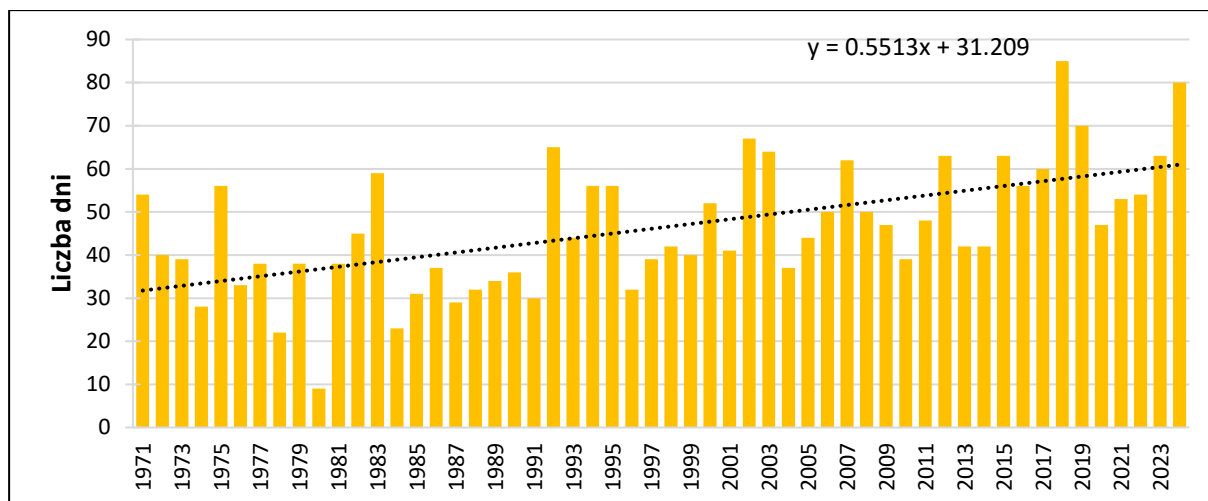
Fale upałów to ciągi co najmniej 3 dni upalnych, tj. ciągi co najmniej 3 dni z  $T_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$  (Kossowska-Cezak, 2010). W Raciborzu w latach 1971–2024 wystąpiło 47 fal upałów, które łącznie objęły 202 dni upalne. Rekordowym był rok 2015, w którym wystąpiło 5 fal upałów, łącznie obejmujących 29 dni. Najdłuższa fala upałów również wystąpiła w roku 2015 i trwała 13 dni (03.08–15.08.2015). Przebieg liczby fal upałów i dni nimi objętych w Raciborzu w latach 1971–2024 przedstawia Rys. 6. Liczba fal upałów w badanych latach wzrastała.



Rys. 6 Liczba fal upałów i dni nimi objętych w Raciborzu w latach 1971–2024

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB.

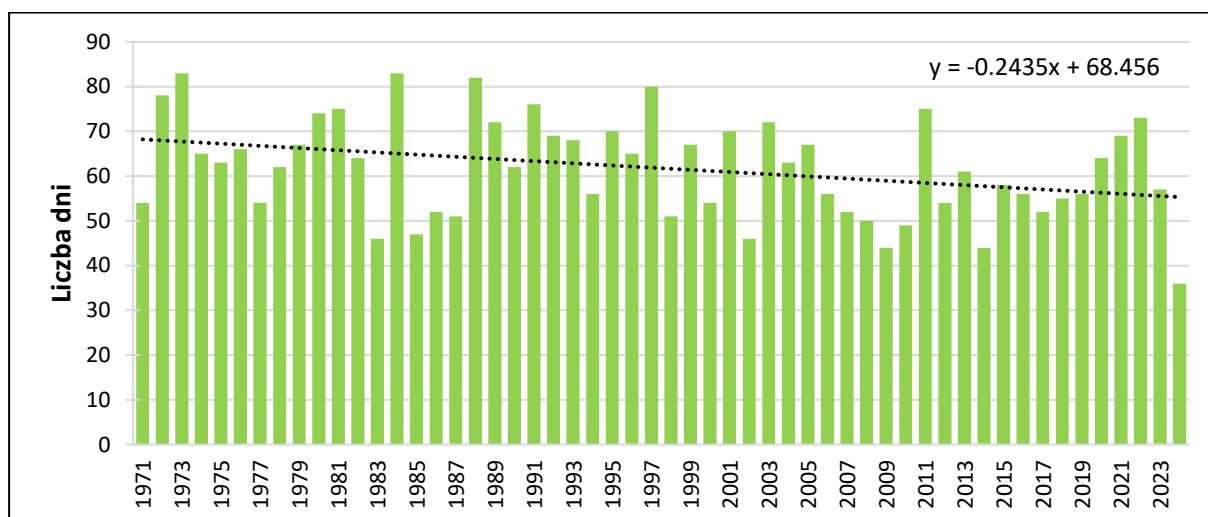
Przebieg liczby dni gorących ( $T_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$ ) w Raciborzu w latach 1971–2024 przedstawia Rys. 7. Rekordowym był rok 2018, gdy w mieście odnotowano po 85 dni gorących. Rokiem z najmniejszą liczbą takich dni był rok 1980 (9 dni gorących). Liczba dni gorących systematycznie wzrastała w tempie około 0,6 dnia na rok.



Rys. 7 Przebieg rocznej liczby dni gorących w Raciborzu w latach 1971–2024

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB.

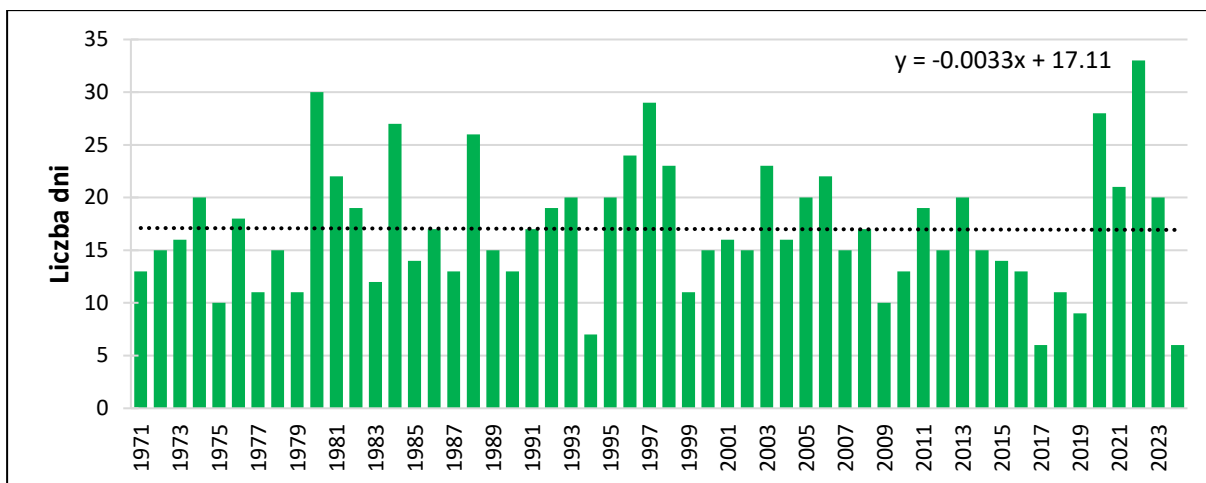
Międzyroczną zmienność liczby dni z przymrozkiem ( $T_{\min} < 0^{\circ}\text{C} \wedge T_{\max} > 0^{\circ}\text{C}$ ) w Raciborzu w latach 1971–2024 przedstawiono na Rys. 8. Rokiem z największą liczbą dni z przymrozkiem był rok 1973 (83 dni); rokiem z najmniejszą liczbą zaś 2024 (36 dni z przymrozkiem).



Rys. 8 Przebieg rocznej liczby dni z przymrozkiem w Raciborzu w latach 1971–2024

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB.

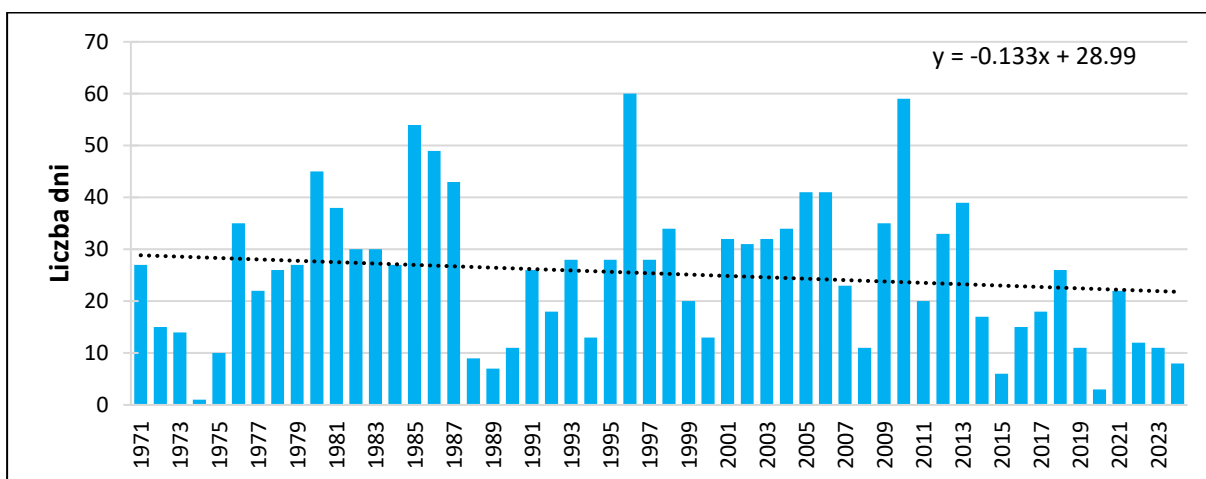
Międzyroczna zmienność dni z przymrozkiem w miesiącach meteorologicznej wiosny (tj. od marca do maja) została przedstawiona na Rys. 9. Jej przebieg nawiązuje do przebiegu ogólnej zmienności liczby dni z przymrozkiem. Rokiem z największą liczbą przymrozków wiosennych był 2022 (33 takie dni); latami z najmniejszą liczbą zaś 2017 i 2024 (po 6 dni z przymrozkiem wiosennym).



Rys. 9 Przebieg liczby dni z wiosennymi (marzec–maj) przymrozkami w Raciborzu w latach 1971–2024

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB.

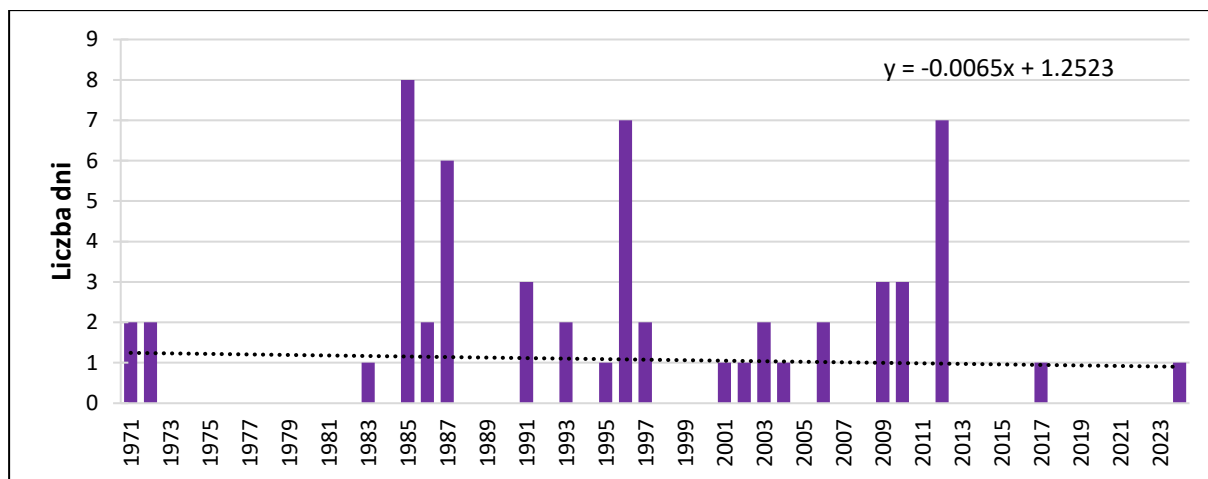
W Raciborzu w latach 1971–2024 systematycznie malała liczba dni mroźnych ( $T_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$ ) (Rys. 10). Rokiem z największą liczbą dni mroźnych był rok 1996 (60 dni); rokiem z najmniejszą liczbą takich dni zaś 1974 (1 dzień mroźny). Tempo spadku wyniosło około 0,1 dnia na rok.



Rys. 10 Przebieg rocznej liczby dni mroźnych w Raciborzu w latach 1971–2024

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB.

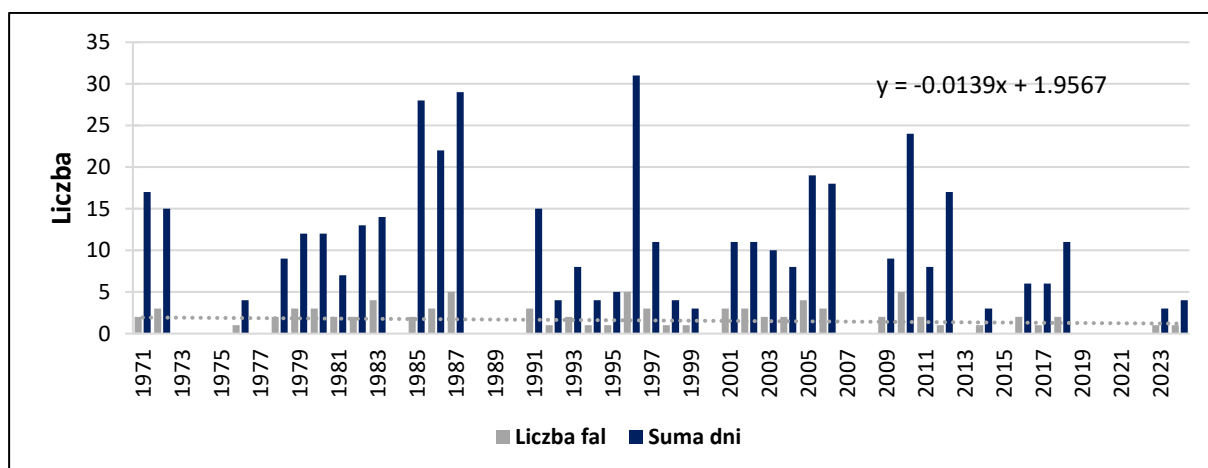
Międzyroczną zmienność liczby dni bardzo mroźnych ( $T_{\max} < -10^{\circ}\text{C}$ ) w Raciborzu w latach 1971–2024 przedstawia Rys. 11. Najwięcej (8) takich dni zaobserwowano na obszarze miasta w roku 1985. W analizowanych latach wystąpił nieznaczny trend spadkowy w rocznej liczbie dni bardzo mroźnych.



Rys. 11 Przebieg rocznej liczby dni bardzo mroźnych w Raciborzu w latach 1971–2024

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB.

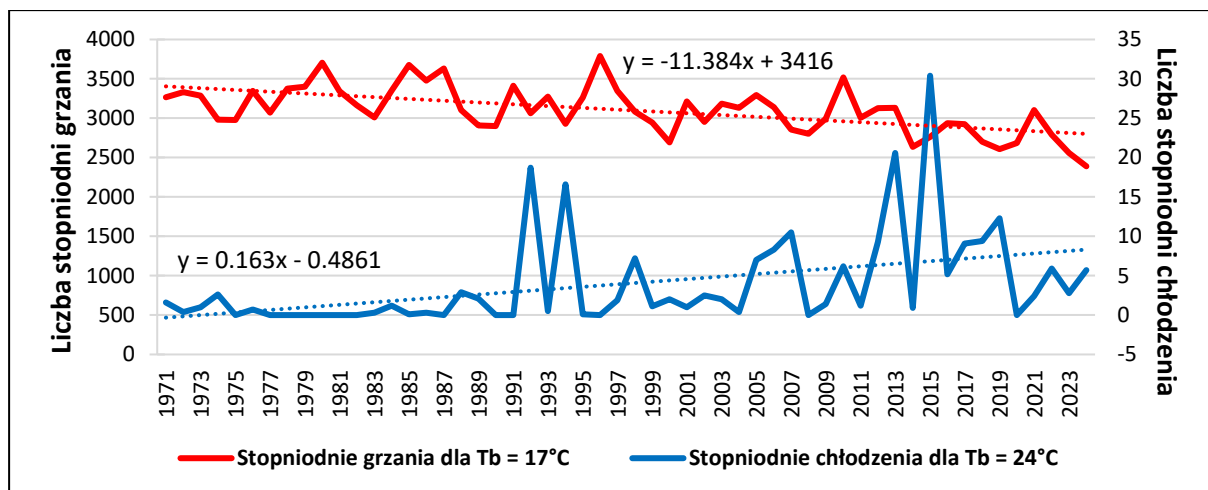
Fale zimna rozumiane jako ciągi co najmniej 3 dni z temperaturą minimalną poniżej  $-10^{\circ}\text{C}$  ( $T_{\min} < -10^{\circ}\text{C}$ ) występowały w Raciborzu w latach 1971–2024 85 razy, obejmując tym samym 435 dni. Rekordowym spośród lat był rok 1987, w którym wyróżniono 5 fal zimna, które objęły 29 dni. Najdłuższa w badanym okresie fala zimna trwała 19 dni i wystąpiła w dniach 03.01–21.01.1985. Przebieg liczby fal zimna i dni nimi objętych w Raciborzu w latach 1971–2024 przedstawia Rys. 12.



Rys. 12 Liczba fal zimna i dni nimi objętych w Raciborzu w latach 1971–2024

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB.

Przebieg liczby stopniodni dla dni grzewczych (ang. *Heating Degree Days*, HDD, przy  $T_b = 17^{\circ}\text{C}$ ) oraz stopniodni dla dni chłodzących (ang. *Cooling Degree Days*, CDD, przy  $T_b = 24^{\circ}\text{C}$ ) w latach 1971–2024 przedstawiono na Rys. 13. Średnia liczba tak wyznaczanych stopniodni grzania wyniosła w latach 1991–2020 3047,1; a stopniodni chłodzenia – 6,2. Zauważalny jest istotny statystycznie trend spadkowy w HDD. Najwyższa wartość HDD wystąpiła w roku 1996 i wyniosła 3789,8; najniższa w analizowanym okresie wartość wskaźnika wyniosła 2389,4 w roku 2024. Zauważalny jest również trend wzrostowy w liczbie CDD, której najwyższą wartość odnotowano w roku 2015 – wyniosła ona 30,4.

