

AKTUALIZACJA PLANU ADAPTACJI MIASTA SOSNOWCA DO ZMIAN KLIMATU DO ROKU 2036

Załącznik nr 1 **Opis głównych zagrożeń klimatycznych i ich pochodnych dla Sosnowca**

Opracował: mgr Jakub Słotwiński
mgr inż. Ewa Strzelecka-Jastrząb

Spis treści

1. Wstęp.....	3
2. Charakterystyka klimatologiczna Sosnowca na podstawie danych pomiarowych z uwzględnieniem obserwowanych zmian klimatu.....	4
Temperatura powietrza	4
Opady atmosferyczne	12
Pokrywa śnieżna	16
Inne elementy klimatu i zjawiska atmosferyczne	18
3. Zmiany klimatu w Sosnowcu prognozowane na podstawie danych modelowych	22
Temperatura powietrza	23
Opady atmosferyczne	30
Inne elementy klimatu i zjawiska atmosferyczne	35
4. Charakterystyka zjawiska powierzchniowej miejskiej wyspy ciepła (PMWC) na obszarze Sosnowca	36
5. Jakość powietrza w Sosnowcu	39
Jakość powietrza ze względu na ozon troposferyczny.....	39
Jakość powietrza ze względu na pył zawieszony PM10.....	41
Jakość powietrza ze względu na pył zawieszony PM2,5.....	44
6. Częściowa charakterystyka warunków hydrologicznych Sosnowca	46
Przepływy charakterystyczne	46
Zmienność i gwałtowność przepływów	48
Charakterystyka okresów niżówkowych.....	50
Charakterystyka okresów wezbraniowych.....	54
7. Powódzie miejskie (nagłe)	59
8. Powódzie od strony rzek.....	61
9. Podsumowanie i wnioski.....	62
Literatura.....	63

1. Wstęp

Celem niniejszego opracowania jest zwrócenie uwagi na główne zagrożenia wynikające ze zmian klimatu na obszarze Sosnowca na potrzeby dokonania oceny ryzyka poszczególnych sektorów miasta związanego z elementami klimatu i zjawiskami im towarzyszącymi. Oceny dokonano na podstawie analizy danych instrumentalnych, teledetekcyjnych oraz modelowych. W opracowaniu wykorzystano następujące dane źródłowe:

- dane pomiarowe ze stacji synoptycznej IMGW-PIB Katowice-Muchowiec (WMO 12560) 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/>];
- zdjęcia satelitarne, 9 scen z satelity LANDSAT 8 i LANDSAT 9;
- dane pomiarowe ze stacji monitoringu powietrza PMŚ zlokalizowanych w Sosnowcu przy ul. Lubelskiej 51 (SISosnoLubel) oraz w Katowicach przy ul. Kossutha 6 (SIKatoKossut), dane za lata 2016-2023;
- dane pomiarowe ze stacji hydrologicznych IMGW-PIB Łagisza (150190130), Radocha (150190080), Szabelnia (150190070), Namiarki (150180260), Sławków (150190250) oraz Niwka (150190100) dla lat 1991-2020 oraz mapy zagrożenia powodziowego PGW Wody Polskie, dostępne poprzez Hydroportal ISOK [<https://isok.gov.pl/hydroportal.html>];
- dane z Państwowej Straży Pożarnej nt. usuwania skutków powodzi miejskich, nagłych.

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

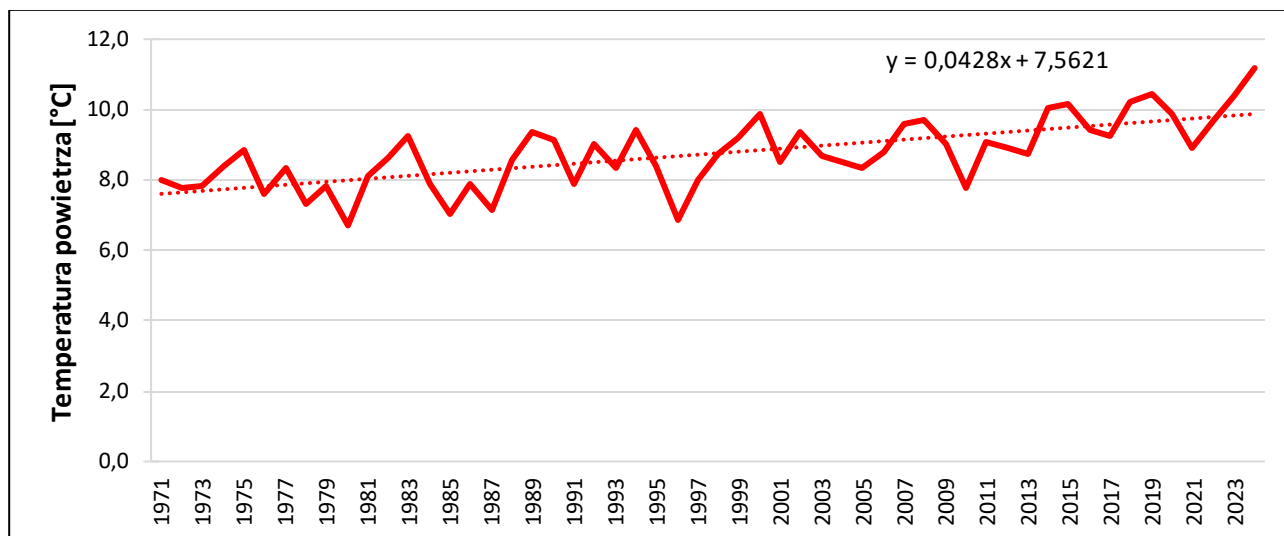
Charakterystykę klimatologiczną Sosnowca oparto o dane pomiarowe ze stacji synoptycznej IMGW-PIB w Katowicach-Muchowcu (WMO 12560). Stacja w Katowicach położona jest o około 8 kilometrów w kierunku południowo-zachodnim i o około 23 metry wyżej od centrum omawianego miasta, za które przyjęto Plac Stulecia. Ze względu na brak istotnych czynników klimatotwórczych różnicujących warunki klimatyczne między stacją Katowice-Muchowiec a obszarem Sosnowca, stację tę przyjęto jako reprezentatywną dla miasta.

W świetle regionalizacji Okołowicza i Martyn (1979) Sosnowiec leży w regionie Śląsko-Małopolskim, charakteryzującym się klimatem przejściowym z istotnym wpływem obszarów wyżynnych. Według regionalizacji Wosia (1993) Sosnowiec znajduje się w regionie klimatycznym Śląsko-Krakowskim (XXVI). Na tle innych regionów wyróżnia się on stosunkowo wysoką liczbą dni z pogodą bardzo ciepłą i opadem oraz dni z pogodą umiarkowanie ciepłą z dużym zachmurzeniem i opadem.

Ze względu na lokalizację miasta w południowo-centralnej części kraju warunki klimatyczne Sosnowca kształtowane są zarówno przez wpływy kontynentalne, jak i oceaniczne. Istotnym czynnikiem klimatotwórczym w przypadku omawianego miasta jest również rzeźba terenu, tj. położenie Sosnowca w obrębie pagórzystego mezoregionu Wyżyny Katowickiej (Solon i in., 2018) i otoczenie pozostałymi regionami wchodzącymi w skład Wyżyny Śląsko-Krakowskiej. Na klimat Sosnowca wpływa ponadto bliskość konurbacji górnośląskiej oraz reprezentowana na obszarze miasta mozaika form pokrycia oraz użytkowania terenu.

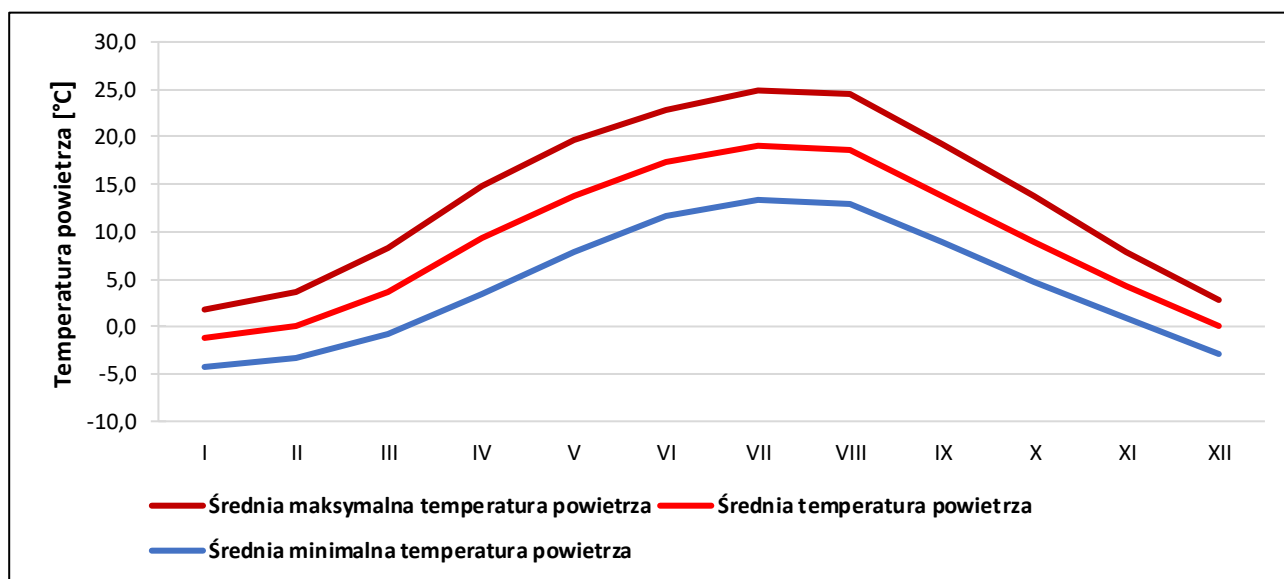
Temperatura powietrza

Średnia roczna temperatura powietrza w Sosnowcu wyniosła w wieloleciu 1991-2020 $9,0^{\circ}\text{C}$, co stanowiło wzrost o $0,4^{\circ}\text{C}$ względem wielolecia 1981-2010 ($8,6^{\circ}\text{C}$) i o $0,8^{\circ}\text{C}$ względem wielolecia 1971-2000 ($8,2^{\circ}\text{C}$). 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 $11,2^{\circ}\text{C}$; najchłodniejszym zaś 1980 z wartością $6,7^{\circ}\text{C}$. Cechą charakterystyczną przebiegu średniej rocznej temperatury powietrza w latach 1971-2023 był jej systematyczny, istotny statystycznie wzrost.



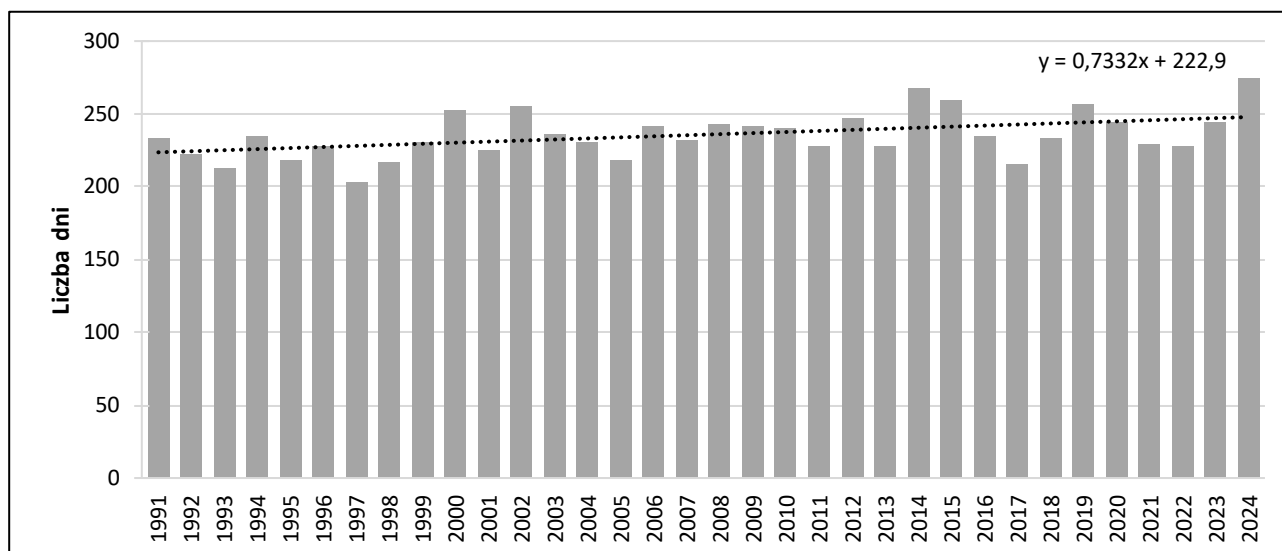
Rys. 1 Przebieg średniej rocznej temperatury powietrza w Sosnowcu w latach 1971–2024
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB

Miesięczny przebieg średniej, minimalnej i maksymalnej temperatury dobowej w Sosnowcu dla wielolecia 1991-2020 przedstawia Rys. 2. Średnia sezonowa wartość temperatury powietrza wyniosła kolejno: 8,9°C wiosną, 18,3°C latem, 9,0°C jesienią i -0,4°C zimą. Najcieplejszym miesiącem był lipiec (średnio 19,1°C), a najchłodniejszym styczeń (-1,2°C). W omawianym wieloleciu absolutne maksimum średniej miesięcznej temperatury powietrza odnotowano w sierpniu roku 1992 (22,1°C), a minimum w styczniu roku 2006 (-7,3°C). Absolutne maksimum średniej dobowej temperatury powietrza przypadło na 29.07.2013 z wartością 28,5°C; minimum zaś na 23.01.2006 z wartością -21,9°C.



Rys. 2 Miesięczny przebieg średniej, minimalnej i maksymalnej dobowej temperatury powietrza w Sosnowcu (1991–2020)
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB

Długość okresu wegetacyjnego ($TG \geq 5^{\circ}\text{C}$) na obszarze miasta Sosnowiec obliczona metodą Gumińskiego (1948) wyniosła w wieloleciu 1991–2020 średnio 235 dni. Rokiem z najkrótszym okresem wegetacyjnym (203 dni) był rok 1997; rokiem z najdłuższym okresem wegetacyjnym zaś rok 2024 (274 dni) (Rys. 3). Długość okresu wegetacyjnego w Sosnowcu w latach 1991–2020 systematycznie wzrastała w tempie około 1 dnia na rok.



Rys. 3 Przebieg obliczonej metodą Gumińskiego (1948) długości okresu wegetacyjnego w Sosnowcu w latach 1991–2024

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB

W wieloleciu 1991–2020 w Sosnowcu wystąpiło średnio na rok:

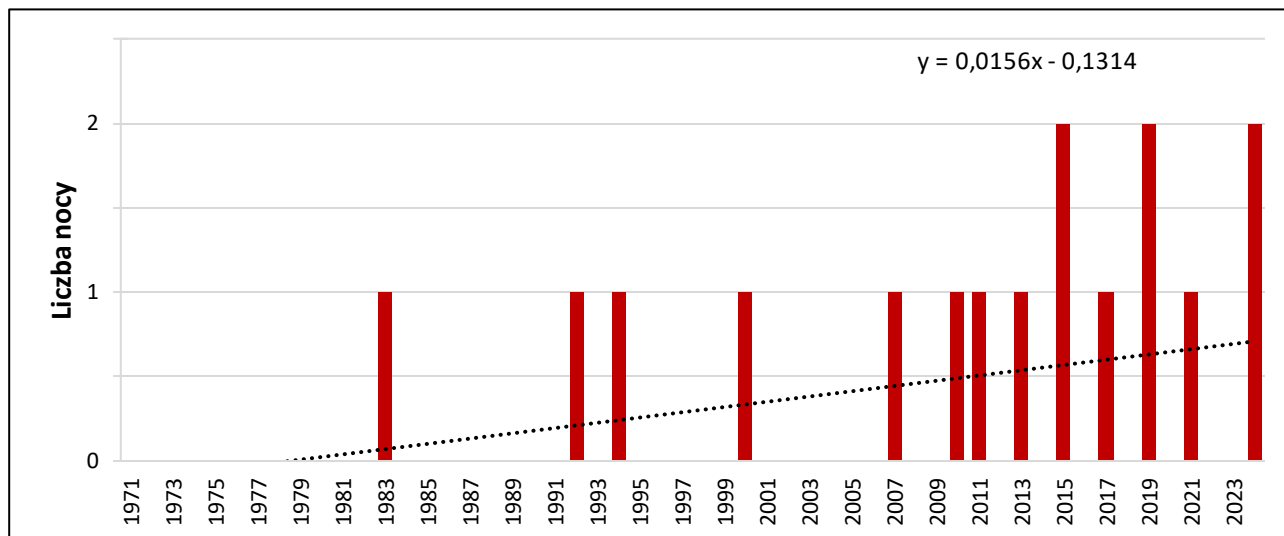
- 0 nocy tropikalnych (1971–2000: 0 nocy; 1981–2010: 0 nocy);
- 8 dni upalnych (1971–2000: 4 dni; 1981–2010: 5 dni);
- 47 dni gorących (1971–2000: 33 dni; 1981–2010: 40 dni);
- 75 dni z przymrozkiem (1971–2000: 76 dni; 1981–2010: 75 dni);
- 29 dni mroźne (1971–2000: 31 dni; 1981–2010: 33 dni);
- 1 dzień bardzo mroźny (1971–2000: 1 dzień; 1981–2010: 1 dzień) (Tabela 1).

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

Dni charakterystyczne	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Noce tropikalne ($T_{\min} \geq 20^{\circ}\text{C}$)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dni upalne ($T_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$)	0	0	0	0	0	2	3	3	0	0	0	0	8
Dni gorące ($T_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$)	0	0	0	1	4	10	15	14	3	0	0	0	47
Dni z przymrozkiem ($T_{\min} < 0^{\circ}\text{C} \wedge T_{\max} > 0^{\circ}\text{C}$)	11	15	15	6	1	0	0	0	0	4	11	13	75
Dni mroźne ($T_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$)	11	7	2	0	0	0	0	0	0	0	2	8	29
Dni bardzo mroźne ($T_{\max} < -10^{\circ}\text{C}$)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB

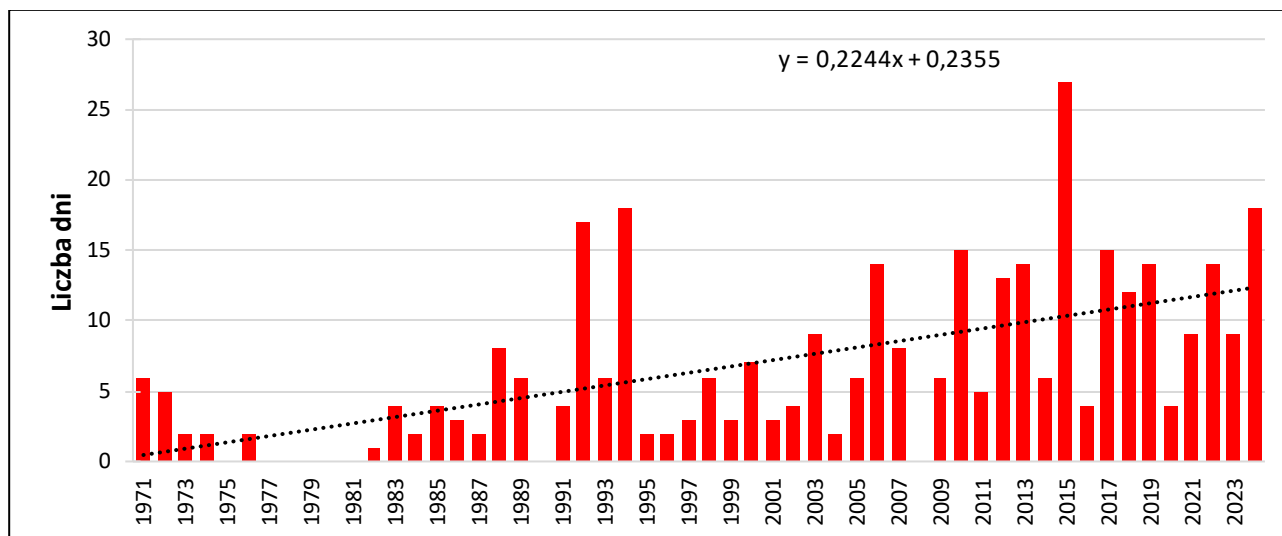
Międzyroczną zmienność liczby nocy tropikalnych ($T_{\min} \geq 20^{\circ}\text{C}$) w Sosnowcu w latach 1971-2024 przedstawia Rys. 4. Najwięcej nocy tropikalnych, 2, zaobserwowano w latach 2015, 2019 i 2024. Liczba nocy tropikalnych systematycznie wzrastała w tempie około 0,2 nocy na 10 lat.