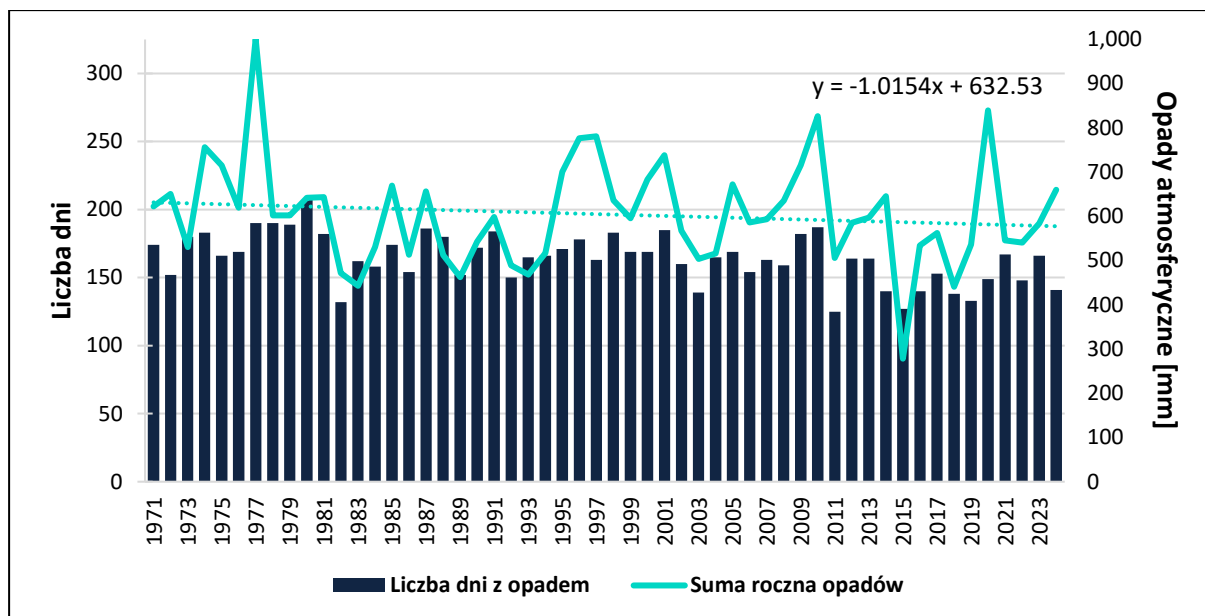


Rys. 13 Przebieg liczby stopniodni grzania ( $T_b = 17^\circ\text{C}$ ) i chłodzenia ( $T_b = 24^\circ\text{C}$ ) w Raciborzu w latach 1971–2024

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB.

## 2.2. Opady atmosferyczne

Średnia roczna suma opadów atmosferycznych w Raciborzu wyniosła w wieloleciu 1991–2020 600,0 mm, co stanowiło spadek o około 1,6 mm względem wielolecia 1981–2020 (601,6 mm) i o około 14,5 mm względem wielolecia 1971–2000 (614,5 mm). Średnia roczna liczba dni z opadem wyniosła tu 160 dni (1981–2010: 167 dni, 1971–2000: 172 dni). Analiza międzyrocznych wahań rocznej sumy opadów atmosferycznych w latach 1971–2024, a także zmienności liczby dni z opadem (Rys. 14), wykazała zmienność obu wartości. Rokiem z największą sumą opadów atmosferycznych był rok 1997 (1001,0 mm); rokiem z najmniejszą sumą zaś 2015 (278,3 mm). Najwięcej dni z opadem wystąpiło w roku 1980 (207 dni), najmniej zaś w roku 2011 (125 dni).



Rys. 14 Przebieg rocznej sumy opadów atmosferycznych i liczby dni z opadem w Raciborzu w latach 1971–2024

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB.

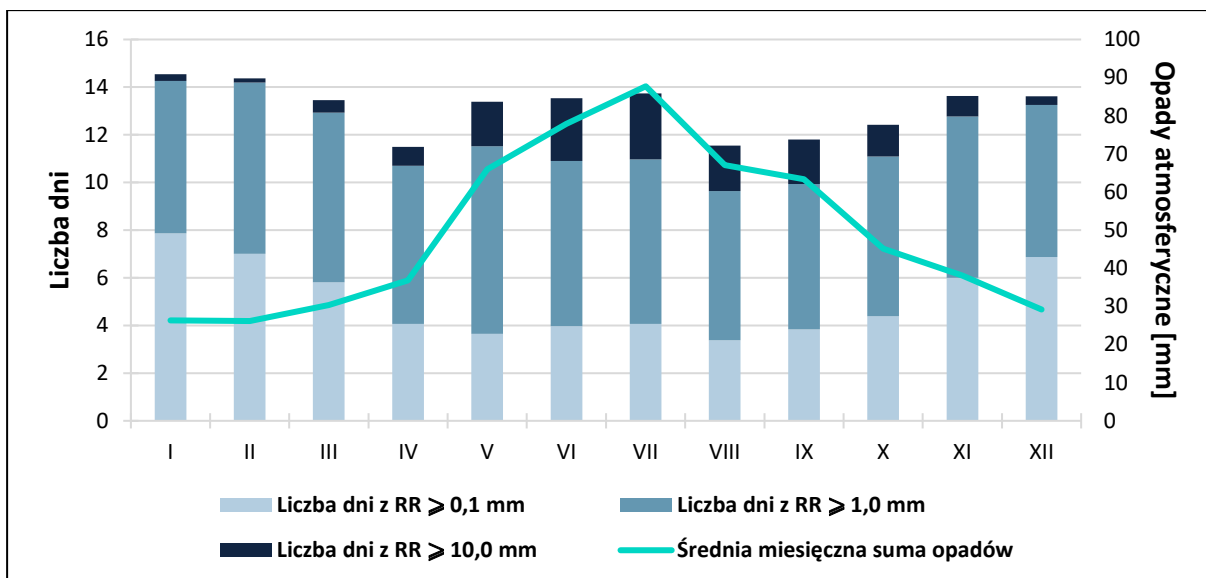
Częstość wystąpienia rocznej sumy opadów atmosferycznych w Raciborzu (lata 1971–2024) w przedziałach wartości przedstawia Tabela 2. Najwyższą częstością wystąpienia (24,1%) odznaczały się w rozważanych latach sumy opadów z przedziału 500,0–550,0 mm.

Tabela 2 Częstość wystąpienia rocznej sumy opadów atmosferycznych w przedziałach w Raciborzu w latach 1971–2024

Przedział [mm]	Liczebność	Częstość [%]	Częstość skumulowana [%]
< 500,0	7	13,0	13,0
500,0–550,0	13	24,1	37,0
550,1–600,0	9	16,7	53,7
600,1–650,0	9	16,7	70,4
650,1–700,0	6	11,1	81,5
700,1–750,0	4	7,4	88,9
750,1–800,0	3	5,6	94,4
> 800,1	3	5,6	100,0

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB.

Przebieg średniej miesięcznej sumy opadów i liczby dni z opadem w poszczególnych przedziałach dla wielolecia 1991–2020 przedstawia Rys. 15. Największa średnia miesięczna suma opadów przypada na lipiec i wynosi 87,7 mm; najmniejsza zaś na luty i wynosi 26,2 mm. Miesiącem z największą liczbą dni z opadem jest styczeń (średnio 14 dni z opadem), a najmniejszą – kwiecień i sierpień (średnio po 12 dni z opadem). Opady o większym natężeniu, zazwyczaj tożsame z opadami nawalnymi, występują częściej w ciepłej porze roku, podczas gdy opady mniej wydajne odnotowywane są częściej w miesiącach zimowych.

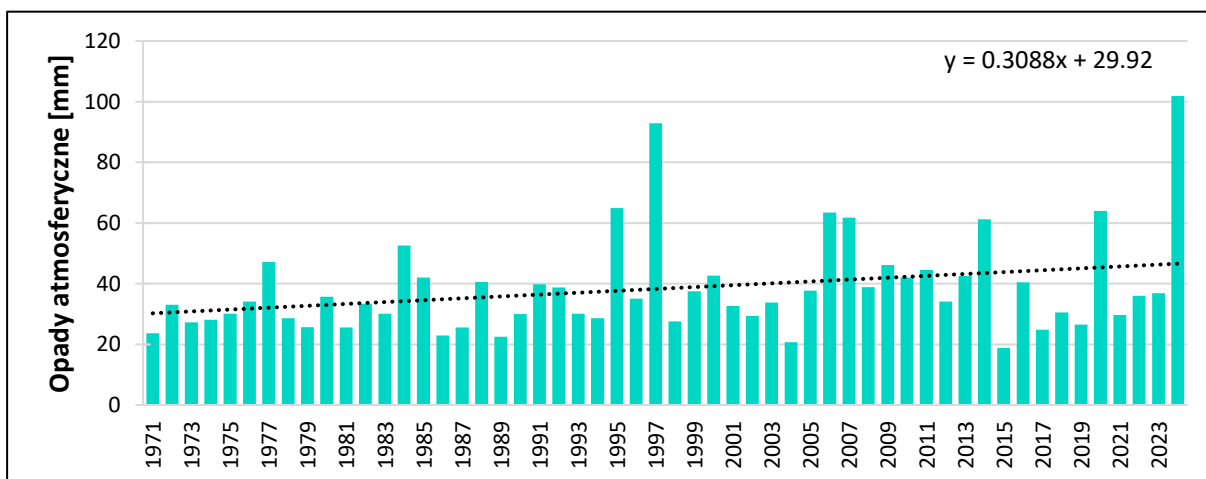


Rys. 15 Przebieg średniej miesięcznej sumy opadów atmosferycznych i liczby dni z opadem  $\geq 0,1$ ;  $\geq 1,0$  oraz  $\geq 10,0$  mm w Raciborzu (1991–2020)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB.

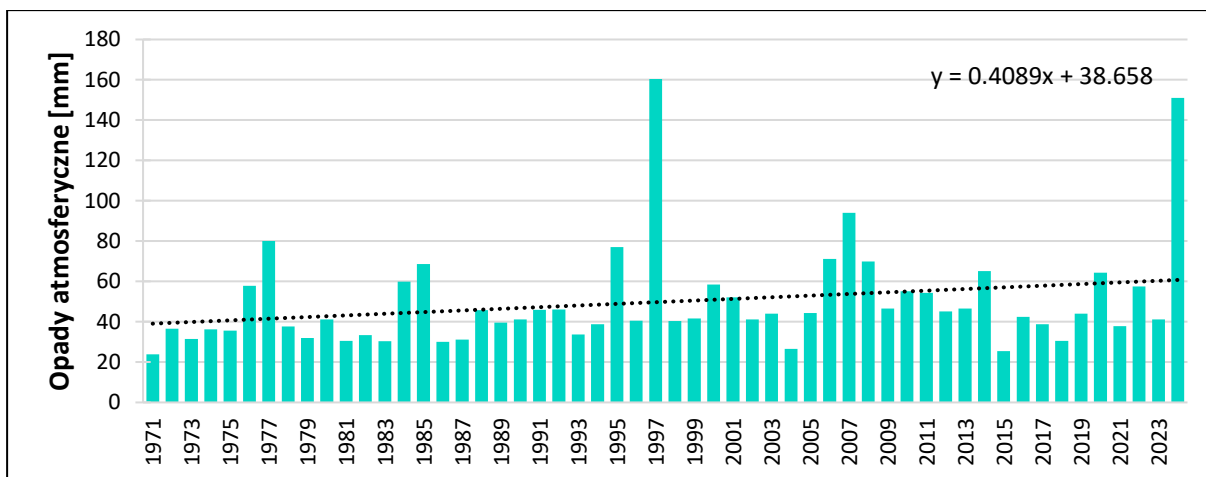
Analizie poddano również maksymalne opady dobowe (Rys. 16), maksymalne opady w ciągu dwudniowym (Rys. 17) oraz maksymalne opady w ciągu pięciodniowym (Rys. 18) w Raciborzu w latach 1971–2024:

- maksymalne dobowe sumy opadów mieściły się w przedziale od 18,8 do 101,9 mm, a wartość średnia wyniosła 38,4 mm;
- maksymalne sumy opadów w ciągu dwudniowym mieściły się w przedziale od 23,8 do 160,4 mm, a wartość średnia wyniosła 49,9 mm;
- maksymalne sumy opadów w ciągu pięciodniowym mieściły się w przedziale od 27,4 do 244,3 mm, a wartość średnia wyniosła 67,5 mm.



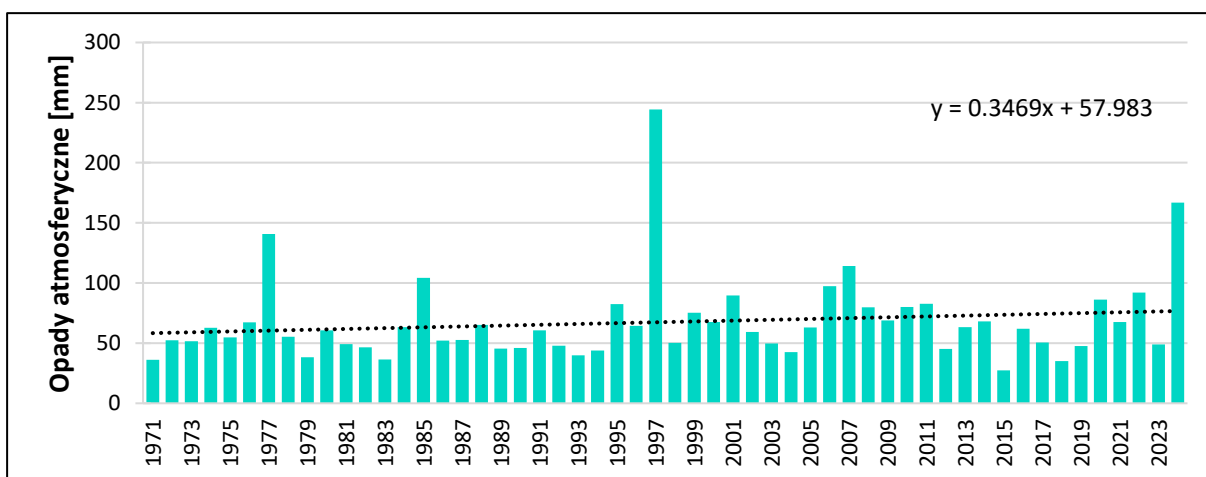
Rys. 16 Przebieg maksymalnej dobowej sumy opadów atmosferycznych w Raciborzu w latach 1971–2024

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB.



Rys. 17 Przebieg maksymalnej dwudniowej sumy opadów atmosferycznych w Raciborzu w latach 1971–2024

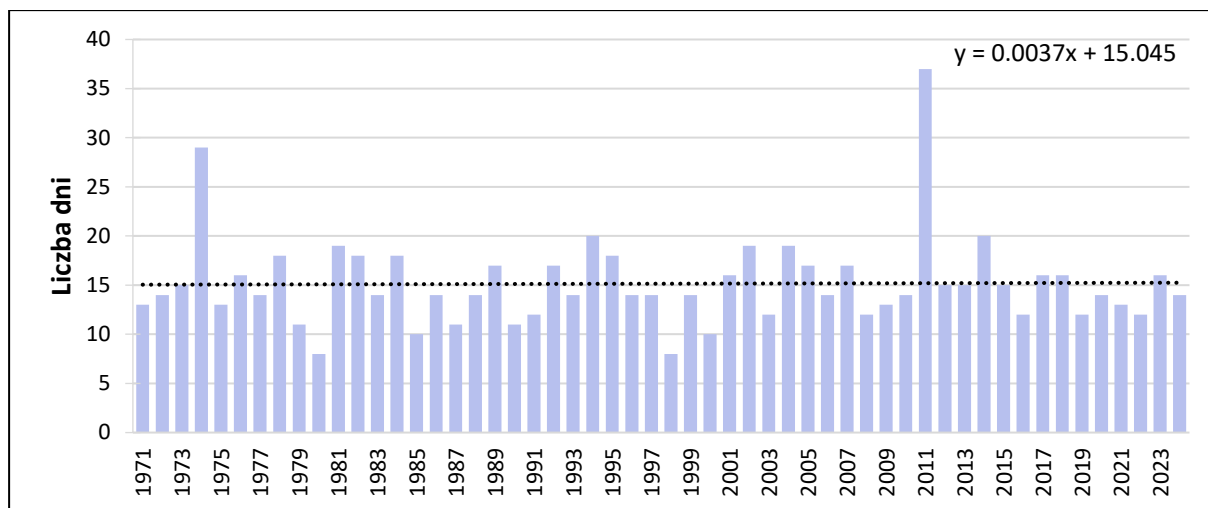
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB.



Rys. 18 Przebieg maksymalnej pięciodniowej sumy opadów atmosferycznych w Raciborzu w latach 1971–2024

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB.

Międzyroczną zmienność długości najdłuższego okresu bezopadowego (RR = 0,0 mm) w Raciborzu w latach 1971–2024 przedstawia Rys. 19. Najdłuższy okres bezopadowy wystąpił w roku 2011 i trwał 37 dni.

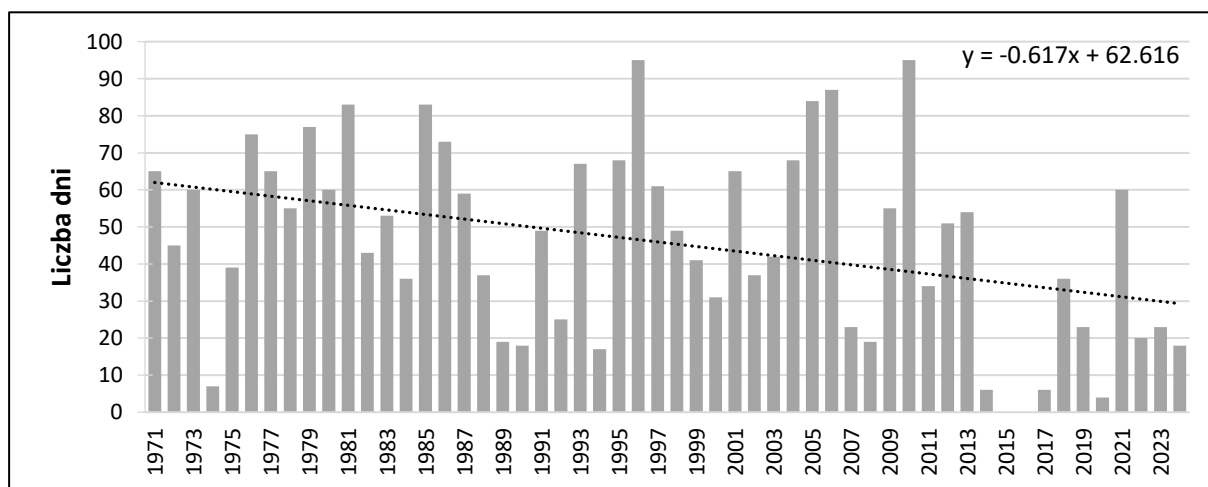


Rys. 19 Przebieg długości najdłuższych okresów bezopadowych w Raciborzu w latach 1971–2024

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB.