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

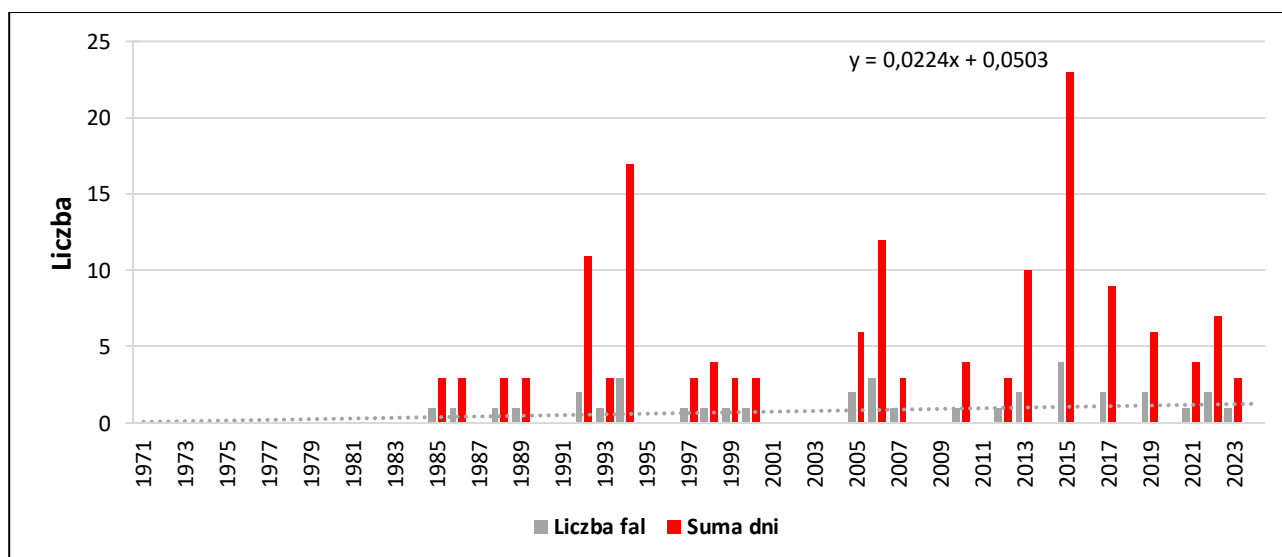
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB

Przebieg liczby dni upalnych ($T_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$) w Sosnowcu w latach 1971-2024 przedstawiono na Rys. 5. Rokiem z największą liczbą dni upalnych był rok 2015 (27 dni). Dni upalne nie wystąpiły w latach 1975, 1977-1981 oraz 2008. Liczba dni upalnych systematycznie wzrastała w tempie około 2 dni na 10 lat.



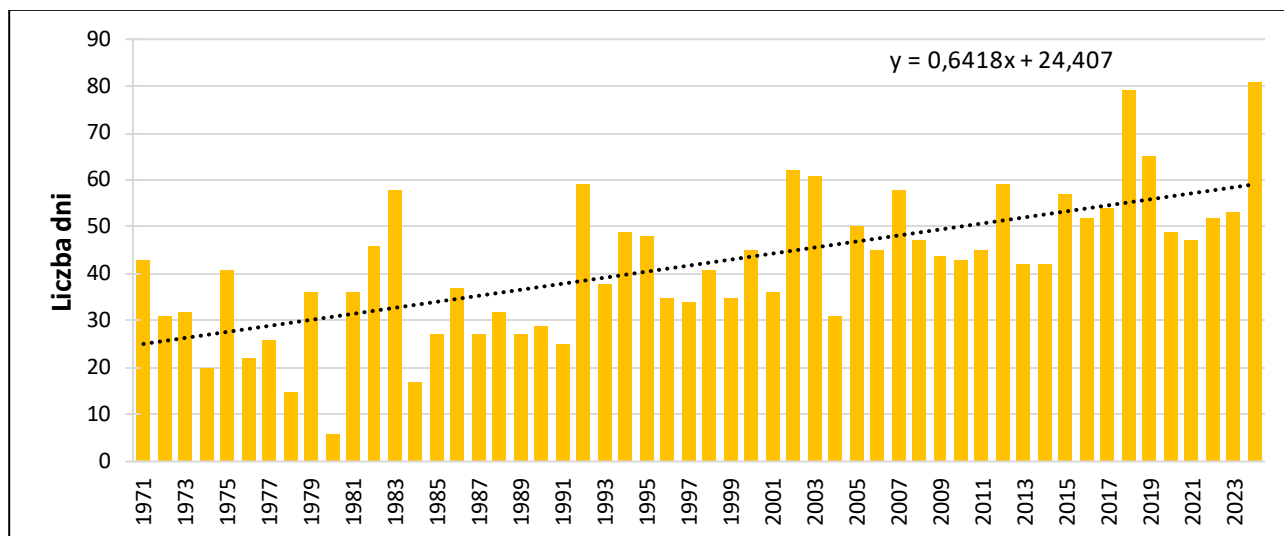
Rys. 5 Przebieg rocznej liczby dni upalnych w Sosnowcu w latach 1971–2024
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB

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 Sosnowcu w latach 1971–2023 wystąpiło 36 fal upałów, które łącznie objęły 146 dni upalnych. Rekordowym był rok 2015, w którym wystąpiły 4 fale upałów, łącznie obejmujące 23 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 Sosnowcu w latach 1971–2024 przedstawia Rys. 6. Liczba fal upałów w badanych latach nieznacznie wzrastała.



Rys. 6 Liczba fal upałów i dni nimi objętych w Sosnowcu w latach 1971–2024
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB

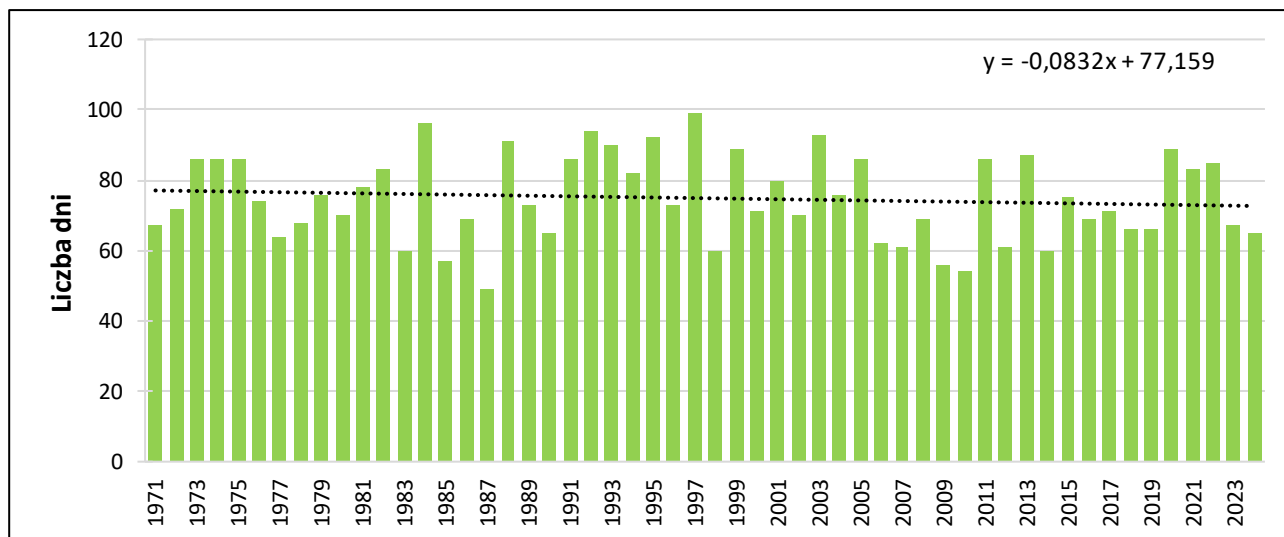
Przebieg liczby dni gorących ($T_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$) w Sosnowcu latach 1971–2024 przedstawia Rys. 7. Rekordowym był rok 2024, gdy w mieście odnotowano 81 dni gorących. Rokiem z najmniejszą liczbą takich dni był rok 1980 (6 dni gorących). Liczba dni gorących systematycznie wzrastała w tempie około 6 dni na 10 lat.



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

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB

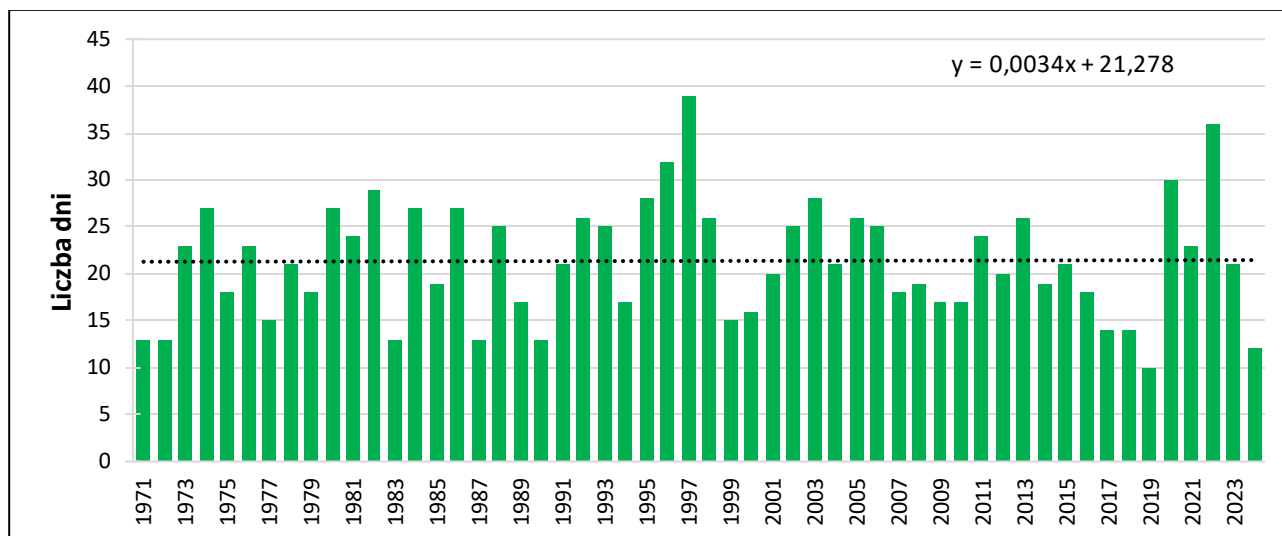
Międzyroczną zmienność liczby dni z przymrozkiem ($T_{\min} < 0^{\circ}\text{C} \wedge T_{\max} > 0^{\circ}\text{C}$) w Sosnowcu w latach 1971–2024 przedstawiono na Rys. 8. Liczba takich dni na obszarze miasta spada w tempie około 1 dnia na 10 lat. Rokiem z największą liczbą dni z przymrozkiem był rok 1997 (99 dni); zaś rokiem z najmniejszą liczbą takich dni był rok 1987 (49 dni z przymrozkiem).



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

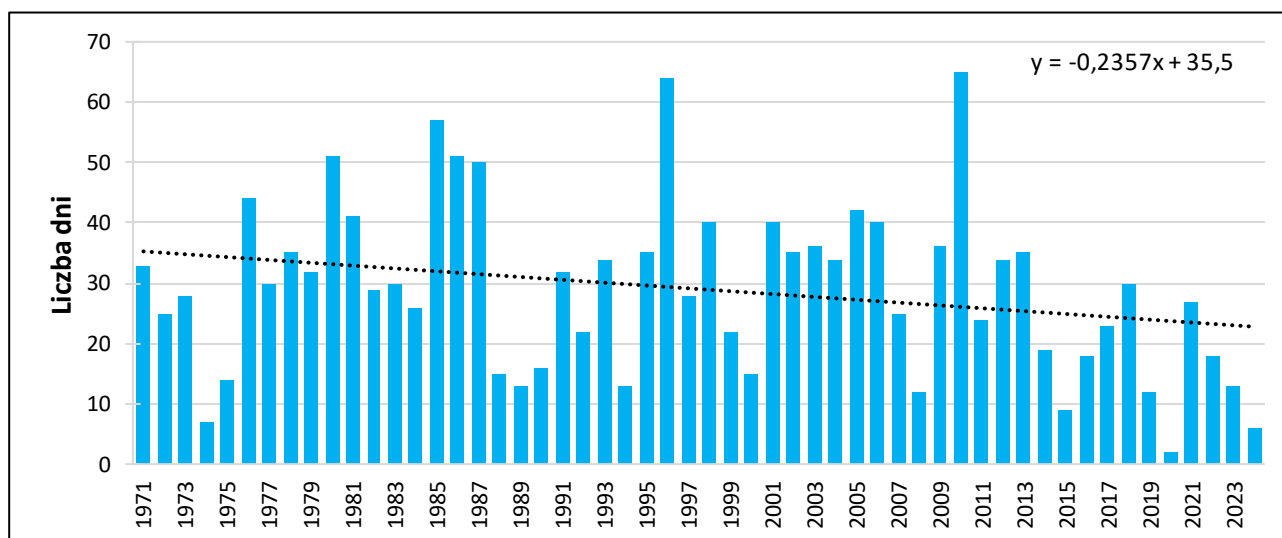
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB

Międzyroczna zmienność dni z przymrozkiem w miesiącach meteorologicznej wiosny (tj. od marca do maja) w Sosnowcu została przedstawiona na Rys. 9. Jej przebieg nawiązuje do przebiegu ogólnej zmienności liczby dni z przymrozkiem. Rokiem z największą liczbą przymrozków wiosennych był 1997 (39 takich dni); zaś rokiem z najmniejszą liczbą, 2019 (10 dni z przymrozkiem wiosennym).



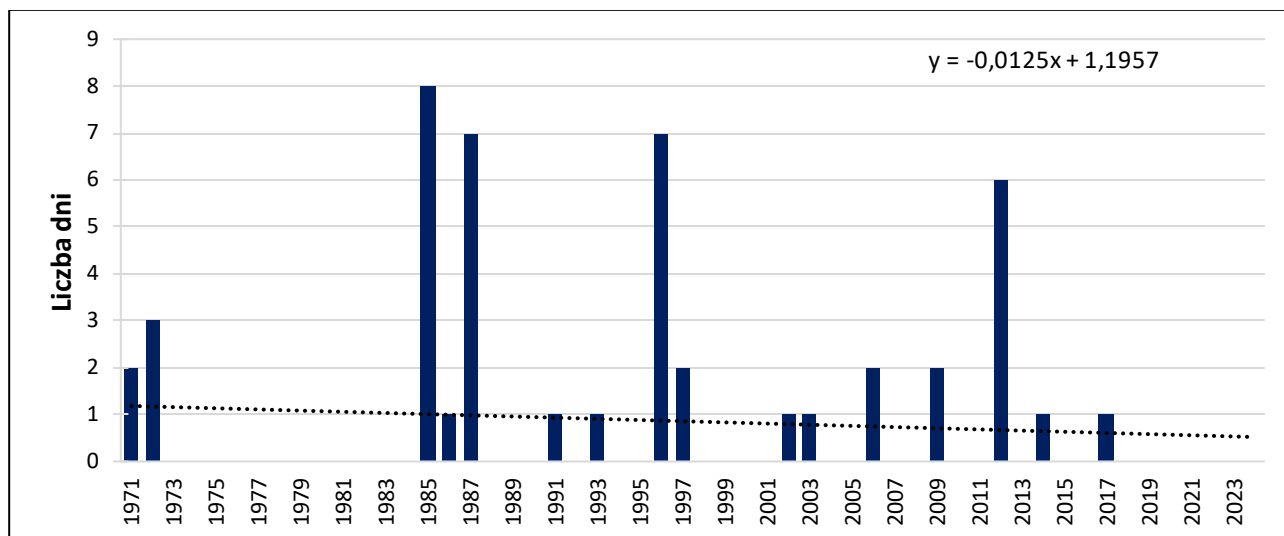
Rys. 9 Przebieg rocznej liczby dni z przymrozkiem wiosennym w Sosnowcu w latach 1971–2024
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB

W Sosnowcu 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 2010 (65 dni); zaś rokiem z najmniejszą liczbą takich dni, 2020 (2 dni mroźne). Tempo spadku wyniosło około 2 dni na 10 lat.



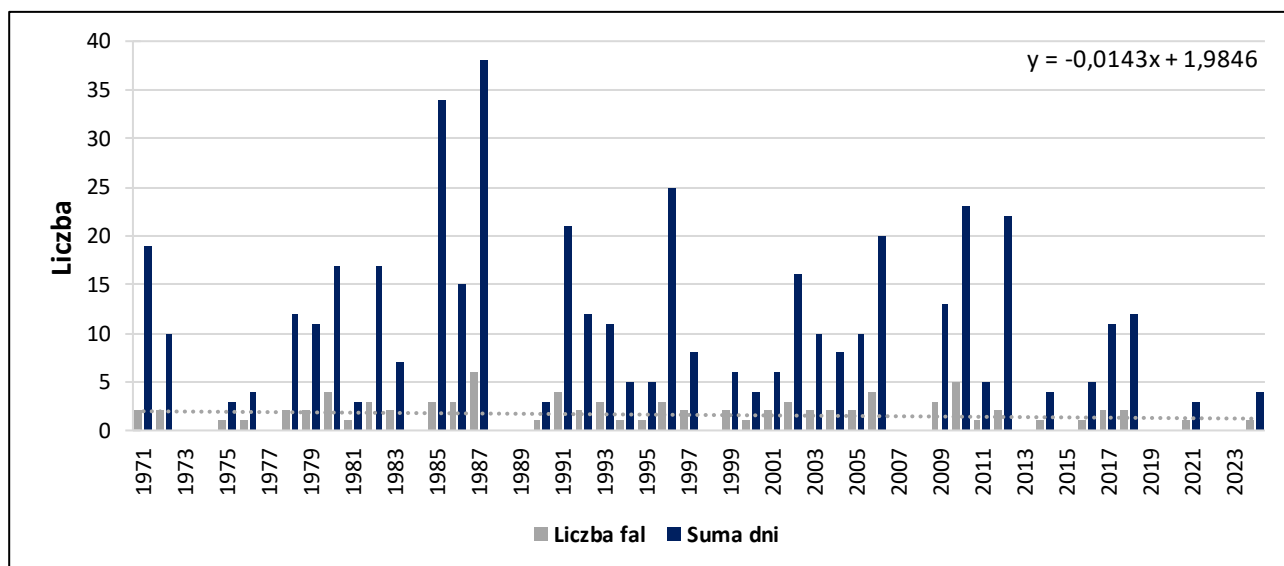
Rys. 10 Przebieg rocznej liczby dni mroźnych w Sosnowcu w latach 1971–2024
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB

Międzyroczną zmienność liczby dni bardzo mroźnych ($T_{\max} < -10^{\circ}\text{C}$) w Sosnowcu w latach 1971–2024 przedstawia Rys. 11. Najwięcej takich dni, 8, 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 Sosnowcu w latach 1971–2024
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB

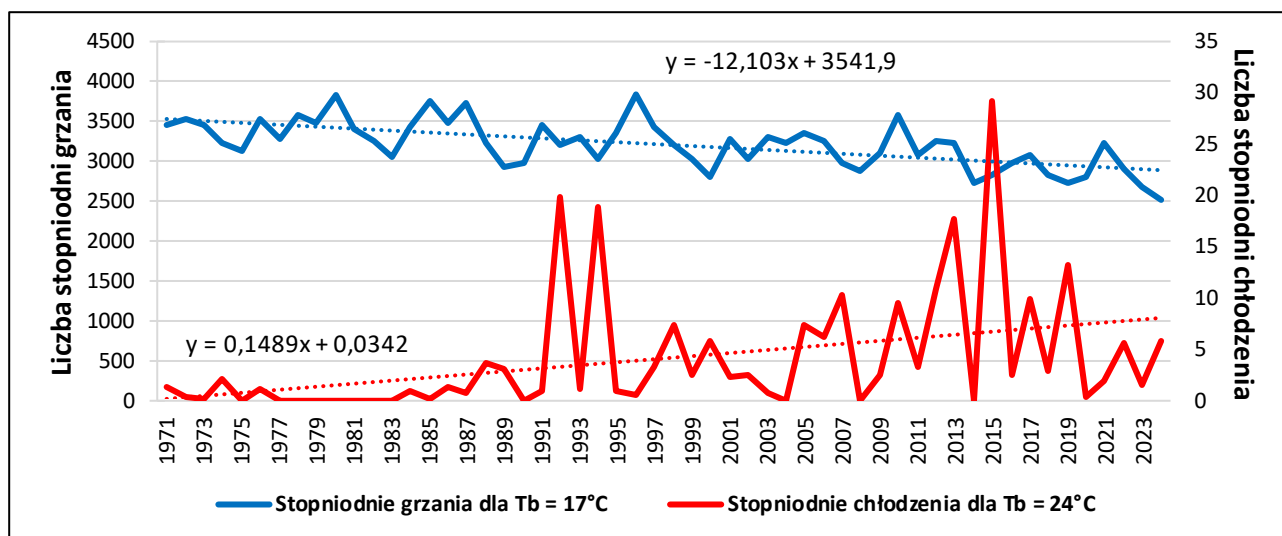
Fale zimna rozumiane jako ciągi co najmniej 3 dni z temperaturą minimalną poniżej -10°C ($T_{\min} < -10^{\circ}\text{C}$) występowały w Sosnowcu w latach 1971–2024 86 razy, obejmując tym samym 462 dni. Rekordowym był rok 1987, w którym wyróżniono 6 fal zimna, które objęły 38 dni. Najdłuższe w badanym okresie fale zimna osiągały 16 dni i trwały w dniach 03-18.01.1985 oraz 07-21.01.1987. Przebieg liczby fal zimna i dni nimi objętych w Sosnowcu w latach 1971–2024 przedstawia ryc. 12. Trend w zmianie liczby fal zimna w badanych latach jest zaniedbywalny.