### 2.3. Pokrywa śnieżna

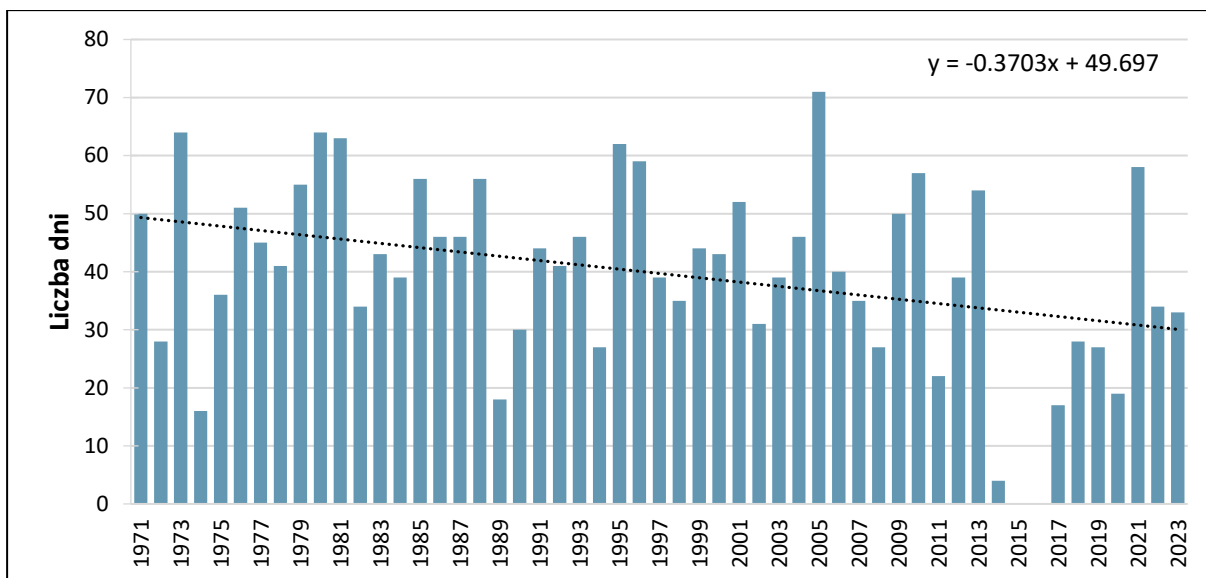
Średnia roczna liczba dni z pokrywą śnieżną w Raciborzu wyniosła w wieloleciu 1991–2020 43 dni, co stanowiło spadek o 10 względem wielolecia 1981–2010 (53 dni) i o 9 względem wielolecia 1971–2000 (52 dni). W analizowanych latach (Rys. 20) liczba dni z pokrywą śnieżną wahała się od 95 dni w latach 1996 i 2010 do 0 dni w latach 2015 i 2016.



Rys. 20 Przebieg liczby dni z pokrywą śnieżną w Raciborzu w latach 1971–2024

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB.

Średnia roczna liczba dni z opadem śniegu w Raciborzu w latach 1971–2023 systematycznie spadała. W wieloleciach 1971–2000 i 1981–2010 wyniosła ona 44 dni, następnie w wieloleciu 1991–2020 zmalała do 37 dni. Międzyroczną zmienność tej wartości przedstawiono na Rys. 21.

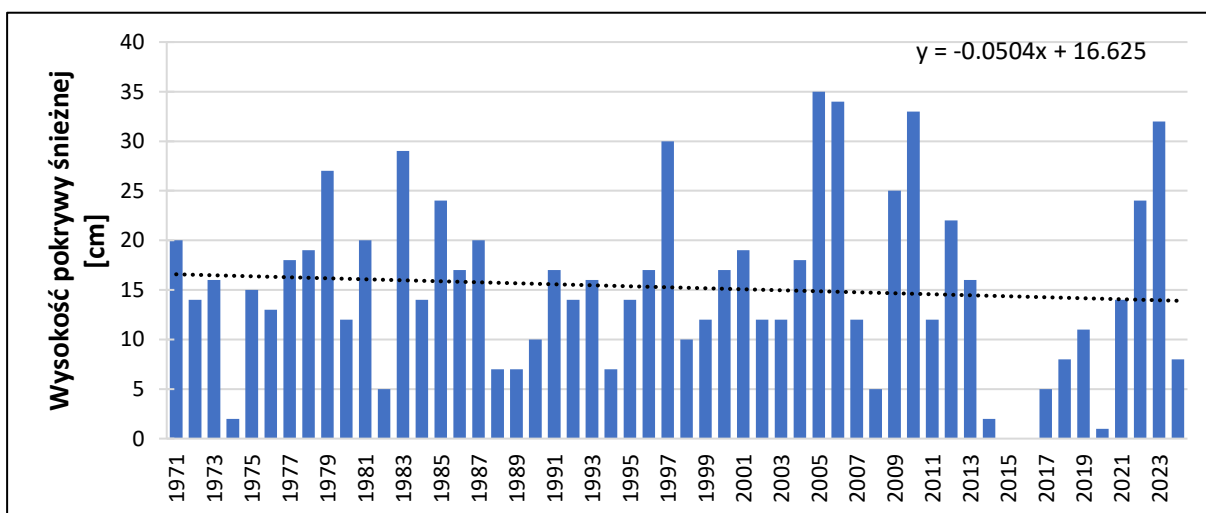


Rys. 21 Przebieg liczby dni z opadem śniegu w Raciborzu w latach 1971–2023\*

\*brak dostępnych danych za rok 2024

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB.

Średnia grubość pokrywy śnieżnej w Raciborzu w styczniu (1991–2020) wynosi 4,0 cm. Międzyroczną zmienność maksymalnej dobowej wartości miąższości pokrywy śnieżnej w Raciborzu przedstawiono na Rys. 22. Wartość absolutną maksymalną odnotowano w dniu 31.12.2005; wyniosła ona 35,0 cm.

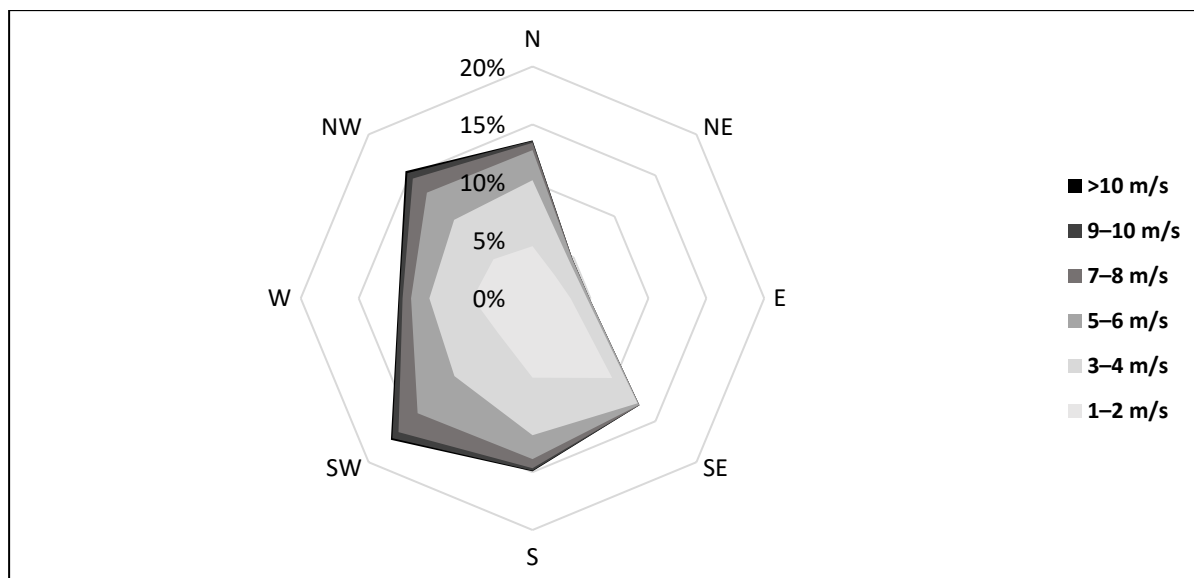


Rys. 22 Przebieg maksymalnej dobowej miąższości pokrywy śnieżnej w Raciborzu w latach 1971–2024

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB.

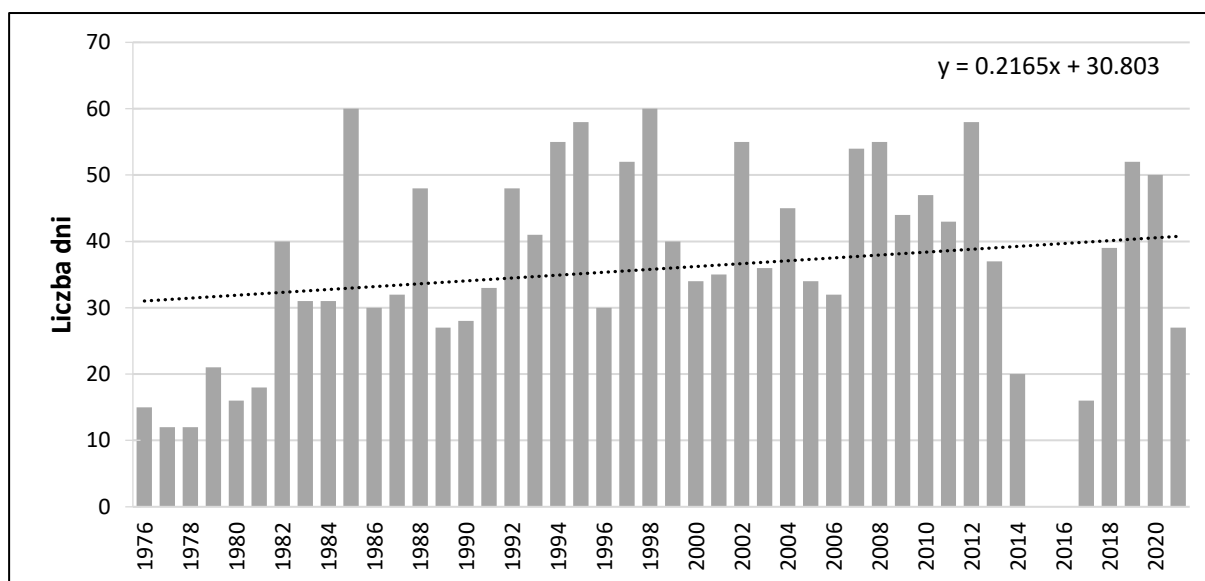
## 2.4. Inne elementy klimatu i zjawiska atmosferyczne

W Raciborzu zauważalna jest dominacja sływu powietrza z kierunków zachodnich. Przeważającymi kierunkami wiatru są południowo-zachodni (SW; 17,3%) i północno-zachodni (NW; 15,5%) (Rys. 23). Średnia prędkość wiatru w Raciborzu wynosi 3,2 m/s.



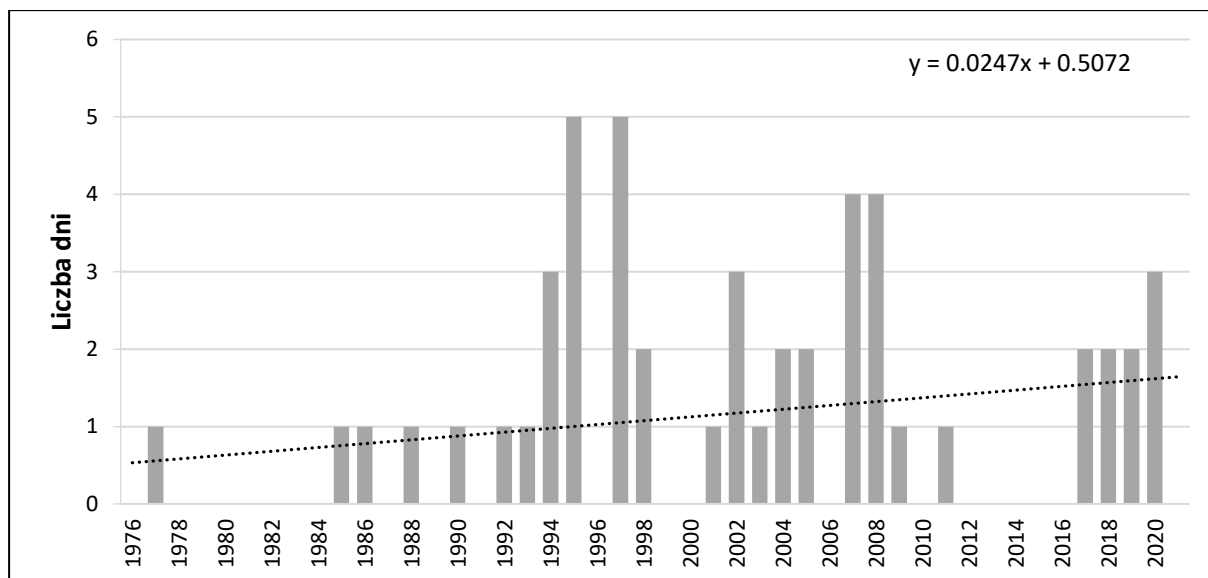
Rys. 23 Częstość kierunków wiatru w podziale na zakresy jego prędkości w Raciborzu (1991–2020)  
 Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB.

Średnia roczna liczba dni z porywem wiatru  $\geq 10$  m/s w Raciborzu w latach 1976–2021 systematycznie wzrastała. Międzyroczną zmienność tej wartości przedstawiono na Rys. 24.



Rys. 24 Przebieg liczby dni z porywem wiatru  $\geq 10$  m/s w Raciborzu w latach 1976–2021\*  
 \*brak dostępnych danych dla lat 1971–1975, 2015–2016 oraz 2022–2024  
 Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB.

Przebieg liczby dni z porywem wiatru  $\geq 15$  m/s w Raciborzu w latach 1976–2021 przedstawiono na Rys. 25. W analizowanych latach liczba takich dni wzrastała.

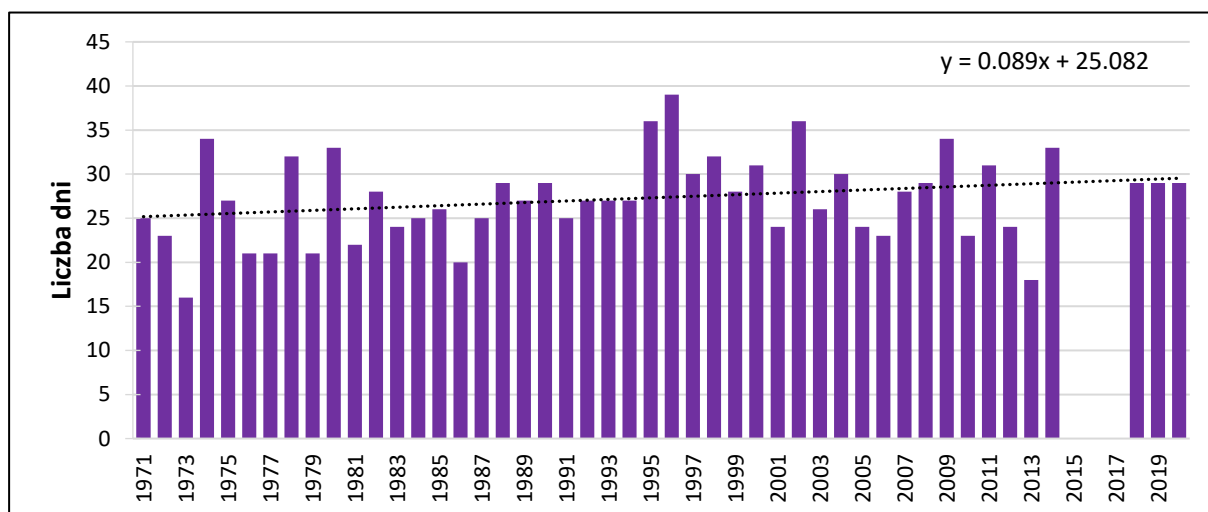


Rys. 25 Przebieg liczby dni z porywem wiatru  $\geq 15$  m/s w Raciborzu w latach 1976–2021\*

\*brak dostępnych danych dla lat 1971–1975, 2015–2016 oraz 2022–2024

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB.

Średnia roczna liczba dni z burzą w Raciborzu w latach 1971–2020 systematycznie wzrastała. Najwięcej dni z burzą wystąpiło tu w roku 1996 (39), a najmniej w roku 1973 – 6. Międzyroczną zmienność tej wartości przedstawiono na Rys. 26.

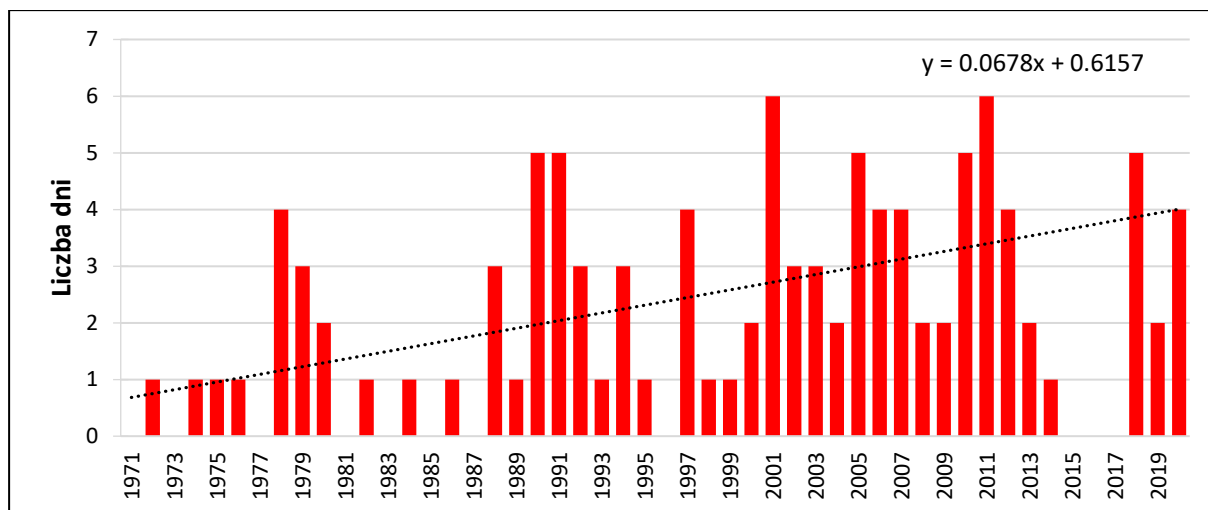


Rys. 26 Przebieg liczby dni z burzą w Raciborzu w latach 1971–2020\*

\*brak dostępnych danych dla lat 2015–2016 oraz 2021–2024

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB.