Rys. 12 Liczba fal zimna i dni nimi objętych w Sosnowcu 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 w Sosnowcu przedstawiono na Rys. 13. Średnia liczba tak wyznaczanych stopniodni grzania wyniosła w latach 1991–2020 3141,3; a stopniodni chłodzenia - 6,4. Zauważalny jest istotny statystycznie trend spadkowy

w HDD, którego najwyższa wartość wystąpiła w roku 1996 i wyniosła 3837,5; najniższa w analizowanym okresie wartość wskaźnika wyniosła 2516,2 w roku 2023. Zauważalny jest również trend wzrostowy w liczbie CDD, której najwyższą wartość odnotowano w roku 2015 - wyniosła ona 29,2.

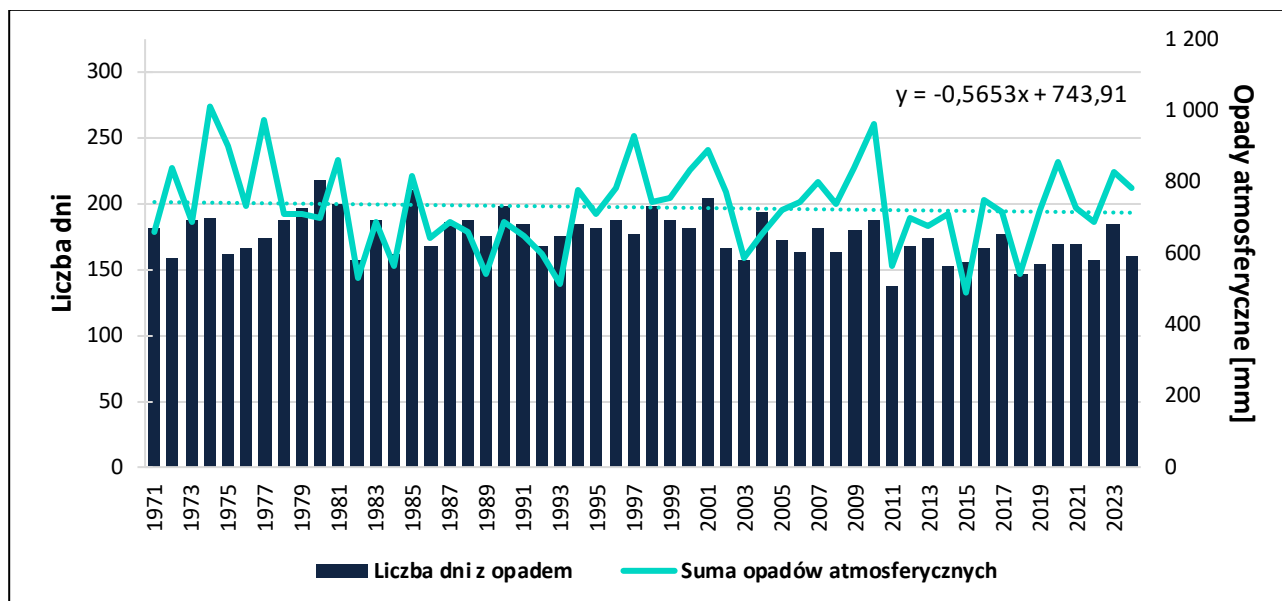


Rys. 13 Przebieg liczby stopniodni grzania ($T_b = 17^\circ\text{C}$) i chłodzenia ($T_b = 24^\circ\text{C}$) w Sosnowcu w latach 1971–2024

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB

Opady atmosferyczne

Średnia roczna suma opadów atmosferycznych w Sosnowcu wyniosła w wieloleciu 1991-2020 725,5 mm, co stanowiło wzrost o około 3,2 mm względem wielolecia 1981-2020 (722,3 mm) i spadek o około 4,2 mm względem wielolecia 1971-2000 (729,7 mm). Średnia roczna liczba dni z opadem wyniosła tu 173 dni (1981-2010: 181 dni, 1971-2000: 183 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 1974 (1011,2 mm); zaś rokiem z najmniejszą sumą 2015 (489,3 mm). Najwięcej dni z opadem wystąpiło w roku 1980 (218 dni), najmniej zaś w roku 2011 (138 dni).



Rys. 14 Przebieg rocznej sumy opadów atmosferycznych i liczby dni z opadem w Sosnowcu w latach 1971–2024
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB

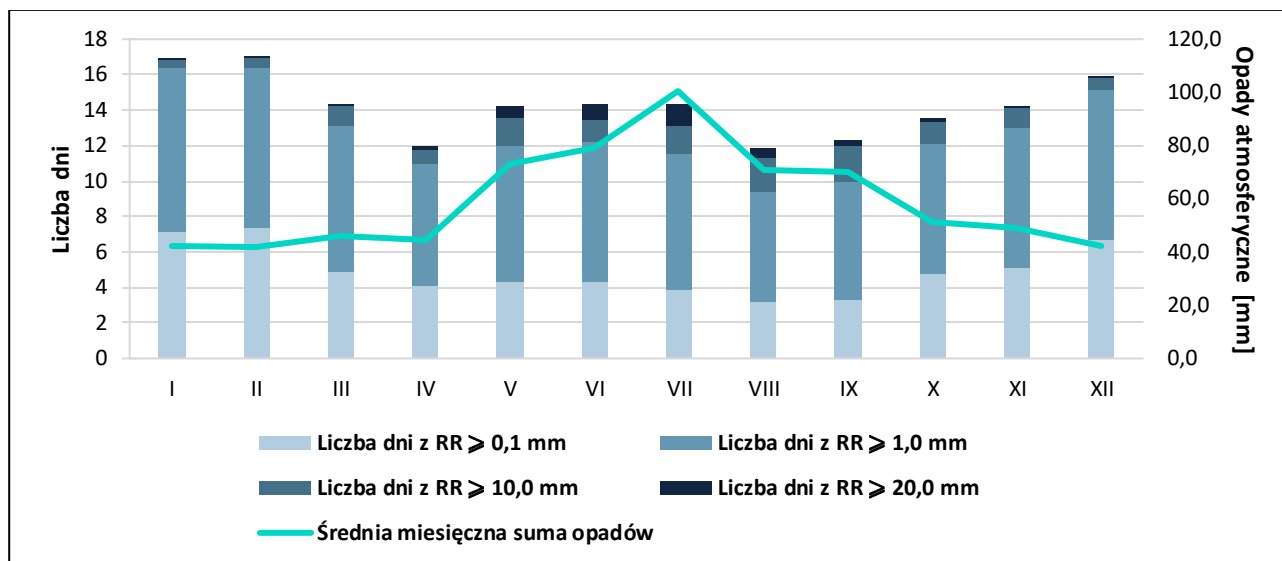
Częstość wystąpienia określonej rocznej sumy opadów atmosferycznych w Sosnowcu (lata 1971–2024) w przedziałach wartości przedstawia tab. 2. Najwyższą częstością wystąpienia (24,1%) odznaczały się w rozważanych latach sumy opadów z przedziału 700,1–750,0 mm.

Tabela 2 Częstość wystąpienia określonej rocznej sumy opadów atmosferycznych w Sosnowcu w latach 1971–2024

Przedział [mm]	Liczebność (liczba lat)	Częstość [%]	Częstość skumulowana
< 500,0	1	1,9	1,9
500,0–550,0	4	7,4	9,3
550,1–600,0	4	7,4	16,7
600,1–650,0	2	3,7	20,4
650,1–700,0	11	20,4	40,7
700,1–750,0	13	24,1	64,8
750,1–800,0	5	9,3	74,1
800,1–850,0	6	11,1	85,2
850,1–900,0	3	5,6	90,7
> 900,1	5	9,3	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 średnio 100,5 mm; najmniejsza zaś na luty i wynosi 41,9 mm. Miesiącami z największą liczbą dni z opadem są styczeń i luty (średnio 17 dni z opadem), a najmniejszą - kwiecień i sierpień (średnio 12 dni z opadem).

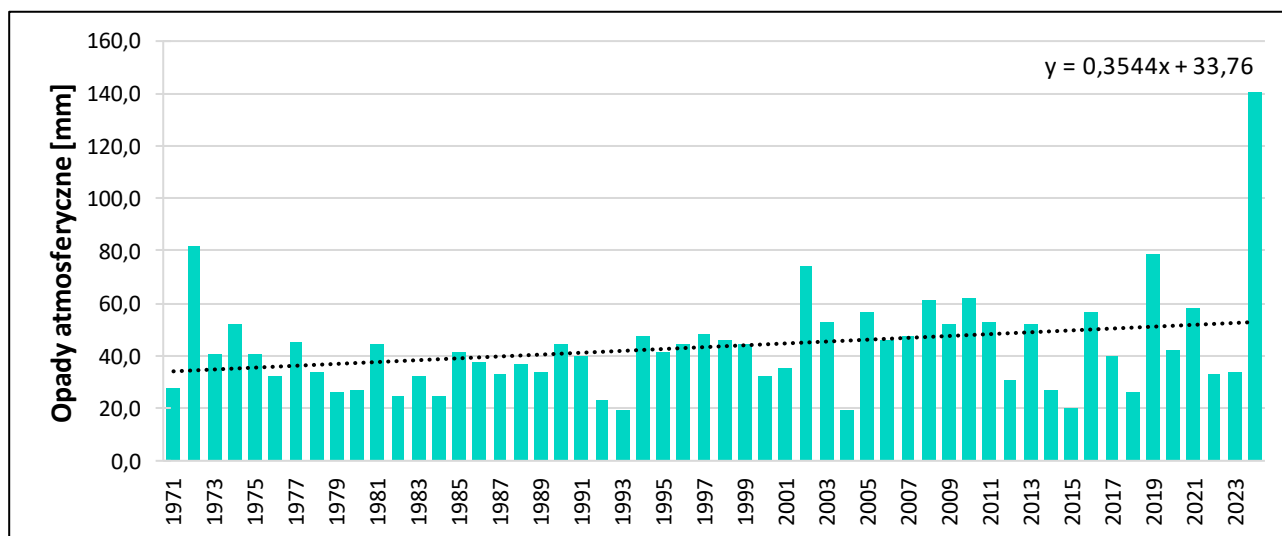


Rys. 15 Przebieg średniej miesięcznej sumy opadów atmosferycznych i liczby dni z opadem $\geq 0,1$; $\geq 1,0$; $\geq 10,0$ oraz $\geq 20,0$ mm w Sosnowcu (1991–2020)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB

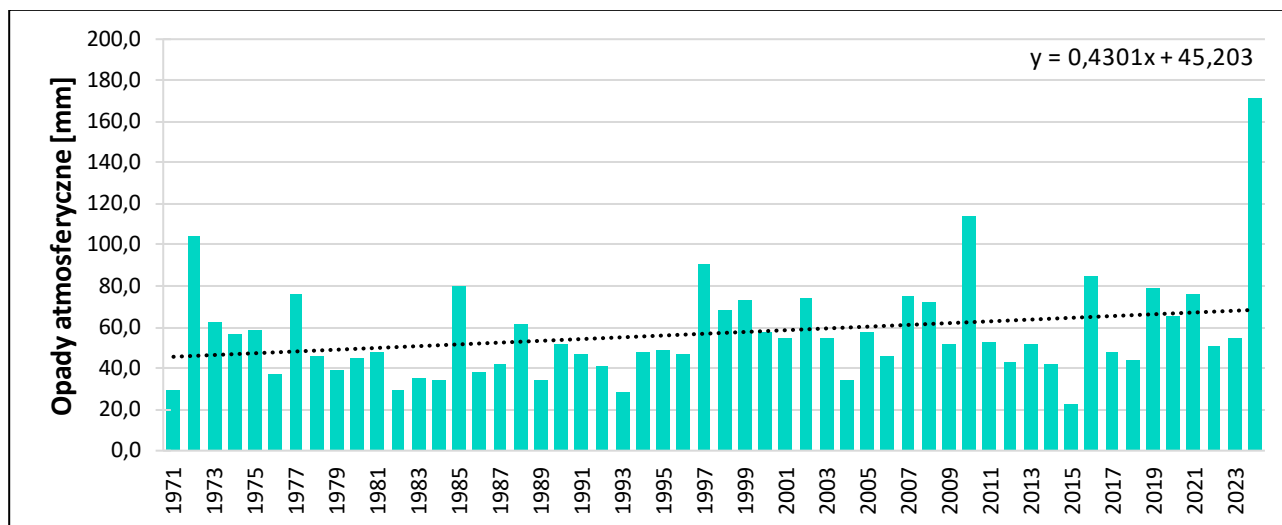
Analizie poddano również maksymalne opady dobowe (Rys. 16), maksymalne opady w ciągu dwudniowym (Rys. 17) oraz maksymalne opady w ciągu pięciodniowym (Rys. 18). W Sosnowcu w latach 1971–2024:

- maksymalne dobowe sumy opadów mieściły się w przedziale od 19,2 do 140,7 mm, a wartość średnia wyniosła 43,5 mm;
- maksymalne sumy opadów w ciągu dwudniowym mieściły się w przedziale od 22,3 do 171,7 mm, a wartość średnia wyniosła 57,0 mm;
- maksymalne sumy opadów w ciągu pięciodniowym mieściły się w przedziale od 34,3 do 181,1 mm, a wartość średnia wyniosła 74,2 mm.



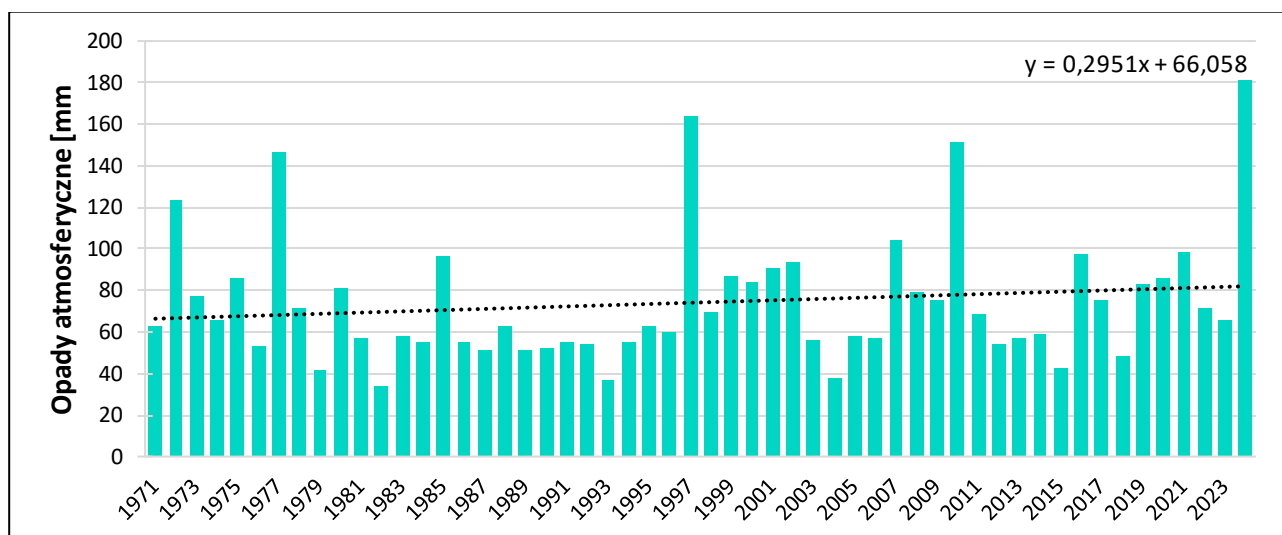
Rys. 16 Przebieg maksymalnej dobowej sumy opadów atmosferycznych w Sosnowcu w latach 1971–2024

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB



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

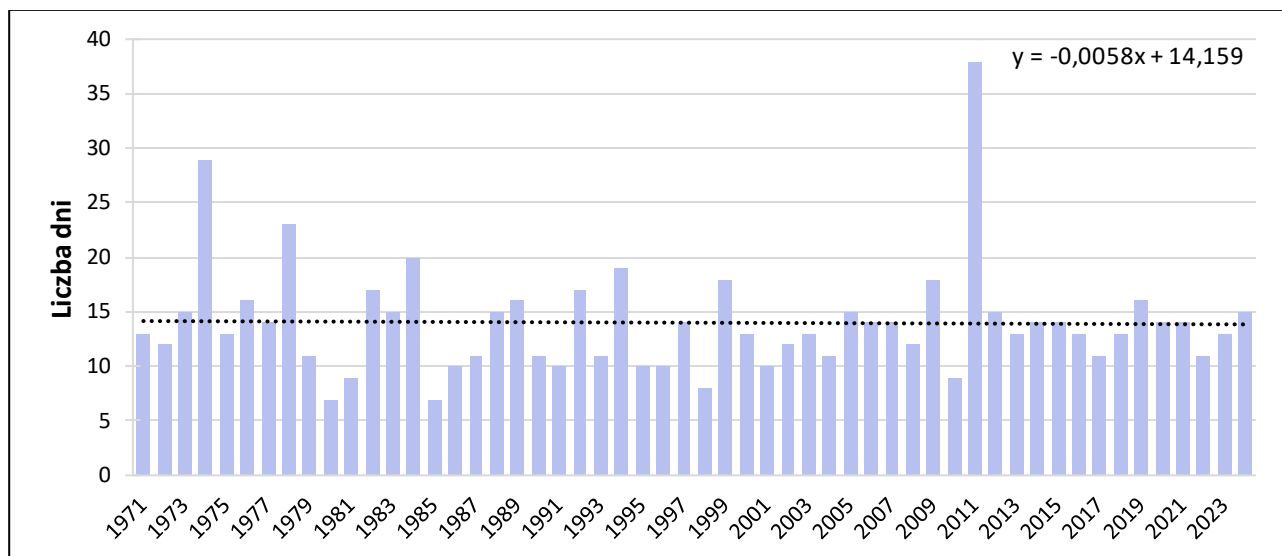
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB



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

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB

Międzyroczną zmienność długości najdłuższego okresu bezopadowego ($RR = 0,0 \text{ mm}$) w Sosnowcu w latach 1971-2024 przedstawia Rys. 19. Najdłuższy okres bezopadowy w badanych latach wystąpił w roku 2011 i trwał 38 dni.