Przebieg liczby dni z gradem w Raciborzu w latach 1971–2020 przedstawiono na Rys. 27. W analizowanych latach, po wykluczeniu lat bez dostępności danych, zauważono wzrost omawianej wartości. Najwięcej dni z wystąpieniem gradu zauważono w latach 2001 i 2011 (6 takich dni).

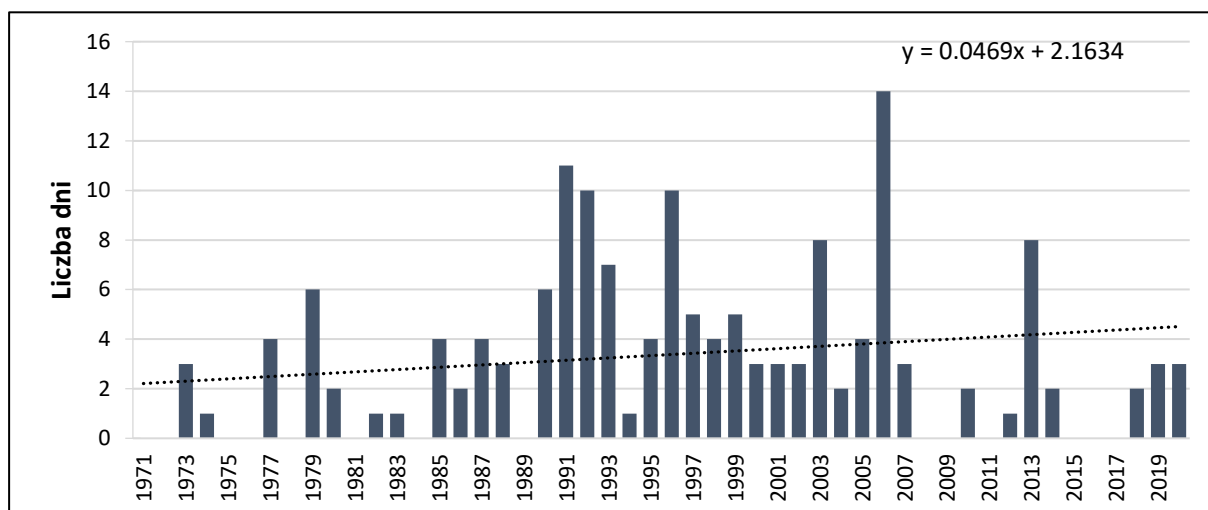


Rys. 27 Przebieg liczby dni z gradem w Raciborzu w latach 1971–2020\*

\*brak dostępnych danych dla lat 2015–2017 oraz 2021–2024

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB.

Międzyroczną zmienność liczby dni z gołoledzią w Raciborzu w latach 1971–2020 przedstawiono na Rys. 28. W przebiegu wartości zaobserwowano trend rosnący.



Rys. 28 Przebieg liczby dni z gołoledzią w Raciborzu w latach 1971–2020\*

\*brak dostępnych danych dla lat 2015–2017 oraz 2021–2024

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB.

### 3. Zmiany klimatu w Raciborzu prognozowane na podstawie danych modelowych

Prognozę zmian klimatu w Raciborzu oparto o dane modelowe opracowane dla scenariuszy klimatycznych RCP przez Instytut Ochrony Środowiska - Państwowy Instytut Badawczy (IOŚ-PIB) w ramach projektu Klimada 2.0 „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”, dostępne poprzez interaktywny portal IOŚ-PIB [<https://klimada2.ios.gov.pl/>].

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 danych przestrzennych (ang. *downscaling*). Celem uzyskania lepszej reprezentacji cech lokalnych wyniki prognoz regionalnych można poddać dalszemu procesowi downscalingu statystycznego z wykorzystaniem dostępnych obserwacji.

Wyniki modeli globalnych, będące podstawą opracowania Raportów Oceny IPCC (ang. *Intergovernmental Panel on Climate Change*, Międzyrządowy Zespół ds. Zmian Klimatu), stanowią informację referencyjną dla opracowań scenariuszy zmian klimatu. Aktualne wyniki pochodzą ze zbioru Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5). Na bazie tych wyników powstają projekcje regionalne w ramach międzynarodowej inicjatywy CORDEX, której częścią dla obszaru Europy jest EuroCORDEX. W ramach EuroCORDEX powstają wiązki (ang. *ensembles*) symulacji regionalnych modeli klimatycznych, w których wymuszeniem zewnętrznym są ogólne modele cyrkulacji (GCM) pochodzące ze zbioru CMIP5. Wynik modeli z repozytorium EuroCORDEX stanowią dane wejściowe do badań nad regionalnymi oddziaływaniami zmian klimatu w różnych sektorach w większości krajów europejskich.

Wzorując się na licznych doświadczeniach europejskich, warunki przyszłego klimatu dla obszaru Polski zostały opracowane w oparciu o symulacje klimatyczne udostępniane w ramach projektu EuroCORDEX. Wyniki EuroCORDEX dostępne są dla okresu 2011–2100 na siatce regularnej w rozdzielczości 0,11° (ok. 12,5 km).

Opracowane scenariusze noszą akronim RCP (ang. *Representative Concentrations Pathways*). Nazwy poszczególnych scenariuszy RCP pochodzą od przypisanych im wartości globalnego wymuszenia radiacyjnego w górnych warstwach atmosfery, prognozowanego na koniec XXI wieku (aktualnie 3 W/m<sup>2</sup>). Wielkość ta jest zależna od zawartości gazów cieplarnianych w atmosferze (średnio 410 ppm CO<sub>2</sub> w roku 2020).

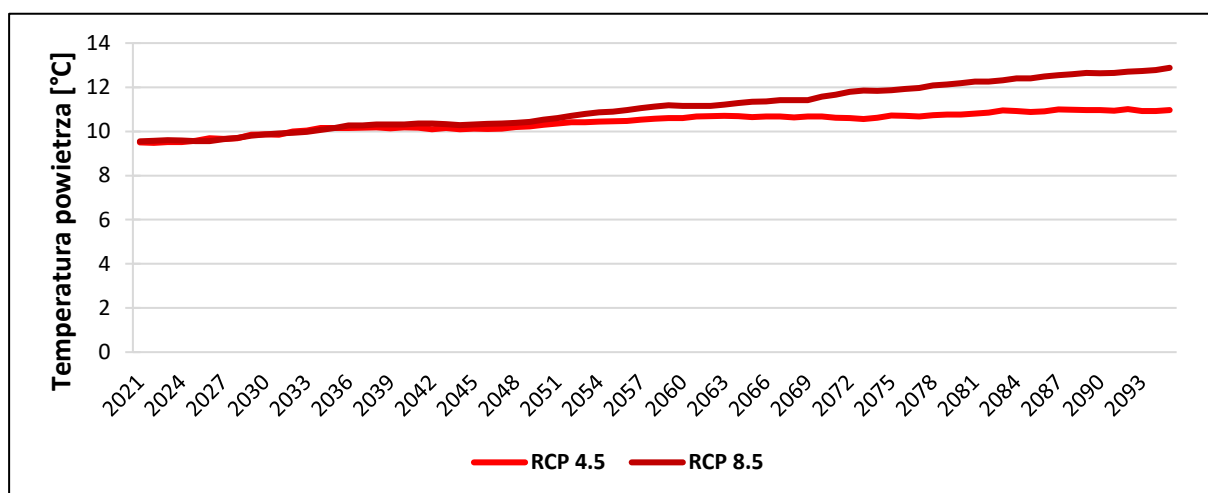
- Scenariusz RCP 4,5 – zakłada wprowadzanie nowych technologii w celu uzyskania wyższej niż obecnie redukcji emisji gazów cieplarnianych. Zakładany jest wyraźny spadek zawartości GHG (ang. *greenhouse gases*, gazy cieplarniane) w atmosferze w połowie stulecia oraz osiągnięcie w roku 2100 stężeń CO<sub>2</sub> na poziomie około 540 ppm i wymuszenia radiacyjnego na poziomie 4,5 W/m<sup>2</sup>. Scenariusz zakłada, że wzrost średniej temperatury globalnej pod koniec XXI wieku wyniesie około 2,5°C;

- Scenariusz RCP 8,5 – zakłada utrzymanie aktualnego tempa wzrostu emisji gazów cieplarnianych, w formule *business as usual*. Pod koniec wieku zakładane jest osiągnięcie stężeń CO<sub>2</sub> na poziomie około 940 ppm oraz wymuszenia radiacyjnego na poziomie 8,5 W/m<sup>2</sup>. Scenariusz zakłada wzrost średniej temperatury Ziemi o 4,5°C względem epoki przedindustrialnej, co z 95% prawdopodobieństwem oznacza nieodwracalną destabilizację klimatu Ziemi.

Poniżej omówiono prognozowane w latach 2021–2095 zmiany w charakterystyce klimatycznej Raciborza na podstawie danych modelowych dla dwóch scenariuszy: RCP 4,5 oraz RCP 8,5 dla powiatu raciborskiego, udostępnianych przez portal Klimada 2.0 [<https://klimada2.ios.gov.pl/>]. Dane udostępniane w postaci dziesięcioletnich średnich kroczących sprowadzono do formatu danych rocznych, przyjmując wartość średniej przypadającą na środek przedziału (tj. np. średnia dziesięcioletnia dla lat 2046–2055 została przypisana dla roku 2050, średnia dziesięcioletnia dla lat 2047–2056 dla roku 2051 itd.).

### 3.1. Temperatura powietrza

Analiza danych modelowych udostępnianych przez portal Klimada 2.0 (IOŚ-PIB) wykazała prognozowany systematyczny wzrost wartości średniej rocznej temperatury powietrza w Raciborzu w latach 2021–2095 (Rys. 29). Według scenariusza RCP 4,5 wartość ta wzrośnie od 9,6°C w roku 2021 do 11,0°C w roku 2095. Wartość średnia dla wielolecia 2021–2030 ma wynieść 9,6°C, dla wielolecia 2031–2040 10,1°C, a dla wielolecia 2041–2050 10,2°C. W świetle scenariusza RCP 8,5 wartość średniej rocznej temperatury powietrza w roku 2021 również osiąga 9,6°C, a w roku 2095 13,0°C. Średnie wieloletnie według tego scenariusza wynoszą kolejno: 9,6°C w 2021–2030, 10,2°C w 2031–2040 i 10,4°C w 2041–2050.



Rys. 29 Przebieg prognozowanej średniej rocznej temperatury powietrza w Raciborzu w latach 2021–2095  
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IOŚ-PIB (portal Klimada 2.0).

W przypadku scenariusza RCP 4,5 najchłodniejszym miesiącem w roku na obszarze Raciborza pozostanie styczeń (Tabela 3). Średnia miesięczna temperatura powietrza wyniesie wtedy -0,6°C w latach 2021–2030, 0,8°C w latach 2031–2040 i 0,4°C w latach 2041–2050. Kierunek zmian wartości względem poprzedniego wielolecia lub dekady wskazują zamieszczone w tabeli strzałki. Najcieplejszym miesiącem pozostanie lipiec, którego średnia miesięczna temperatura powietrza wyniesie 19,7°C w latach 2021–2030, 20,1°C w latach 2031–2040 i 20,3°C w latach 2041–2050. W tabeli przedstawiono

ponadto prognozowane wartości zmian średniej sezonowej temperatury powietrza w meteorologicznych porach roku.

Według scenariusza RCP 8,5 najchłodniejszym miesiącem również pozostanie styczeń, którego średnia miesięczna temperatura powietrza wyniesie w latach 2021–2030  $-0,8^{\circ}\text{C}$ , w latach 2031–2040  $0,1^{\circ}\text{C}$  i w latach 2041–2050  $0,2^{\circ}\text{C}$ . Najcieplejszym miesiącem również pozostanie lipiec, którego średnia miesięczna temperatura powietrza wyniesie  $19,6^{\circ}\text{C}$  w latach 2021–2030, a  $20,2^{\circ}\text{C}$  w latach 2031–2040 i 2041–2050.

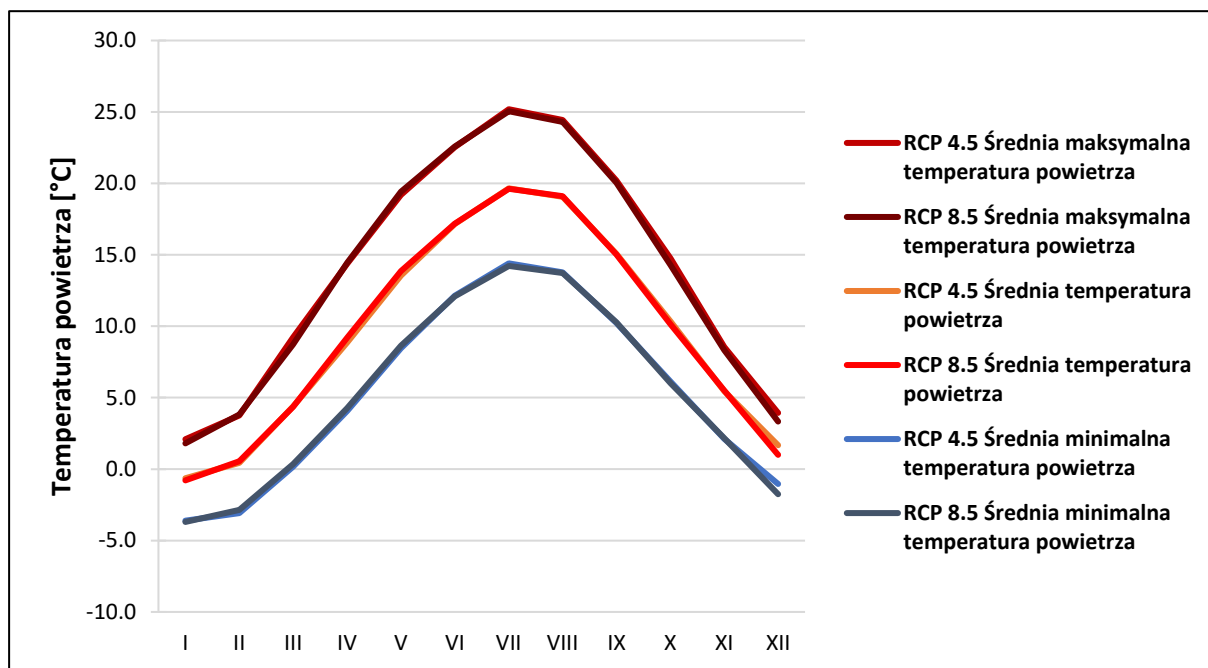
Tabela 3 Prognozowane zmiany w wybranych termicznych charakterystykach klimatologicznych dla Raciborza w świetle scenariuszy klimatycznych RCP (wielolecia 2021–2030, 2031–2040 i 2041–2050)

Charakterystyka klimatologiczna		Dane pomiarowe IMGW-PIB	Dane modelowe wg programu Klimada 2.0 (IOŚ-PIB)			
			1991–2020	Scenariusz	2021–2030	2031–2040
Średnia temperatura powietrza [ $^{\circ}\text{C}$ ]	Najchłodniejszy miesiąc	-0,9 (styczeń)	RCP 4.5	-0,6 (↗)	0,8 (↗)	0,4 (↘)
			RCP 8.5	-0,8 (↗)	0,1 (↗)	0,2 (↗)
	Najcieplejszy miesiąc	19,2 (lipiec)	RCP 4.5	19,7 (↗)	20,1 (↗)	20,3 (↗)
			RCP 8.5	19,6 (↗)	20,2 (↗)	20,2 (↔)
	Wiosna	9,1	RCP 4.5	8,9 (↘)	9,5 (↗)	9,3 (↘)
			RCP 8.5	9,1 (↗)	9,6 (↗)	9,8 (↗)
	Lato	18,5	RCP 4.5	18,6 (↗)	19,1 (↗)	19,4 (↗)
			RCP 8.5	18,6 (↗)	19,1 (↗)	19,3 (↗)
	Jesień	9,5	RCP 4.5	10,3 (↗)	10,6 (↗)	10,6 (↔)
			RCP 8.5	10,2 (↗)	10,8 (↗)	11,0 (↗)
	Zima	0,0	RCP 4.5	0,5 (↗)	1,5 (↗)	1,2 (↘)
			RCP 8.5	0,3 (↗)	1,1 (↗)	1,2 (↗)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB oraz IOŚ-PIB (portal Klimada 2.0).

Miesięczny przebieg prognozowanej średniej, minimalnej i maksymalnej miesięcznej temperatury powietrza dla dwóch scenariuszy klimatycznych RCP w Raciborzu w latach 2021–2030 przedstawia Rys. 30. Według ww. scenariuszy, średnie sezonowe wartości temperatury powietrza w omawianym wieloleciu prezentować się będą następująco:

- Wiosna – RCP 4,5: 8,9°C; RCP 8,5: 9,1°C;
- Lato – RCP 4,5: 18,6°C; RCP 8,5: 18,6°C;
- Jesień – RCP 4,5: 10,3°C; RCP 8,5: 10,2°C;
- Zima – RCP 4,5: 0,5°C; RCP 8,5: 0,3°C.

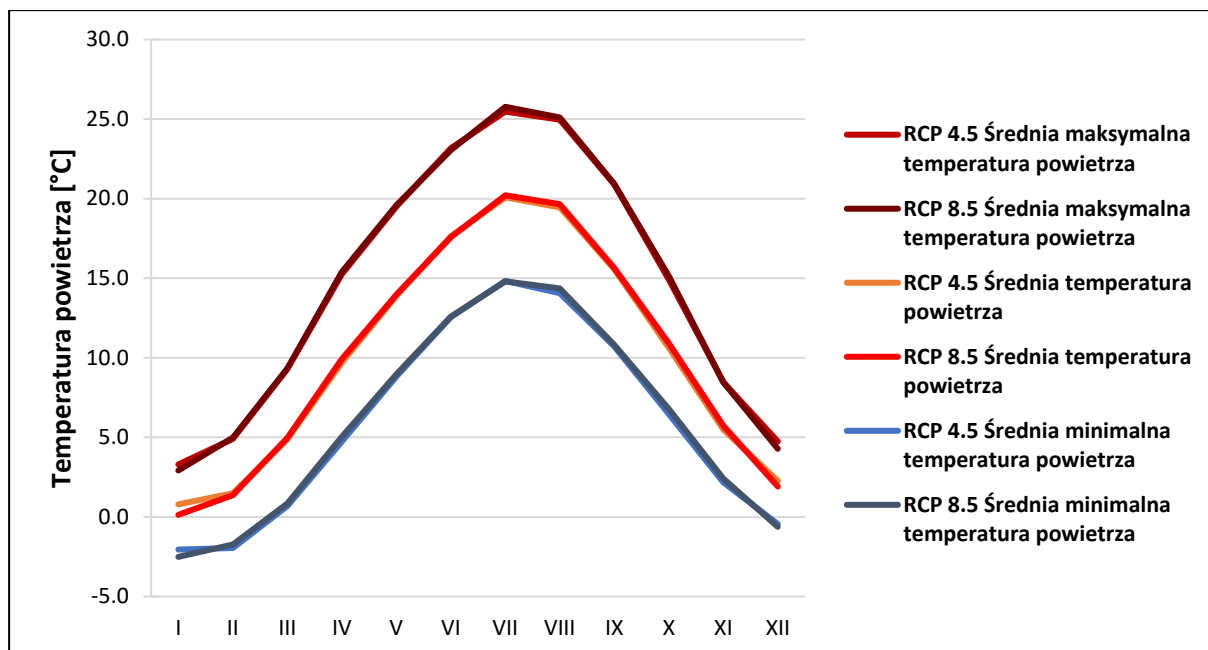


Rys. 30 Przebieg miesięczny prognozowanej średniej, minimalnej i maksymalnej temperatury powietrza w Raciborzu w latach 2021–2030

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IOŚ-PIB (portal Klimada 2.0).

Miesięczny przebieg prognozowanej średniej, minimalnej i maksymalnej miesięcznej temperatury powietrza dla dwóch scenariuszy klimatycznych RCP w Raciborzu w latach 2031–2040 przedstawia Rys. 31. Według ww. scenariuszy, średnie sezonowe wartości temperatury powietrza w omawianym wieloleciu prezentować się będą następująco:

- Wiosna – RCP 4,5: 9,5°C; RCP 8,5: 9,6°C;
- Lato – RCP 4,5: 19,1°C; RCP 8,5: 19,1°C;
- Jesień – RCP 4,5: 10,6°C; RCP 8,5: 10,8°C;
- Zima – RCP 4,5: 1,5°C; RCP 8,5: 1,1°C.

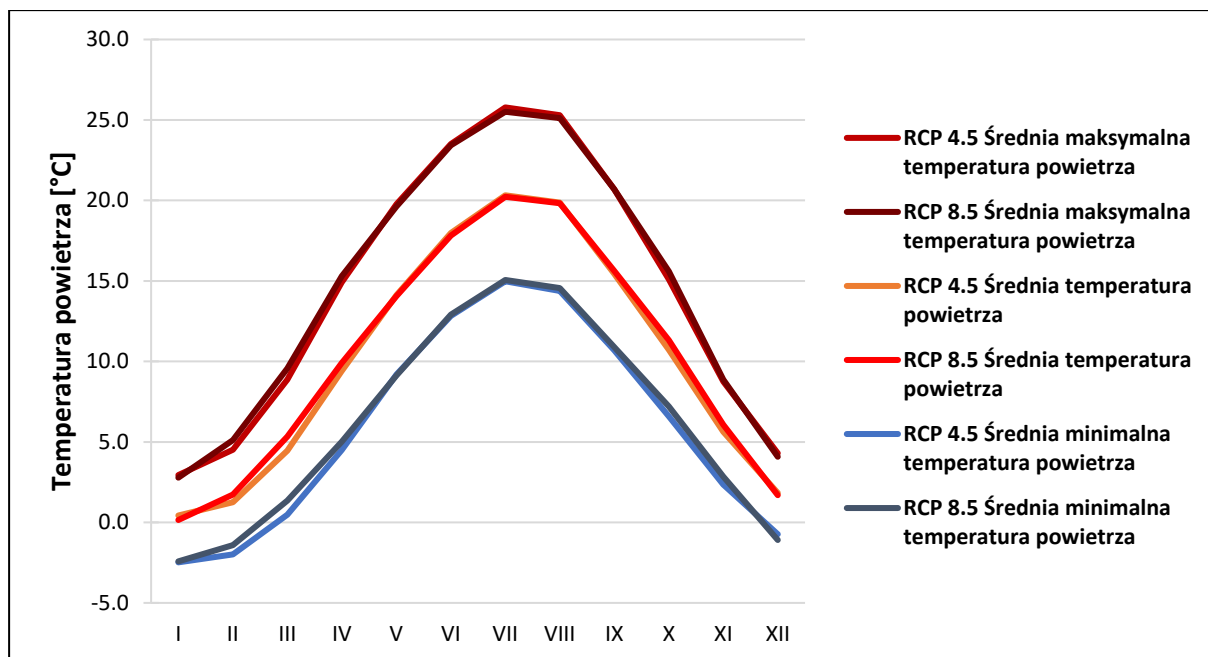


Rys. 31 Przebieg miesięczny prognozowanej średniej, minimalnej i maksymalnej temperatury powietrza w Raciborzu w latach 2031–2040

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IOŚ-PIB (portal Klimada 2.0).

Miesięczny przebieg prognozowanej średniej, minimalnej i maksymalnej miesięcznej temperatury powietrza dla dwóch scenariuszy klimatycznych RCP w Raciborzu w latach 2041–2050 przedstawia Rys. 32. Według ww. scenariuszy, średnie sezonowe wartości temperatury powietrza w omawianym wieloleciu prezentować się będą następująco:

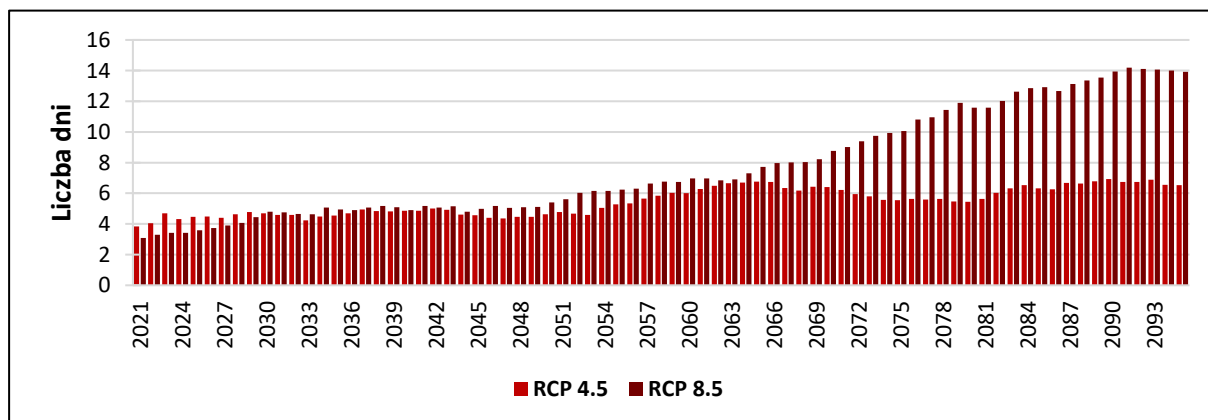
- Wiosna – RCP 4,5: 9,3°C; RCP 8,5: 9,8°C;
- Lato – RCP 4,5: 19,4°C; RCP 8,5: 19,3°C;
- Jesień – RCP 4,5: 10,6°C; RCP 8,5: 11,0°C;
- Zima – RCP 4,5: 1,2°C; RCP 8,5: 1,2°C.



Rys. 32 Przebieg miesięczny prognozowanej średniej, minimalnej i maksymalnej temperatury powietrza w Raciborzu w latach 2041–2050

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IOŚ-PIB (portal Klimada 2.0).

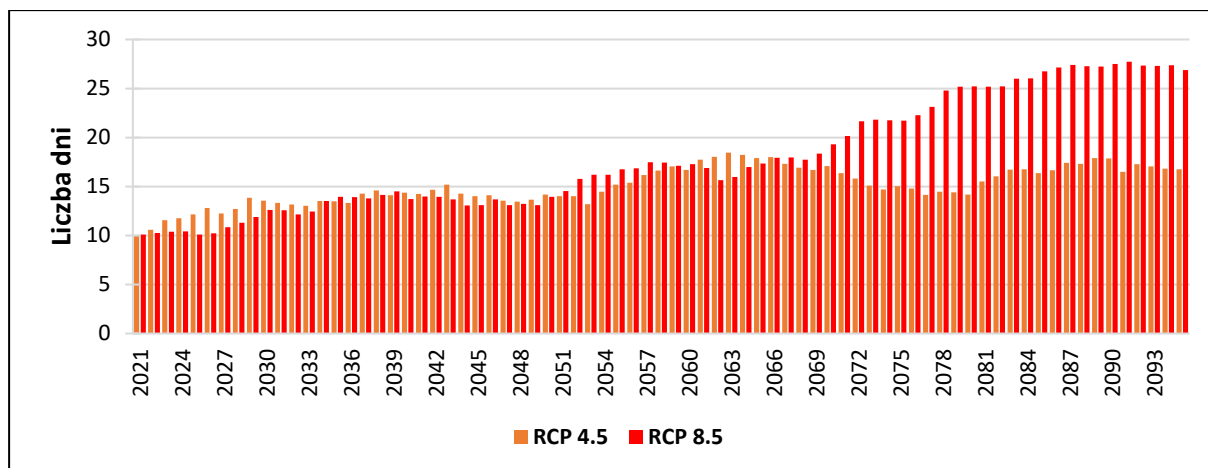
Roczny przebieg prognozowanej liczby nocy tropikalnych dla dwóch scenariuszy klimatycznych RCP w Raciborzu w latach 2021–2095 przedstawia Rys. 33. Według scenariusza RCP 4,5 liczba ta będzie wahała się od 3 do 7 takich nocy; według scenariusza RCP 8,5 natomiast od 3 do 14 nocy. Rozbieżność między projekcjami uwydatnia się po roku 2060, kiedy obserwowany jest silny wzrost liczby nocy tropikalnych według RCP 8,5, a nieznaczny spadek i następnie wzrost według RCP 4,5.



Rys. 33 Przebieg prognozowanej średniej rocznej liczby nocy tropikalnych w Raciborzu w latach 2021–2095

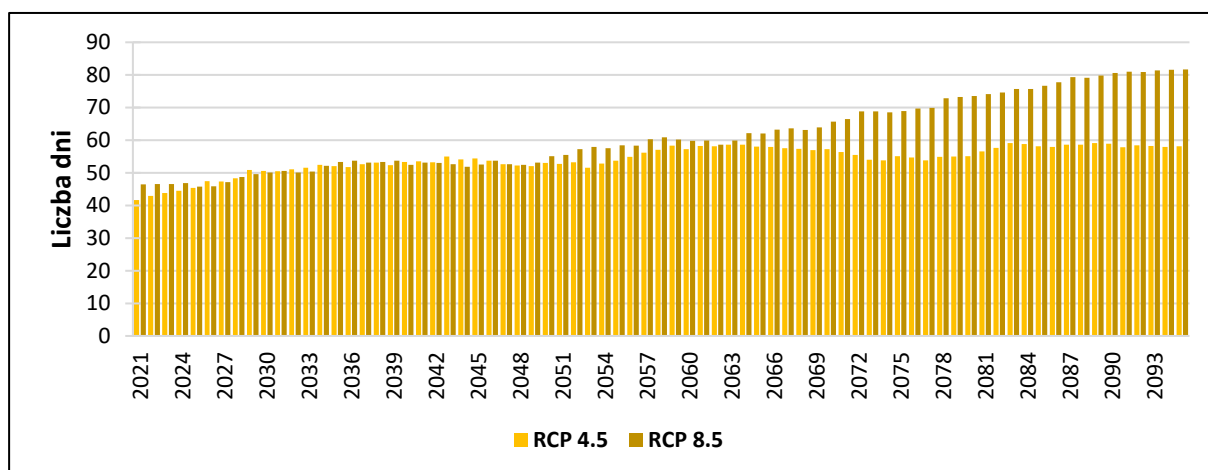
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IOŚ-PIB (portal Klimada 2.0).

Projekcję średniej rocznej liczby dni upalnych według dwóch scenariuszy klimatycznych dla Raciborza (lata 2021–2095) przedstawia Rys. 34. Według scenariusza RCP 4,5 liczba dni upalnych będzie wahać się od 10 na początku okresu projekcji do 18 w roku 2063 i z końcem czasu trwania projekcji; według scenariusza RCP 8,5 natomiast liczba ta będzie wahać się od 10 do 28 dni.



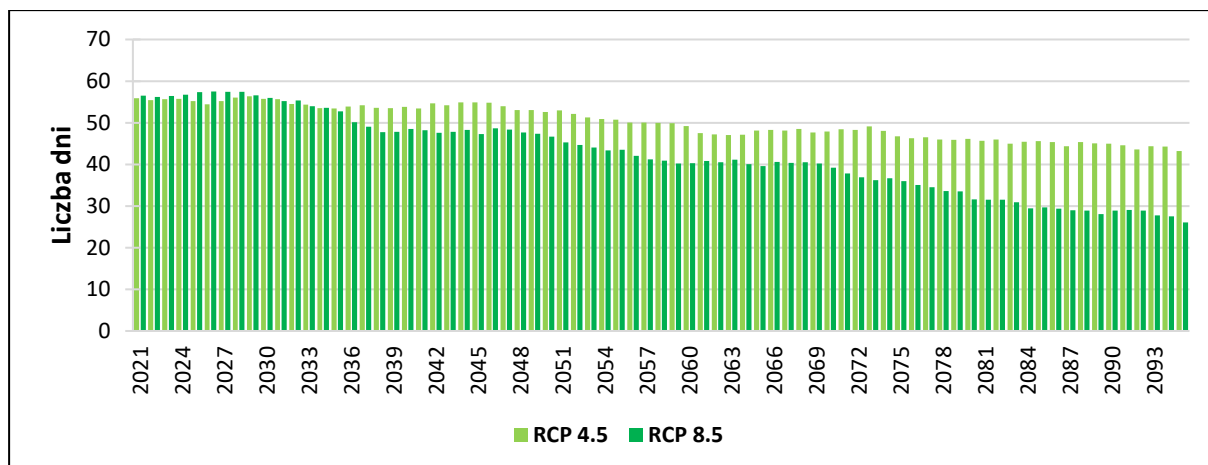
Rys. 34 Przebieg prognozowanej średniej rocznej liczby dni upalnych w Raciborzu w latach 2021–2095  
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IOŚ-PIB (portal Klimada 2.0).

Prognozowany roczny przebieg liczby dni gorących w świetle dwóch scenariuszy klimatycznych dla Raciborza (2021–2095) przedstawiono na Rys. 35. Według scenariusza RCP 4,5 liczba takich dni będzie wahać się od 42 do 59; według scenariusza RCP 8,5 natomiast od 46 do 82. Podobnie jak w przypadku pozostałych dni charakterystycznych klimatologicznie, zauważana jest zdecydowana rozbieżność scenariuszy po roku 2060.



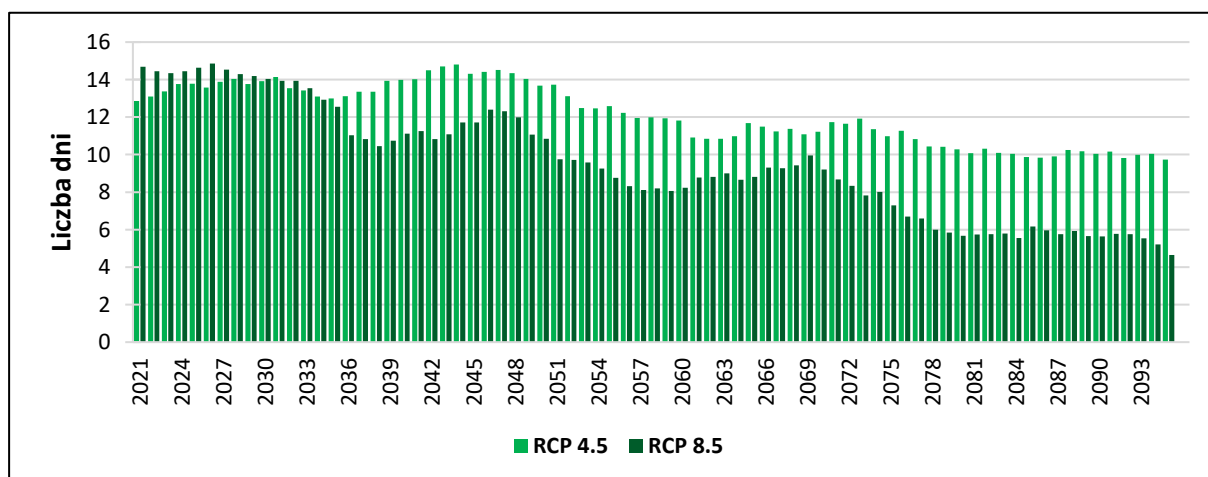
Rys. 35 Przebieg prognozowanej średniej rocznej liczby dni gorących w Raciborzu w latach 2021–2095  
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IOŚ-PIB (portal Klimada 2.0).

Rys. 36 przedstawia przebieg rocznej liczby dni z przymrozkiem w świetle dwóch scenariuszy klimatycznych dla Raciborza w latach 2021–2095. Oba scenariusze prognozują spadek liczby dni z przymrozkiem, w przypadku RCP 8,5 będzie on jednak wyraźniejszy. W świetle RCP 4,5 roczna liczba dni z przymrozkiem będzie wahała się od 56 do 43; według RCP 8,5 natomiast od 58 do 26.