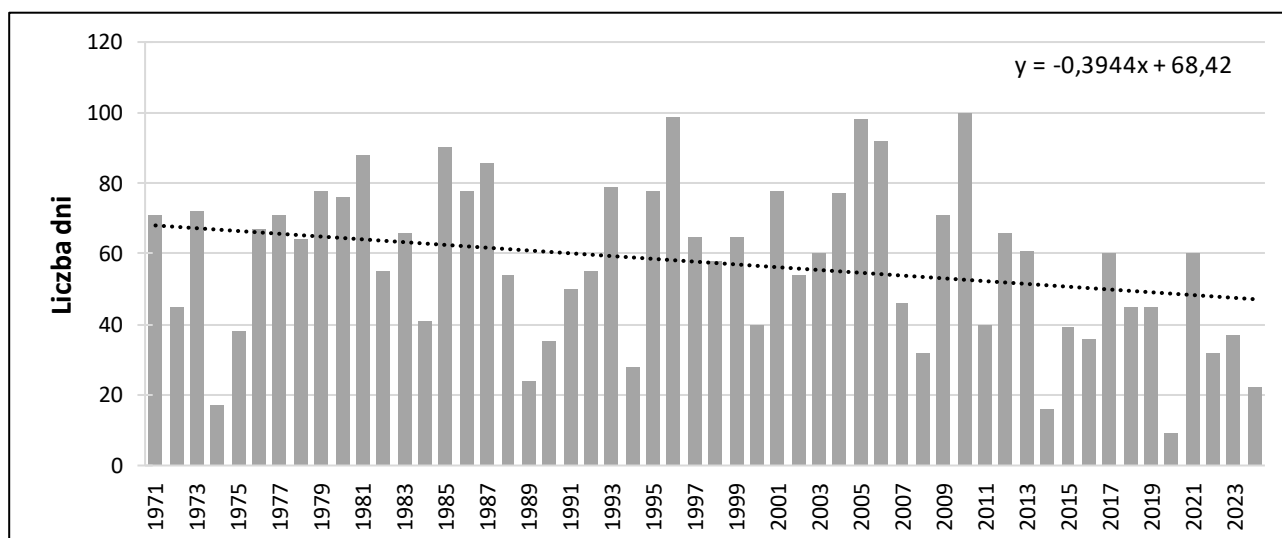


Rys. 19 Przebieg długości najdłuższych okresów bezopadowych w Sosnowcu w latach 1971–2024

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB

Pokrywa śnieżna

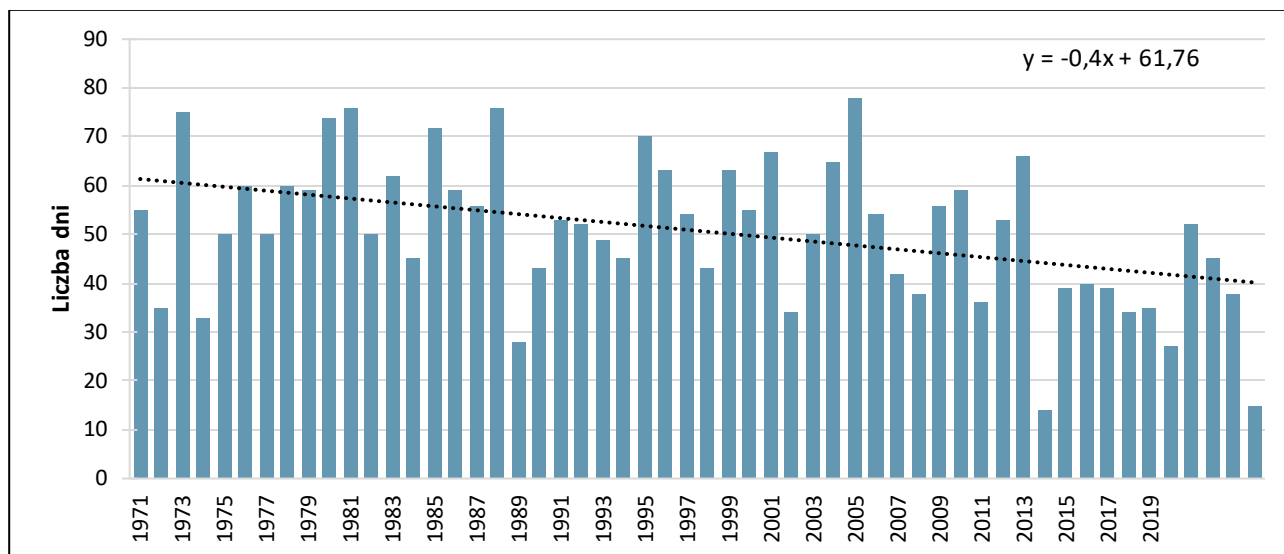
Średnia roczna liczba dni z pokrywą śnieżną w Sosnowcu wyniosła w wieloleciu 1991–2020 58 dni, co stanowiło spadek o 8 dni względem wielolecia 1981–2010 (64 dni) i o 5 dni względem wielolecia 1971–2000 (61 dni). W analizowanych latach (Rys. 20) liczba dni z pokrywą śnieżną wahała się od 9 dni w roku 2020 do 100 dni w roku 2010.



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

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB

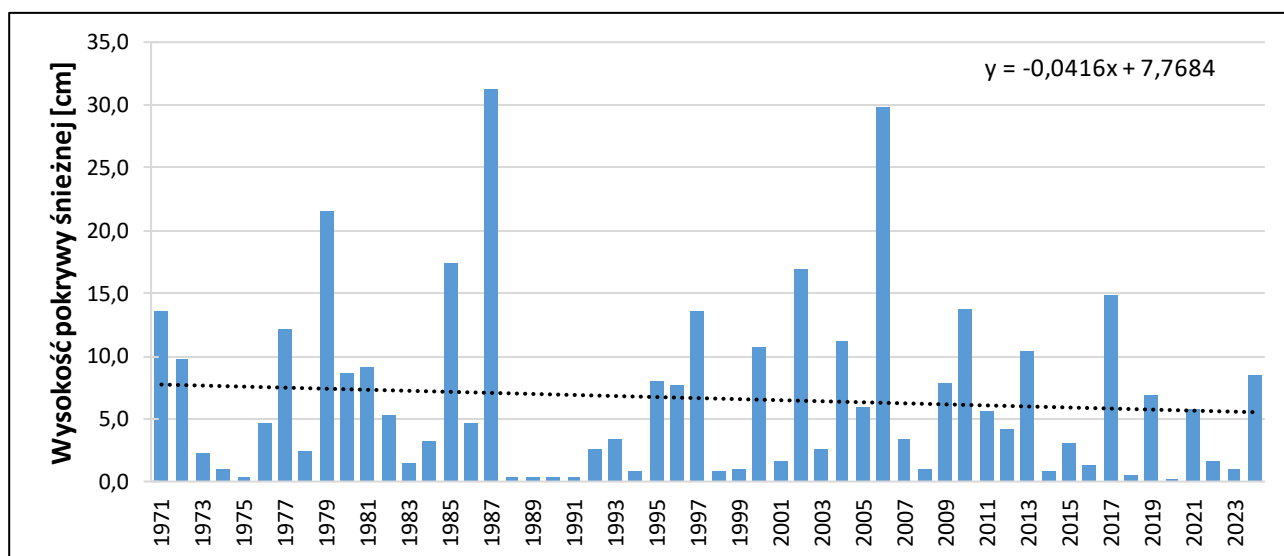
Średnia roczna liczba dni z opadem śniegu w Sosnowcu w analizowanych latach systematycznie spadała. W wieloleciu 1971–2000 wyniosła ona 56 dni, następnie w wieloleciu 1981–2000 55 dni, a w wieloleciu 1991–2020 49 dni. Międzyroczną zmienność tej wartości przedstawiono na Rys. 21.



Rys. 21 Przebieg liczby dni z opadem śniegu w Sosnowcu w latach 1971–2024

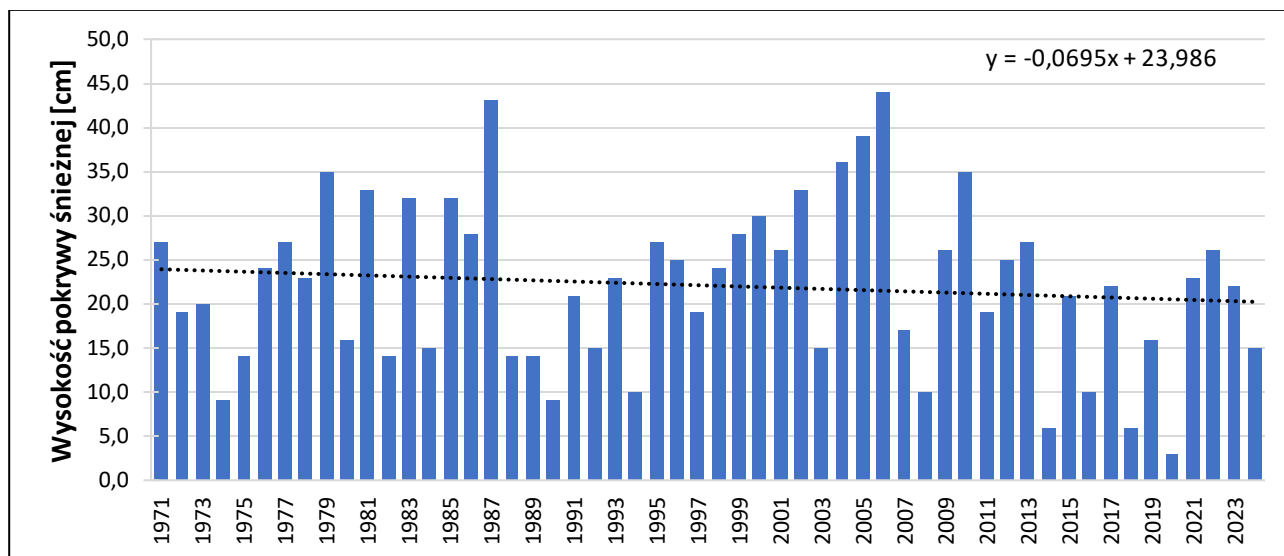
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB

Długotrwała pokrywa śnieżna w Sosnowcu pojawia się średnio z początkiem listopada i występuje nawet do początku kwietnia. Średnia grubość pokrywy śnieżnej w Sosnowcu w styczniu (1991–2020) wynosi 6,4 cm. Przebieg średniej grubości pokrywy śnieżnej w styczniu w latach 1971–2024 przedstawiono na Rys. 22. Międzyroczną zmienność maksymalnej dobowej wartości miąższości pokrywy śnieżnej w Sosnowcu przedstawiono na Rys. 23. Wartość absolutną maksymalną odnotowano w dniach 14.02.2006 i 16.02.2006; wyniosła ona 44,0 cm.