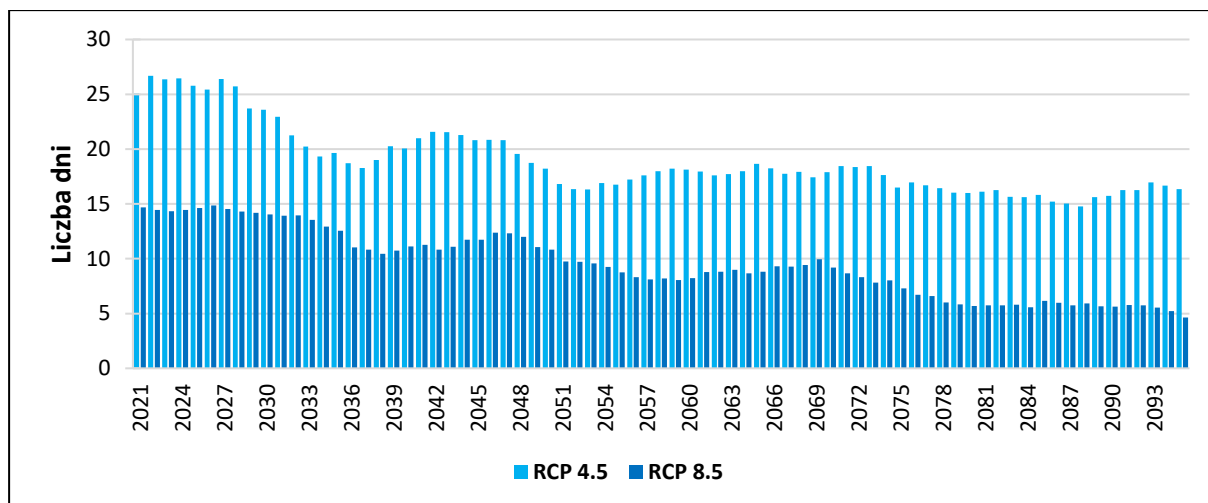
Rys. 36 Przebieg prognozowanej średniej rocznej liczby dni z przymrozkiem w Raciborzu w latach 2021–2095  
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IOŚ-PIB (portal Klimada 2.0).

Szczególnie istotne dla rolnictwa są przymrozki wiosenne, których prognozowany przebieg w świetle dwóch scenariuszy klimatycznych na obszarze Raciborza (2021–2095) przedstawia Rys. 37. W przypadku RCP 4,5 roczna liczba dni z przymrozkiem wiosennym wahać się będzie od 15 do 10; w przypadku RCP 8,5 natomiast od 15 do 5.



Rys. 37 Przebieg prognozowanej średniej rocznej liczby dni z przymrozkiem wiosennym w Raciborzu w latach 2021–2095  
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IOŚ-PIB (portal Klimada 2.0).

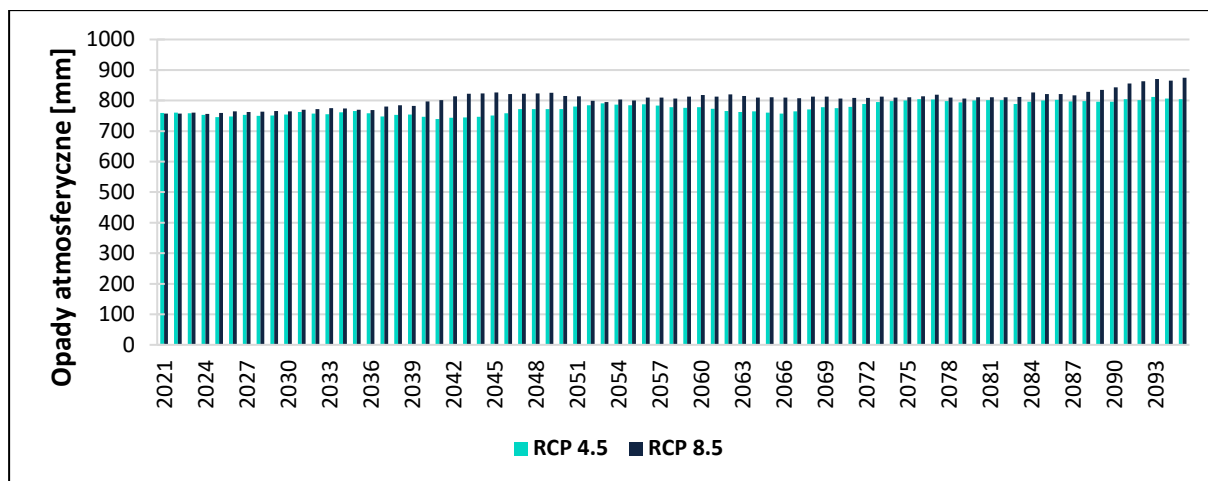
Roczny przebieg prognozowanej liczby dni mroźnych w Raciborzu dla lat 2021–2095 przedstawia Rys. 38. W czasie trwania projekcji obserwowana jest znaczna rozbieżność między scenariuszami klimatycznymi. Według RCP 4,5 liczba takich dni w omawianym wieloleciu wahać się będzie między 27 a 16 dniami. Scenariusz RCP 8,5 prognozuje zmienność liczby takich dni od 28 do zaledwie 6 w końcu obowiązywania projekcji.



Rys. 38 Przebieg prognozowanej średniej rocznej liczby dni mroźnych w Raciborzu w latach 2021–2095  
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IOŚ-PIB (portal Klimada 2.0).

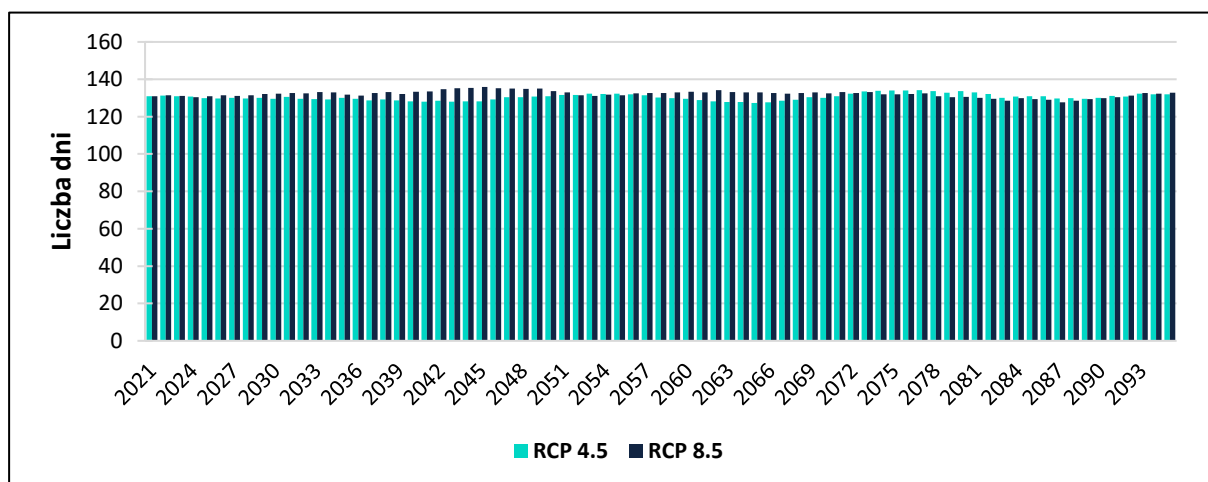
### 3.2. Opady atmosferyczne

Prognozowany przebieg rocznej sumy opadów atmosferycznych w Raciborzu na lata 2021–2095 przedstawia Rys. 39. Według scenariusza RCP 4,5 wartość ta wyniesie około 759,5 mm w roku 2021, a następnie będzie fluktuować, aby osiągnąć wartość maksymalną 804,2 mm w roku 2095. Podobnie scenariusz RCP 8,5 zakłada fluktuacje, jednak ze znacznym wzrostem wartości w ostatnich latach trwania projekcji. Według RCP 8,5 roczna suma opadów atmosferycznych w roku 2095 ma wynieść około 874,3 mm.



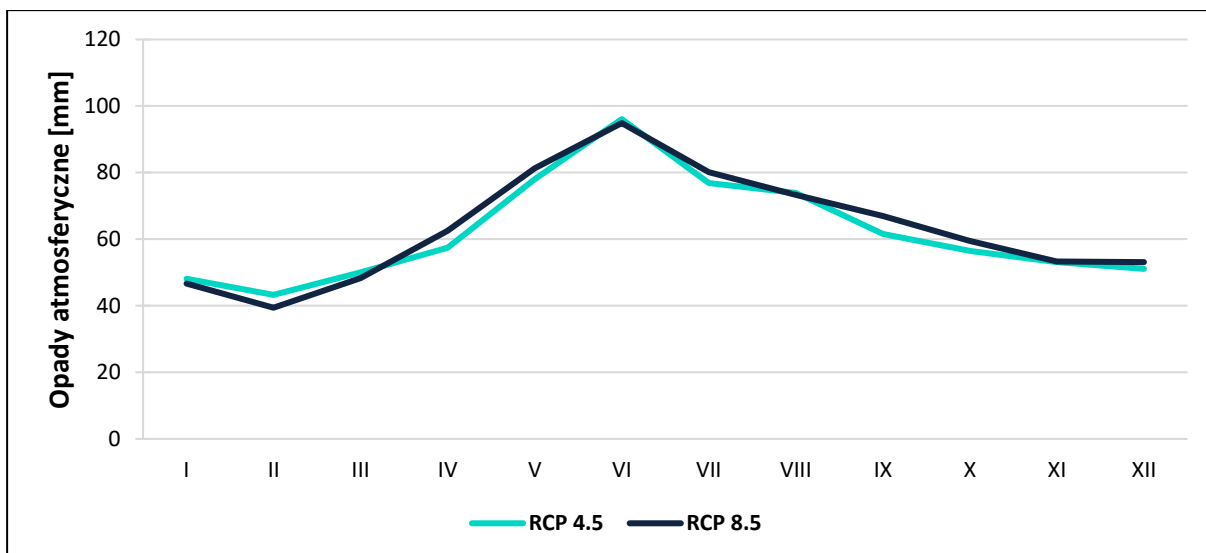
Rys. 39 Przebieg prognozowanej rocznej sumy opadów atmosferycznych w Raciborzu w latach 2021–2095  
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IOŚ-PIB (portal Klimada 2.0).

Rys. 40 przedstawia prognozowany roczny przebieg liczby dni z opadem w Raciborzu w latach 2021–2095. W przypadku RCP 4,5 roczna liczba dni z opadem waha się od 128 do 134; w przypadku RCP 8,5 zaś od 128 do 135.



Rys. 40 Przebieg prognozowanej rocznej liczby dni z opadem w Raciborzu w latach 2021–2095  
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IOŚ-PIB (portal Klimada 2.0).

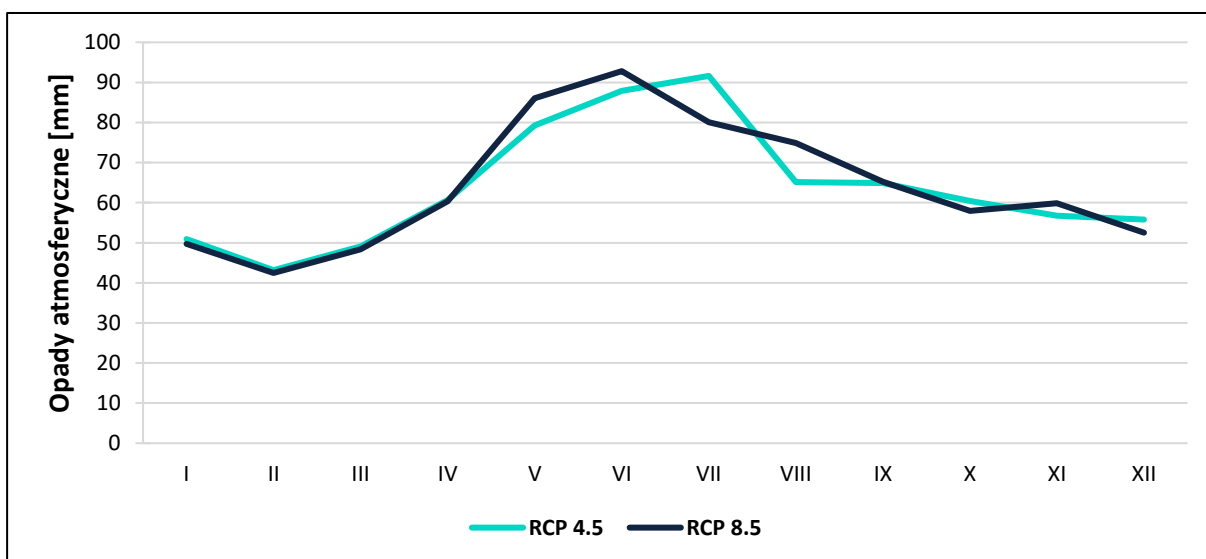
Prognozowany przebieg miesięcznej sumy opadów atmosferycznych w Raciborzu w latach 2021–2030 przedstawia Rys. 41. W omawianym wieloleciu średnia roczna suma opadów atmosferycznych ma wynieść 746,0 mm (RCP 4,5) lub 759,5 mm (RCP 8,5), czyli kolejno o 146,0 i 159,5 mm więcej od średniej za lata 1991–2020 (600,0 mm). Tak duża różnica wynika z niedoskonałości danych modelowych i nie powinna być uwzględniana w porównaniach.



Rys. 41 Przebieg prognozowanej średniej miesięcznej sumy opadów atmosferycznych w Raciborzu w latach 2021–2030

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IOŚ-PIB (portal Klimada 2.0).

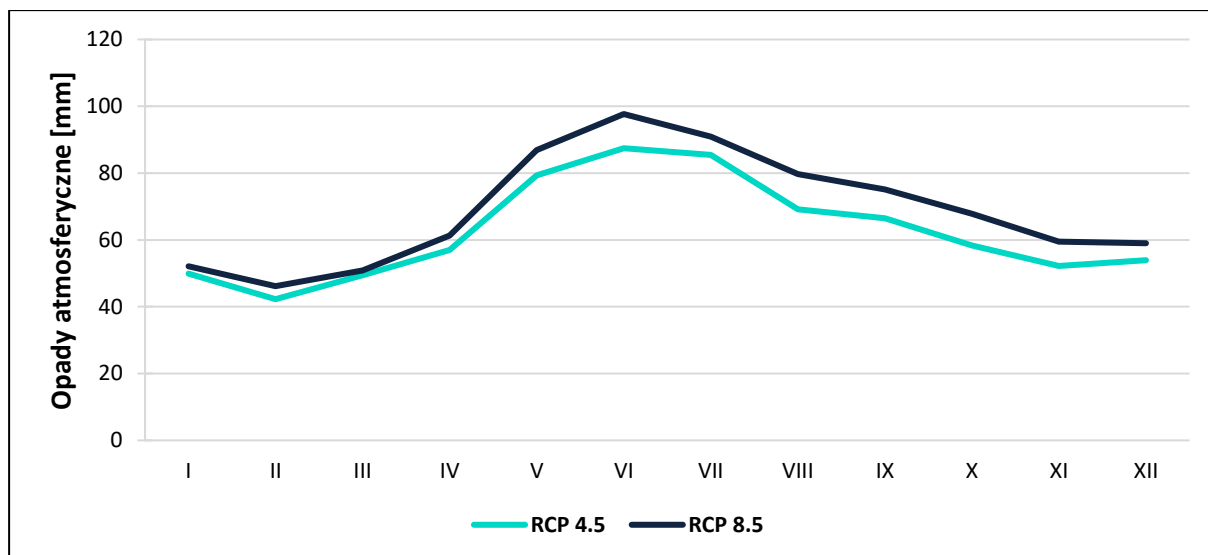
Rys. 42 przedstawia prognozowany przebieg miesięcznej sumy opadów atmosferycznych w Raciborzu w latach 2031–2040.



Rys. 42 Przebieg prognozowanej średniej miesięcznej sumy opadów atmosferycznych w Raciborzu w latach 2031–2040

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IOŚ-PIB (portal Klimada 2.0).

Przebieg prognozowanej na lata 2041–2050 średniej miesięcznej sumy opadów w Raciborzu przedstawia Rys. 43.



Rys. 43 Przebieg prognozowanej średniej miesięcznej sumy opadów atmosferycznych w Raciborzu w latach 2041–2050

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IOŚ-PIB (portal Klimada 2.0).

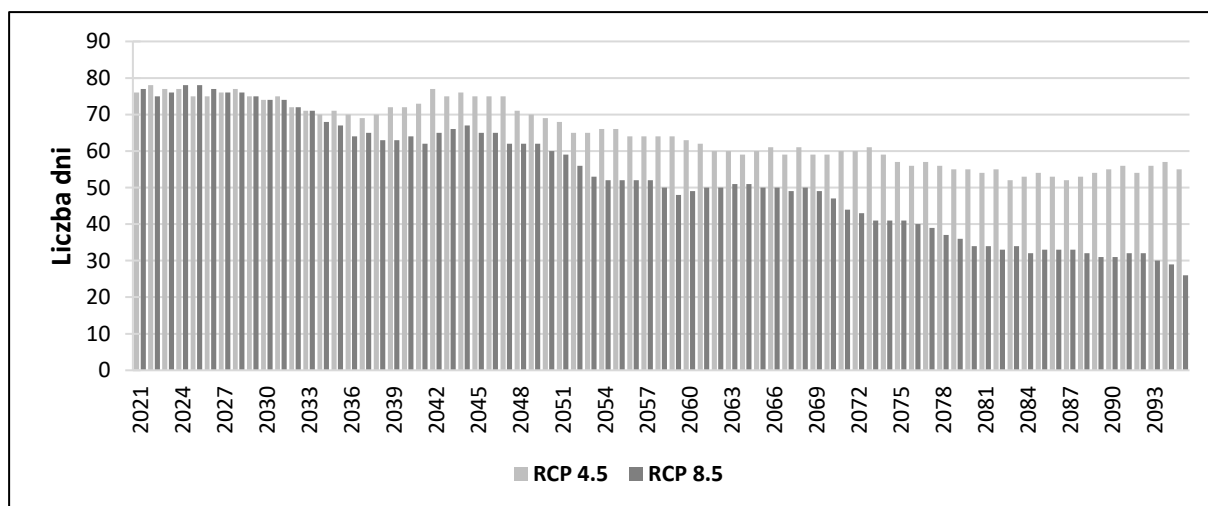
Charakterystyki prognozowanych zmian w pluwialnych dniach charakterystycznych przedstawiono w Tabeli 4. Projekcje zmian należy traktować z dystansem, jako że projekt Klimada 2.0 nie wyróżnia zjawiska śladu opadu. Niemniej, prognozowane wartości charakterystyk wskazują na dalsze rozchwianie systemu klimatycznego, ze wzrostem częstości występowania okresów bezopadowych oraz trudno przyswajalnych przez glebę opadów nawalnych.

Tabela 4 Prognozowane zmiany w wybranych pluwialnych charakterystykach klimatologicznych dla Raciborza w świetle scenariuszy klimatycznych RCP (wielolecia 2021–2030, 2031–2040 i 2041–2050)

Charakterystyka klimatologiczna	Dane pomiarowe IMGW-PIB 1991–2020	Dane modelowe wg programu Klimada 2.0 (IOŚ-PIB)			
		Scenariusz	2021–2030	2031–2040	2041–2050
Liczba dni bez opadu	205	RCP 4.5	235 (↗)	236 (↗)	236 (↔)
		RCP 8.5	234 (↗)	232 (↘)	230 (↘)
Liczba dni z opadem dziennym $RR \geq 1,0$ mm	81	RCP 4.5	131 (↗)	130 (↘)	130 (↔)
		RCP 8.5	132 (↗)	133 (↗)	135 (↗)
Liczba dni z opadem dziennym $RR \geq 10,0$ mm	15	RCP 4.5	18 (↗)	18 (↔)	18 (↔)
		RCP 8.5	18 (↗)	18 (↔)	20 (↗)
Liczba dni z opadem dziennym $RR \geq 20,0$ mm	brak danych	RCP 4.5	4	4 (↔)	5 (↗)
		RCP 8.5	4	5 (↗)	5 (↔)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB oraz IOŚ-PIB (portal Klimada 2.0).

Prognozowany przebieg średniej rocznej liczby dni z pokrywą śnieżną w Raciborzu w świetle dwóch scenariuszy klimatycznych (2021–2095) przedstawia Rys. 44. Oba scenariusze prognozują systematyczny spadek (przy niewielkich fluktuacjach w przebiegu) liczby takich dni w omawianym wieloleciu. Scenariusz RCP 4,5 prognozuje 55 dni z pokrywą śnieżną w końcu trwania projekcji; RCP 8,5 – 26. Wartości uśrednione dla dziesięcioleci przedstawiono w Tabela 5.



Rys. 44 Przebieg prognozowanej średniej rocznej liczby dni z pokrywą śnieżną w Raciborzu w latach 2021–2095

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IOŚ-PIB (portal Klimada 2.0).

Prognozowaną dla lat 2021–2030, 2031–2040 i 2041–2050 średnią grubość pokrywy śnieżnej w styczniu w Raciborzu przedstawiono w Tabela 5. Oba rozpatrywane scenariusze klimatyczne zakładają spadek jej wartości w nierównomiernym tempie. Zawyżone wartości liczby dni z pokrywą śnieżną dla dziesięciolecia 2021–2030 w stosunku do wielolecia 1991–2020 wynikają przede wszystkim

z dużej zmienności warunków pluwialnych i niwalnych w obrębie obszaru badań oraz rozdzielczości przestrzennej dostępnych danych.

Tabela 5 Prognozowane zmiany w wybranych niwalnych charakterystykach klimatologicznych dla Raciborza w świetle scenariuszy klimatycznych RCP (wielolecia 2021–2030, 2031–2040 i 2041–2050)

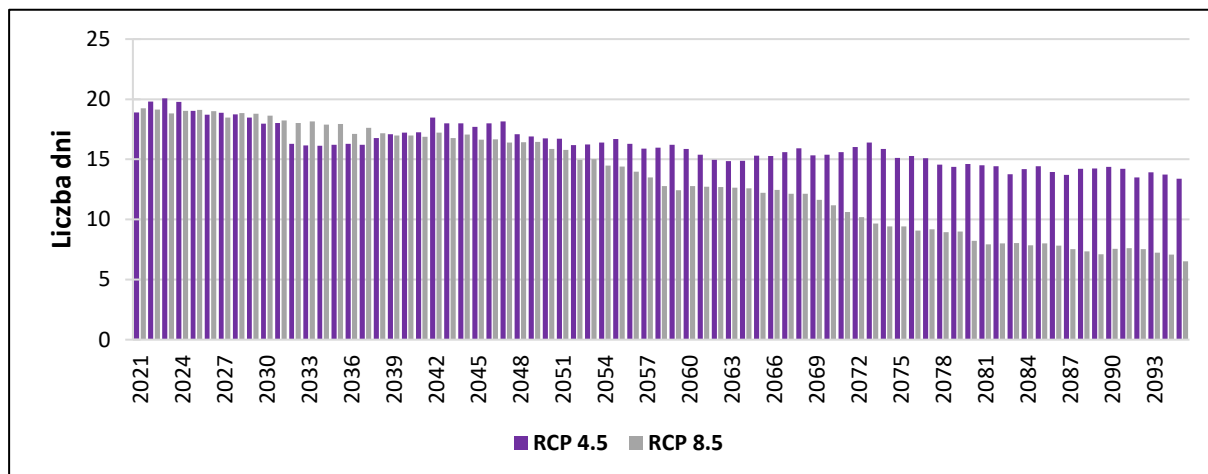
Charakterystyka klimatologiczna	Dane pomiarowe IMGW-PIB	Dane modelowe wg programu Klimada 2.0 (IOŚ-PIB)			
	1991–2020	Scenariusz	2021–2030	2031–2040	2041–2050
Liczba dni z pokrywą śnieżną	43	RCP 4.5	76*	71 (↓)	74 (↗)
		RCP 8.5	76*	67 (↓)	64 (↓)
Średnia grubość pokrywy śnieżnej (styczeń) [cm]	4,0	RCP 4.5	5,0*	4,1 (↓)	4,2 (↗)
		RCP 8.5	5,3*	4,3 (↓)	3,6 (↓)

\*duża rozbieżność między danymi pomiarowymi a modelowymi wynika z dużej zmienności przestrzennej charakterystyk niwalnych

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB oraz IOŚ-PIB (portal Klimada 2.0).

### 3.3. Inne elementy klimatu i zjawiska atmosferyczne

Prognozowana międzyroczna zmienność liczby dni z gołoledzią (2021–2095) w Raciborzu przedstawiona została na Rys. 45. Oba scenariusze zakładają postępujący spadek liczby dni z gołoledzią. W świetle RCP 4,5 liczba takich dni będzie wynosiła około 13, a w świetle RCP 8,5 – 7 takich dni z końcem obowiązywania projekcji.



Rys. 45 Przebieg prognozowanej średniej rocznej liczby dni z gołoledzią w Raciborzu w latach 2021–2095

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IOŚ-PIB (portal Klimada 2.0).

## 4. Częściowa charakterystyka warunków hydrologicznych Raciborza

Charakterystyki hydrologicznej Raciborza dokonano w oparciu o dane pomiarowe z następujących stacji hydrologicznych IMGW-PIB (punktów wodowskazowych zlokalizowanych na ciekach):

- Racibórz-Miedonia (IMGW-PIB 150180060) na Odrze, położonej o około 3 kilometry w kierunku północnym od centrum miasta, powyżej której znajdują się suchy zbiornik przeciwpowodziowy, a także zrzuty wód opadowych, komunalnych lub przemysłowych;
- Bojanów (IMGW-PIB 150180040) na Psinie, położonej o około 8 kilometrów w kierunku południowo-zachodnim od centrum miasta, powyżej której znajdują się zrzuty wód opadowych, komunalnych lub przemysłowych, a na przebieg stanów wody wpływa zarastanie koryta rzecznego.

#### 4.1. Przepływy charakterystyczne

Wyróżniamy przepływy charakterystyczne główne, okresowe oraz konwencjonalne. Przepływy okresowe to przepływy o określonej sumowanej częstości lub czasie trwania (podawane w dniach lub % roku hydrologicznego, np.  $Q_{215}$  lub  $Q_{60\%}$ ) wraz z przepływami wyższymi lub niższymi (określane na podstawie zbiorów wartości natężenia przepływu), a przepływy konwencjonalne ustalane są na potrzeby związane z wykorzystaniem i ochroną zasobów wodnych lub ograniczeniem ich szkodliwego działania. Na potrzeby niniejszego opracowania dla wybranych posterunków wodowskazowych wyznaczono przepływy główne I i II stopnia.

Przepływy główne dotyczą przeciętnych i skrajnych wartości natężenia przepływu w wybranym posterunku wodowskazowym. Przepływy główne I stopnia charakteryzują zakres, w jakim zmieniają się przepływy w danym okresie (np. rok, półrocze, miesiąc<sup>1</sup>). Wyróżniamy następujące rodzaje przepływów głównych I stopnia:

- WQ (wielki przepływ, wartość maksymalna);
- SQ (średni przepływ, wartość średnia);
- ZQ (zwyczajny przepływ, wartość środkowa – mediana);
- NQ (przepływ niski, wartość minimalna).

Przepływy główne I stopnia dla wybranych, istotnych dla Raciborza stacji hydrologicznych przedstawiono w Tabeli 6.

Analiza przepływów głównych I stopnia pozwala też orientacyjnie wyróżnić lata, w których występować mogły istotniejsze wezbrania oraz zdarzenia powodziowe: 1997, 2010 i 2024 oraz lata, w których możliwe było występowanie głębokich niżówek: 2015 i 2022.

---

<sup>1</sup>Rok hydrologiczny zaczyna się z początkiem listopada i kończy w październiku.

Tabela 6 Przepływy główne I stopnia [m<sup>3</sup>/s] w wybranych punktach wodowskazowych otoczenia Raciborza

	Racibórz-Miedonia (Odra)				Bojanów (Psina)			
	WQ	SQ	ZQ	NQ	WQ	SQ	ZQ	NQ
1991	553,0	48,3	34,7	18,8	10,1	1,3	1,3	0,6
1992	348,0	58,8	33,9	9,4	6,2	1,4	1,3	0,4
1993	289,0	41,6	22,7	11,3	7,4	1,0	0,9	0,4
1994	420,0	56,4	38,2	10,9	3,1	0,9	0,9	0,3
1995	311,0	61,7	54,3	16,8	2,4	0,9	0,9	0,4
1996	858,0	87,9	49,2	20,4	49,4	2,0	1,2	0,6
1997	2800,0	98,7	47,2	25,3	81,0	2,1	1,2	0,7
1998	368,0	67,0	54,3	18,9	3,8	1,3	1,2	0,7
1999	683,0	66,4	46,0	18,4	4,8	1,1	1,1	0,6
2000	592,0	66,1	40,0	16,3	4,6	1,1	1,0	0,5
2001	603,0	87,8	56,2	25,0	12,5	1,5	1,2	0,8
2002	291,0	60,7	43,8	18,5	3,8	1,0	1,0	0,5
2003	204,0	44,8	38,7	12,0	7,4	0,9	1,0	0,3
2004	483,0	55,0	31,0	12,8	3,9	1,0	0,9	0,5
2005	567,0	60,0	40,9	16,4	10,7	1,1	1,0	0,6
2006	754,0	75,7	42,6	13,6	16,1	1,3	1,0	0,6
2007	718,0	53,0	35,4	10,5	13,1	1,0	1,0	0,4
2008	233,0	57,8	48,8	15,8	10,2	0,9	0,7	0,4
2009	483,0	68,4	39,4	17,7	13,1	1,4	1,0	0,5
2010	1890,0	123,9	69,9	26,7	26,4	3,2	2,4	0,9
2011	371,0	70,1	56,2	19,8	13,9	2,0	1,7	1,0
2012	223,0	43,5	26,4	14,6	7,7	1,2	1,2	0,5
2013	448,0	69,7	49,8	17,3	15,5	1,6	1,2	0,7
2014	565,0	49,6	32,3	22,7	11,8	1,4	1,2	0,7
2015	212,0	44,4	38,7	9,0	3,2	1,2	1,2	0,5
2016	204,0	42,4	29,8	11,1	7,4	1,0	0,9	0,4
2017	609,0	57,8	41,7	12,5	8,7	1,2	1,0	0,5
2018	238,0	40,8	34,4	13,9	2,9	0,8	0,8	0,3
2019	540,0	46,7	31,9	12,9	4,6	0,7	0,7	0,2
2020	628,0	82,9	46,9	16,1	24,4	1,6	0,6	0,4
2021	361,0	71,4	60,2	23,0	8,9	1,2	1,1	0,4
2022	125,0	37,1	34,5	14,7	6,6	0,8	0,7	0,3
2023	304,0	46,2	37,9	14,6	9,0	0,8	0,7	0,3
2024	1050,0	77,3	53,5	15,2	29,3	1,4	1,0	0,2

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB.

Dokładne określanie niżówek oraz wezbrań wymaga jednak przyjęcia ściśle ustanowionych kryteriów. Jednym z nich, wykorzystanym w niniejszym opracowaniu, jest kryterium hydrologiczne, zgodnie z którym przepływ graniczny pozwalający na „odcięcie” niżówki lub wezbrania stanowi jedną z wartości przepływu głównego II stopnia. Przepływy te wyznacza się na podstawie zbioru przepływów głównych I stopnia dla określonego wielolecia:

- ze strefy przepływów wysokich: WWQ, SWQ, ZWQ, NWQ;
- ze strefy przepływów średnich: WSQ, SSQ, ZSQ, NSQ;
- ze strefy przepływów zwyczajnych: WZQ, SZQ, ZZQ, NZQ;
- ze strefy przepływów niskich: WNQ, SNQ, ZNQ, NNQ.

Tabela 7 przedstawia przepływy główne II stopnia dla wybranych, istotnych dla Raciborza stacji hydrologicznych.

Tabela 7 Przepływy główne II stopnia [m<sup>3</sup>/s] w wybranych punktach wodowskazowych otoczenia Raciborza (1991–2020)

	Racibórz-Miedonia (Odra)	Bojanów (Psina)
WWQ	2800,0	81,0
SWQ	582,9	13,0
ZWQ	483,0	8,2
NWQ	204,0	2,4
WSQ	123,9	3,2
SSQ	62,9	1,3
ZSQ	59,4	1,2
NSQ	40,8	0,7
WZQ	69,9	2,4
SZQ	41,8	1,1
ZZQ	40,5	1,0
NZQ	22,7	0,6
WNQ	26,7	1,0
SNQ	16,2	0,5
ZNQ	16,2	0,5
NNQ	9,0	0,2

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB.

#### 4.2. Zmienność i gwałtowność przepływów

Do oceny zmienności i gwałtowności przepływów, tj. intensywności zmian wartości przepływu w czasie, służyć mogą wskaźniki oparte o charakterystyki statystyczne. Na potrzeby niniejszego opracowania dla wybranych punktów wodowskazowych obliczono współczynnik zmienności ( $C_v$ ) oraz współczynnik gwałtowności przepływów (ang. *Richards-Baker flashiness index*, RB index).

$$C_v = \frac{s}{Q_{\text{sr}}}, \text{ gdzie}$$

$C_v$  – współczynnik zmienności,

$s$  – odchylenie standardowe z przepływów w analizowanym okresie,

$Q_{\text{sr}}$  – średnia z przepływów w analizowanym okresie (Pociask-Karteczka, 2007).

W Tabela 8 przedstawiono sposób interpretacji zmienności przepływu według wskaźnika  $C_v$ .

Tabela 8 Interpretacja wartości współczynnika zmienności przepływów  $C_v$

Wartość $C_v$	Zmienność przepływów
$\geq 2,0$	bardzo duża
$<1,5; 2,0)$	duża
$<1,0; 1,5)$	średnia
$<0,5; 1,0)$	mała
$< 0,5$	bardzo mała

Źródło: Pociask-Karteczka, 2007.

$$RB\ index = \frac{\sum_{i=1}^n |q_i - q_{i-1}|}{\sum_{i=1}^n q_i}, \text{ gdzie}$$

$q_i$  – przepływ w danym dniu<sup>2</sup> [ $m^3/s$ ],

$q_{i-1}$  – przepływ w dniu poprzedzającym [ $m^3/s$ ] (Baker i in., 2004).

Wartości współczynników zmienności i gwałtowności przepływów dla wybranych, istotnych dla Raciborza stacji hydrologicznych przedstawiono w Tabeli 9.

Tabela 9 Wartości  $C_v$  i RB index w wybranych punktach wodowskazowych otoczenia Raciborza (1991–2020)

	Racibórz-Miedonia (Odra)	Bojanów (Psina)
$C_v$	1,3	1,4
RB index	0,180	0,181

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB.

Wybrane cieki (tj. Odra i Psina) na wysokości Raciborza charakteryzuje średnia zmienność i gwałtowność przepływów. W przypadku posterunku wodowskazowego w Miedonii, zlokalizowanego bezpośrednio poniżej suchego zbiornika przeciwpowodziowego Racibórz Dolny, przepływy są bardziej wyrównane ze względu na zarządzanie nimi w ramach instrumentów gospodarki wodnej.

#### 4.3. Charakterystyka okresów niżówkowych

Niżówkę definiujemy jako czas, w którym przepływy są równe lub niższe od założonej wartości progowej przepływu, zwanej również przepływem granicznym. Wartość przepływu granicznego można definiować za pomocą kryteriów hydrologicznych oraz gospodarczych (Ozga-Zielińska i Brzeziński, 1997). Pierwsze z nich opierają się o przepływy charakterystyczne w posterunku wodowskazowym, podczas gdy drugie rozumieją przepływ graniczny jako przepływ o określonym prawdopodobieństwie nieosiągnięcia. Inne metody wyróżniania wartości przepływu granicznego wykorzystują krzywe sum czasów trwania przepływów (np. Tallaksen i Van Lanen, 2004), objętość deficytu niżówki (np. Peters i in., 2003) czy krzywe opadania (np. Tokarczyk, 2001). W niniejszym opracowaniu wartość przepływu granicznego tożsama jest z wartością SNQ, która według Tokarczyk (2010) w warunkach naszego kraju jest zbliżona do najpopularniejszej wartości progowej kryterium gospodarczego,  $Q_{70}$ .

Przyczyną niżówek są okresy z deficytem zasilania cieku, wynikające z długotrwałych okresów bezopadowych, okresów zwiększonego parowania lub występowania długotrwałych mrozów.

<sup>2</sup>Współczynnik może być również obliczany dla miesięcy, lat...

Powodem niżówki może być też działalność człowieka, przejawiająca się między innymi nadmiernym poborem wody z cieków w celach gospodarczych lub przerzucaniem wód do innych dorzeczy (Pociask-Karteczka, 2007). Niżówki są ponadto ważnym wskaźnikiem suszy hydrologicznej (Tokarczyk, 2010).

Istnieją różne metody wyznaczania niżówek jako zdarzeń niezależnych, takie jak metoda średniej ruchomej, metoda bazująca na kryterium czasu trwania i objętości czy metoda ciągu kolejnych minimów (SPA) (Tokarczyk, 2010). W niniejszej pracy omówiono zmienność dni z przepływem dobowym nieprzekraczającym  $SNQ$ , tj.  $Q \leq SNQ$ . Dla wyznaczonych tak dni obliczono kolejno dobowe deficyty wody, korzystając ze wzoru:

$$S = (SNQ - Q) \cdot 86\,400, \text{ gdzie}$$

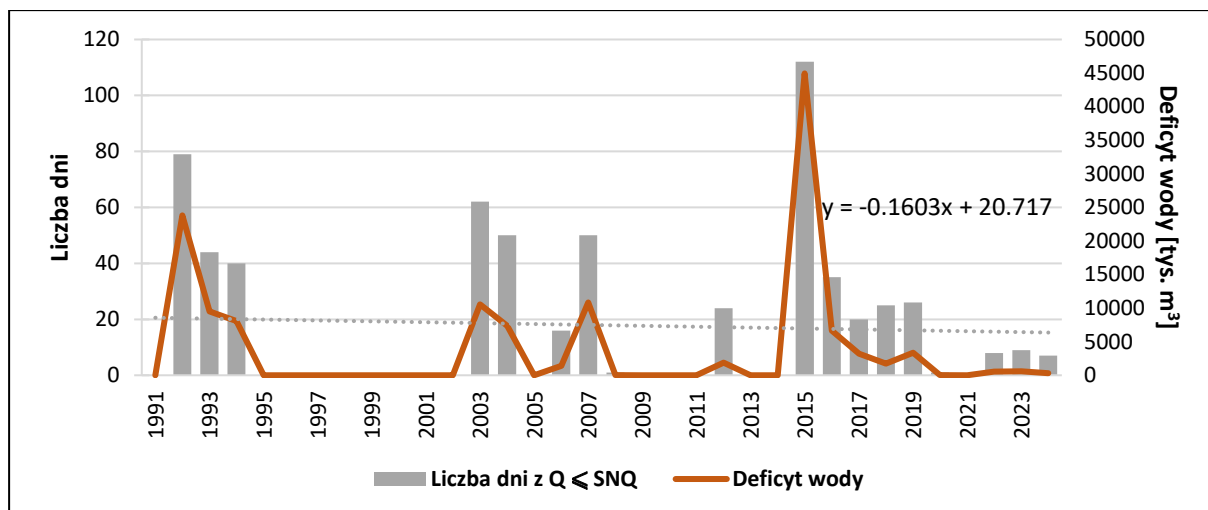
$S$  – dobowy deficyt wody [ $m^3$ ]

$SNQ$  – przepływ średni niski (przepływ główny II stopnia) [ $m^3/s$ ]

$Q$  – średni przepływ dobowy [ $m^3/s$ ]

86 400 – liczba sekund w dobie

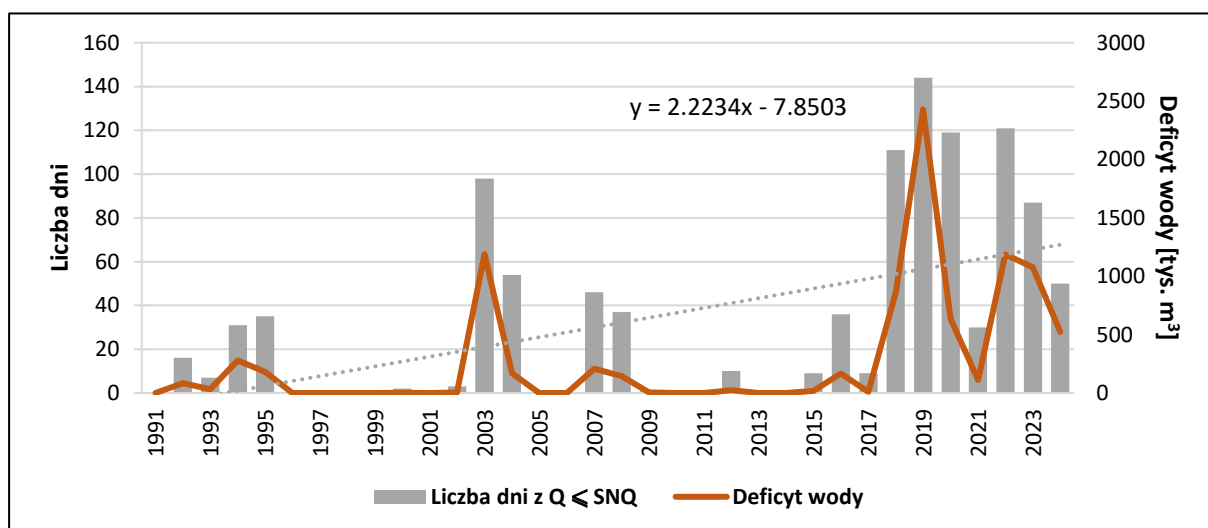
Międzyroczną zmienność liczby dni z  $Q \leq SNQ$  oraz szacowanego rocznego deficytu wody w latach 1991–2020 na stacji hydrologicznej Racibórz-Miedonia (Odra) przedstawia Rys. 46. W omawianym punkcie liczba dni z  $Q \leq SNQ$  wahała się od 0 do 112 (rok 2015). Maksymalny roczny deficyt wody odnotowano również w roku 2015 i wyniósł on około 44 947 tys.  $m^3$ .



Rys. 46 Przebieg rocznej liczby dni z  $Q \leq SNQ$  oraz szacowanego rocznego deficytu wody na stacji hydrologicznej Racibórz-Miedonia (1991–2020)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB.

Przebieg liczby dni z  $Q \leq SNQ$  oraz szacowanego rocznego deficytu wody na posterunku Bojanów (Psina) w latach 1991–2020 przedstawia Rys. 47. Liczba dni z  $Q \leq SNQ$  wahała się tutaj od 0 do 144 (2019), a maksymalny roczny deficyt wody wyniósł około 2 430 tys. m<sup>3</sup>. Zaobserwowano ponadto trend rosnący dotyczący liczby dni z  $Q \leq SNQ$ .



Rys. 47 Przebieg rocznej liczby dni z  $Q \leq SNQ$  oraz szacowanego rocznego deficytu wody na stacji hydrologicznej Bojanów (1991–2020)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB.

#### 4.4. Charakterystyka okresów wezbraniowych

Wezbraniem określamy podniesienie się stanu wody w cieku, występujące na skutek zwiększonego zasilania lub utrudnionego odpływu wody do recipienta. Wyróżnić możemy wezbrania deszczowe, roztopowe, śryżowe, zatorowe, lodowe oraz sztormowe. Poza warunkami klimatycznymi, charakter wezbrań kształtują kształt zlewni, pokrycie terenu, budowa geologiczna i działalność człowieka (Pociask-Karteczka, 2007).

Dla wybranych, istotnych dla Raciborza stacji hydrologicznych przeanalizowano całkowitą liczbę przekroczeń stanów charakterystycznych – ostrzegawczych oraz alarmowych – w latach 1991–2020 (Tabela 10).

Tabela 10 Liczba przekroczeń stanów charakterystycznych w wybranych punktach wodowskazowych otoczenia Raciborza (1991–2020)

	Racibórz-Miedonia		Bojanów	
	Stan ostrzegawczy (400 cm)	Stan alarmowy (600 cm)	Stan ostrzegawczy (150 cm)	Stan alarmowy (210 cm)
1991	5	2	2	0
1992	12	0	0	0
1993	6	0	0	0
1994	11	0	0	0
1995	6	0	0	0
1996	20	5	4	7
1997	17	12	5	7
1998	7	0	0	0
1999	12	3	0	0
2000	9	2	0	0
2001	21	3	3	0
2002	4	0	0	0
2003	0	0	0	0
2004	14	0	0	0
2005	4	2	1	0
2006	12	6	4	0
2007	3	2	1	0
2008	0	0	1	0
2009	18	0	4	0
2010	30	11	4	4
2011	9	0	2	0
2012	0	0	0	0
2013	12	0	3	0
2014	3	1	2	0
2015	0	0	0	0
2016	0	0	0	0
2017	6	2	1	0
2018	1	0	0	0
2019	2	1	0	0
2020	17	9	3	3
2021	7	0	0	0
2022	0	0	0	0
2023	1	0	1	0
2024	6	6	1	4
<b>RAZEM</b>	<b>275</b>	<b>67</b>	<b>42</b>	<b>25</b>

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB.

Liczba dni z przekroczeniem w ciągu roku stanów charakterystycznych różniła się między stacjami. W badanym wieloleciu (1991–2020) liczba dni z przekroczeniami stanu ostrzegawczego i alarmowego wyniosła kolejno 275 i 67 na stacji Racibórz-Miedonia. W przypadku posterunku wodowskazowego Bojanów było to kolejno 42 i 25.

Podobnie jak w przypadku analizy okresów niżówkowych, w niniejszej pracy wybrano kryterium hydrologiczne przy wydzielaniu wezbrań i tym samym omówiono zmienność dni z przepływem dobowym o wartości co najmniej SWQ, tj.  $Q \geq SWQ$ . Dla wyznaczonych tak dni obliczono kolejno dobowe objętości wezbrań, korzystając ze wzoru:

$$V = (Q - SWQ) \cdot 86\,400, \text{ gdzie}$$

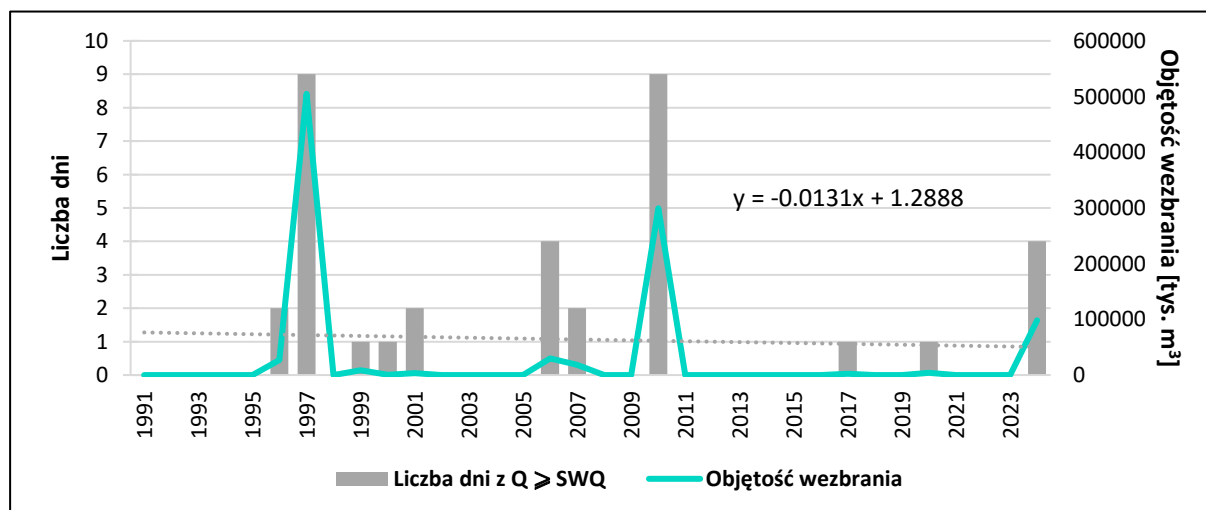
$V$  – objętość wezbrania [ $m^3$ ]

$Q$  – średni przepływ dobowy [ $m^3/s$ ]

$SWQ$  – przepływ średni wysoki (przepływ główny II stopnia) [ $m^3/s$ ]

86 400 – liczba sekund w dobie

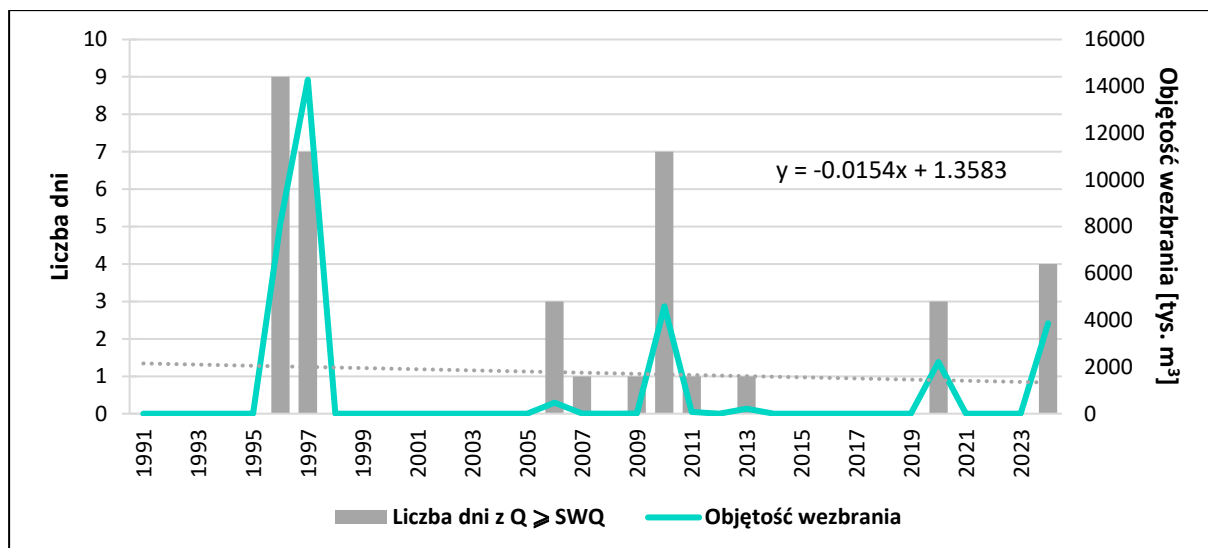
Międzyroczną zmienność liczby dni z  $Q \geq SWQ$  oraz szacowanej rocznej objętości wezbrania w latach 1991–2020 na stacji hydrologicznej Racibórz-Miedonia (Odra) przedstawia Rys. 48. W omawianym punkcie liczba dni z  $Q \geq SWQ$  wahała się od 0 do 9 (lata 1997 oraz 2010). Maksymalną roczną objętość wezbrania odnotowano również w roku 1997 i wyniosła ona około 504 939 tys.  $m^3$ .



Rys. 48 Przebieg rocznej liczby dni z  $Q \geq SWQ$  oraz szacowanej rocznej objętości wezbrania na stacji hydrologicznej Racibórz-Miedonia (1991–2020)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB.

Przebieg liczby dni z  $Q \geq SWQ$  oraz szacowanej rocznej objętości wezbrania na posterunku Bojanów (Psina) w latach 1991–2020 przedstawia Rys. 49. Liczba dni z  $Q \geq SWQ$  wahała się tutaj od 0 do 9 (1996), a maksymalna odnotowana roczna objętość wezbrania (1997) wyniosła około 14 281 tys.  $m^3$ .



Rys. 49 Przebieg rocznej liczby dni z  $Q \geq SWQ$  oraz szacowanej rocznej objętości wezbrania na stacji hydrologicznej Bojanów (1991–2020)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB.

## 5. Podsumowanie i wnioski

Charakterystyki historycznych i prognozowanych warunków termicznych Raciborza dokonano m.in. w oparciu o analizę następujących charakterystyk klimatologicznych oraz ich pochodnych:

- średnich, minimalnych i maksymalnych wartości temperatury powietrza (terminowych, dobowych, miesięcznych oraz rocznych);
- liczby dni klimatologicznie charakterystycznych (tj. m. in. nocy tropikalnych, dni upalnych, dni gorących, dni z przymrozkiem, dni mroźnych, dni bardzo mroźnych);
- długości okresu wegetacyjnego;
- liczby stopniodni grzania i chłodzenia.

Charakterystyki historycznych i prognozowanych warunków pluwialnych Raciborza dokonano m.in. w oparciu o analizę następujących charakterystyk klimatologicznych oraz ich pochodnych:

- terminowych, dobowych, miesięcznych oraz rocznych sum opadów atmosferycznych;
- liczby dni w roku bez opadu, z opadem oraz z opadem w wybranych przedziałach ( $\geq 0,1$  mm,  $\geq 1,0$  mm,  $\geq 10,0$  mm,  $\geq 20,0$  mm).

Charakterystyki historycznych i prognozowanych warunków niwalnych Raciborza dokonano m.in. w oparciu o analizę następujących charakterystyk klimatologicznych i hydrologicznych oraz ich pochodnych:

- liczby dni w roku z pokrywą śnieżną;
- liczby dni w roku z opadem śniegu;
- dobowych wartości grubości pokrywy śnieżnej.

Przeprowadzono także charakterystykę innych elementów klimatu i zjawisk atmosferycznych, wykorzystując m.in. dane dotyczące:

- prędkości i kierunku wiatru;
- liczby dni z burzą;
- liczby dni z gradem;
- liczby dni z gołoledzią.

Dla dwóch wybranych, istotnych dla Raciborza posterunków wodowskazowych przeprowadzono ponadto charakterystykę podstawowych warunków hydrologicznych na podstawie:

- średnich dobowych wartości przepływu;
- średnich dobowych wartości stanu wody.

Przeprowadzone analizy pozwoliły wskazać następujące **główne zagrożenia hydrologiczno-klimatologiczne** występujące w Raciborzu, a wynikające częściowo z postępujących zmian klimatu:

- ciągły, systematyczny wzrost średniej rocznej temperatury powietrza i powiązany z nim wzrost częstości występowania groźnych zjawisk i zdarzeń termicznych, przejawiający się między innymi rosnącą roczną liczbą nocy tropikalnych, dni upalnych, oraz dni gorących;

- coraz częstsze występowanie krótkich, lecz intensywnych opadów, które w połączeniu z przekształceniami pokrycia i użytkowania terenu skutkują zagrożeniem w postaci *flash floods* (pol. powodzi błyskawicznych);
- zagrożenie wezbraniami oraz powodziami od strony cieków.

**Szansę** w obrębie zmian czynników klimatycznych i hydrologicznych mogą stanowić następujące zmiany czynników klimatycznych i ich pochodnych:

- ciągły, systematyczny wzrost średniej rocznej temperatury minimalnej i związane z nim implikacje: malejąca długość okresu grzewczego oraz zwiększająca się długość okresu wegetacyjnego;
- malejąca ilość opadów śniegu w ciągu roku i krótszy czas zalegania pokrywy śnieżnej.

## Literatura

Baker D., Richards R. P., Loftus T. T., Kramer J. W., 2004, *A New Flashiness Index: Characteristics and Applications to Midwestern Rivers and Streams*, Journal of the American Water Resources Association, 40(2): 503 – 522.

Gumiński R., 1948, *Próba wydzielenia dzielnic rolniczo-klimatycznych w Polsce*, Przegląd Meteorologiczno-Hydrologiczny, 1.

Kozłowska-Cezak U., 2010, *Fale upałów i okresy upalne – metody ich wyróżniania i wyniki zastosowania*, Prace Geograficzne Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ, 123.

Ozga-Zielińska M., Brzeziński J., 1997, *Hydrologia stosowana*, PWN, Warszawa

Peters E., Torfs P. J. J. F., Lanene H. A. J., Bier G., 2003, *Propagation of drought through groundwater – a new approach using linear reservoir theory*, Hydrological Processes, 17 (15): 3023–3040.

Pociask-Karteczka J. [red.], Baścik M., Chełmicki W., Korska A., Siwek J., 2007, *Zlewnia. Właściwości i procesy*, Wydawnictwo UJ, Kraków.

Tallaksen L. M., van Lanen H. A. J. [red.], 2004, *Hydrological Drought – Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater*, Developments in Water Science, Amsterdam.

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

Woś A., 1993, *Regiony klimatyczne Polski w świetle częstości występowania różnych typów pogody*, Zeszyty Instytutu Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN, 20.