Rys. 22 Przebieg średniej grubości pokrywy śnieżnej w styczniu w Sosnowcu w latach 1971–2024

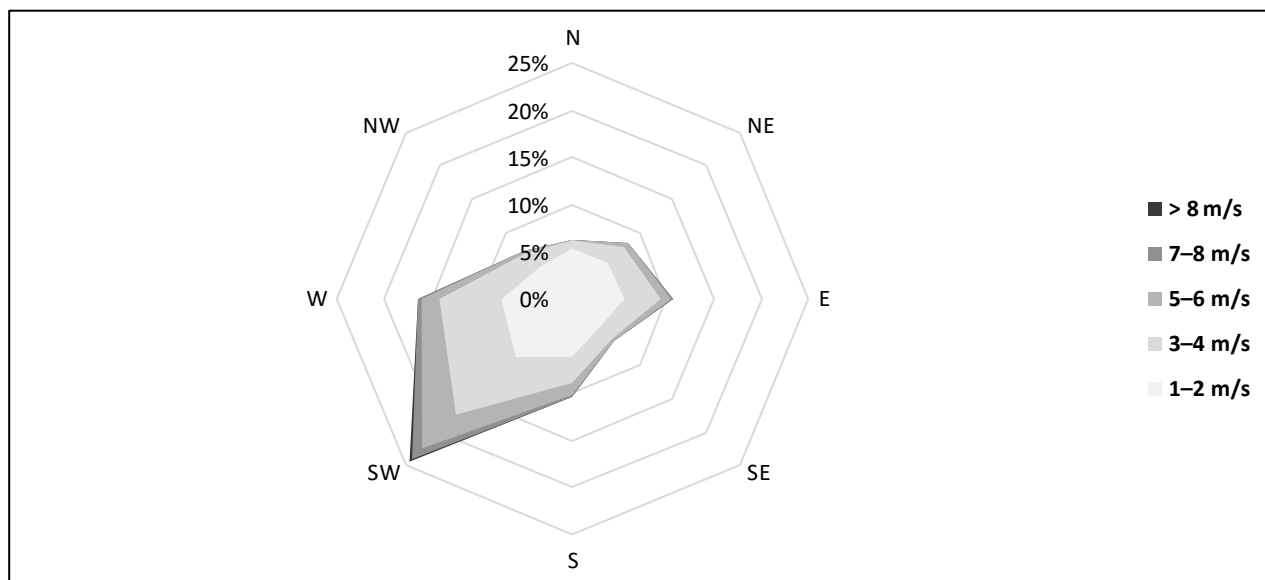
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB



Rys. 23 Przebieg maksymalnej dobowej miąższości pokrywy śnieżnej w Sosnowcu w latach 1971–2024
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB

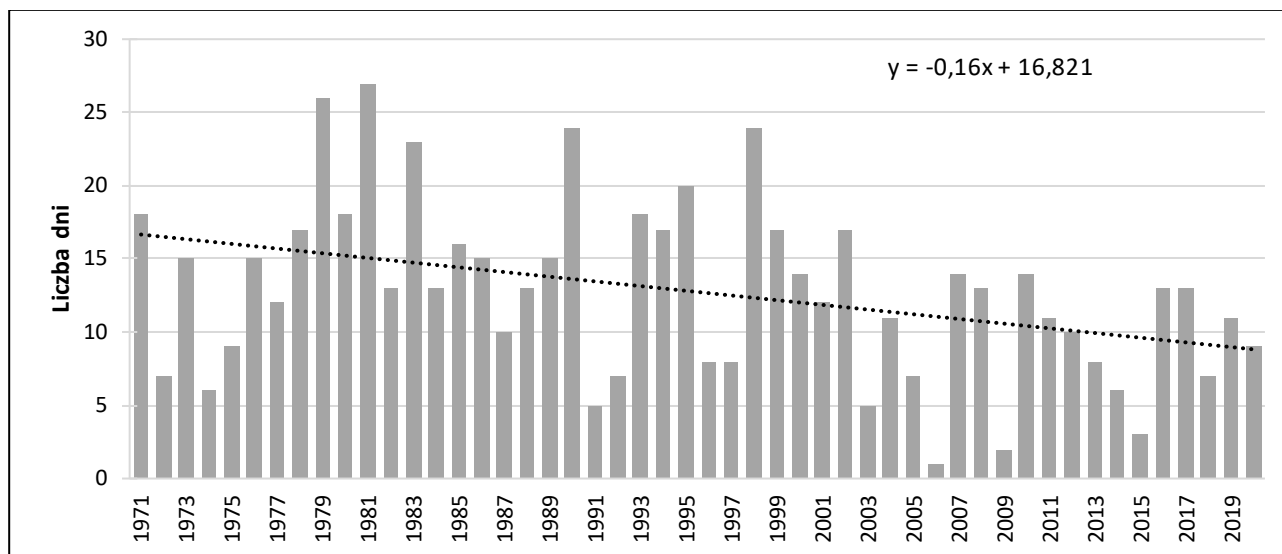
Inne elementy klimatu i zjawiska atmosferyczne

Przeważającymi kierunkami wiatru w Sosnowcu są kolejno południowo-zachodni, zachodni oraz południowy (Rys. 24). Napływ powietrza z tych kierunków stanowi 41,2% wszystkich wiatrów obserwowanych na stacji. Średnia prędkość wiatru, mierzona jako średnia arytmetyczna pomiarów terminowych, wynosi w Sosnowcu 2,5 m/s.



Rys. 24 Częstość kierunków wiatru w podziale na zakresy jego prędkości w Sosnowcu (1991–2020)
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB

Średnia roczna liczba dni z porywem wiatru ≥ 10 m/s w Sosnowcu w latach 1971-2020 wyraźnie malała. W wieloleciu 1971-2000 liczba takich dni wyniosła 15, w wieloleciu 1981-2000 13, a w wieloleciu 1991-2020 11. Międzyroczną zmienność tej wartości przedstawiono na Rys. 25.

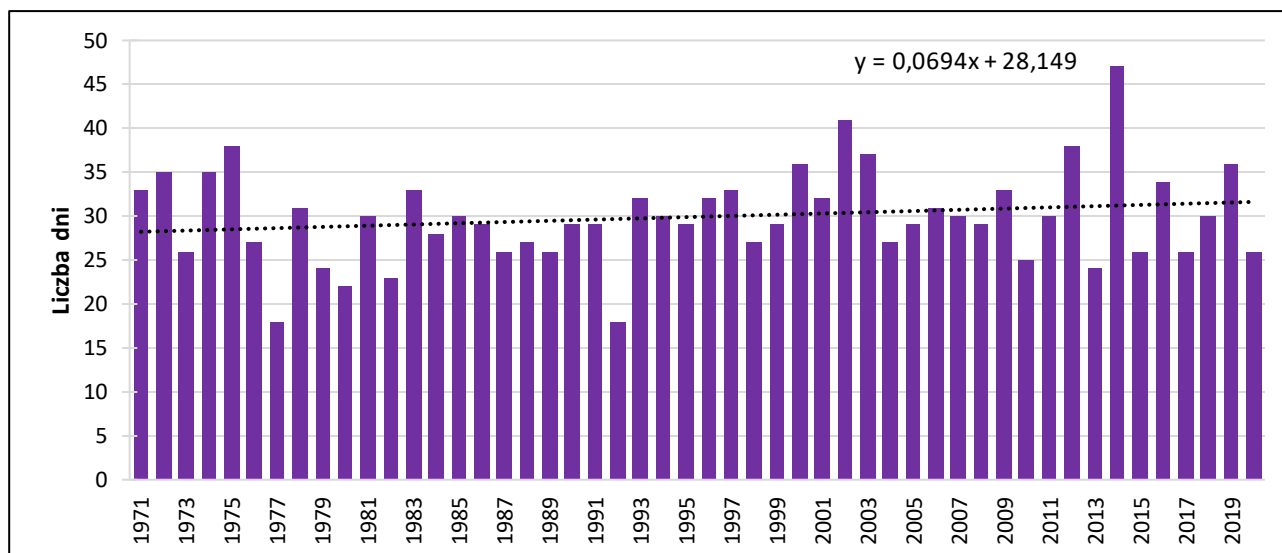


Rys. 25 Przebieg liczby dni z porywem wiatru ≥ 10 m/s w Sosnowcu w latach 1971–2020*

*Brak danych dla lat 2021–2024

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB

Średnia roczna liczba dni z burzą w Sosnowcu w latach 1971–2020 systematycznie wzrastała. W wieloleciu 1971–2000 wyniosła ona 29, w wieloleciu 1981–2000 30, a w wieloleciu 1991–2020 31. Międzyroczną zmienność tej wartości przedstawiono na Rys. 26.

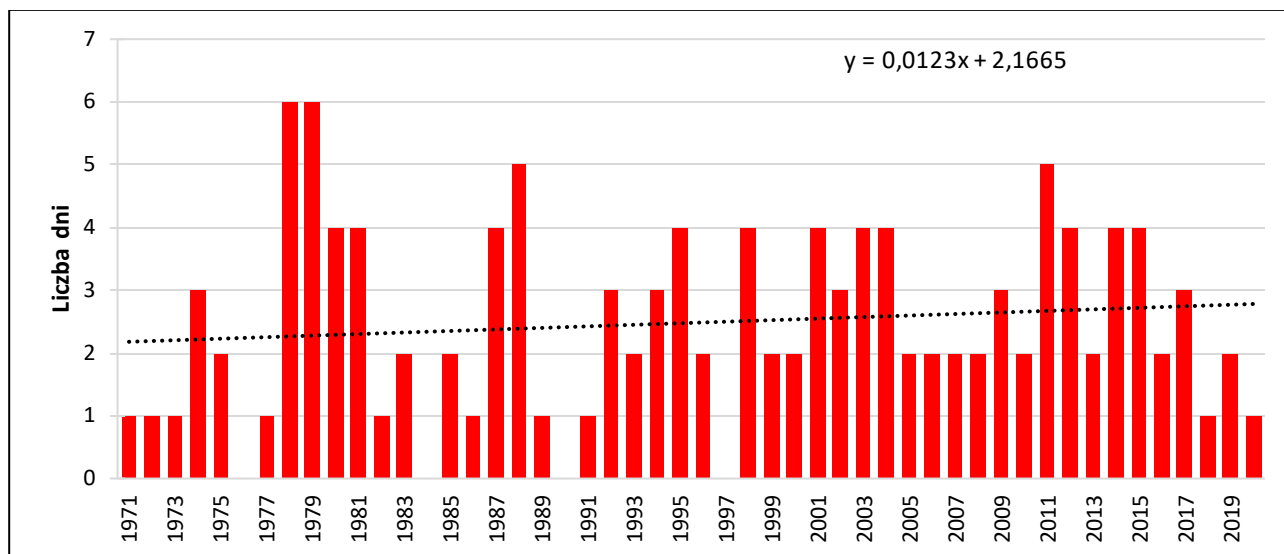


Rys. 26 Przebieg liczby dni z burzą w Sosnowcu w latach 1971–2020*

*Brak danych dla lat 2021–2024

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB

Przebieg liczby dni z gradem w Sosnowcu w latach 1971–2020 przedstawiono na Rys. 27. W wieloleciu 1971–2000 grad występował średnio przez 3 dni w roku, w wieloleciach 1981–2010 i 1991–2020 natomiast średnio przez 2 dni w roku.

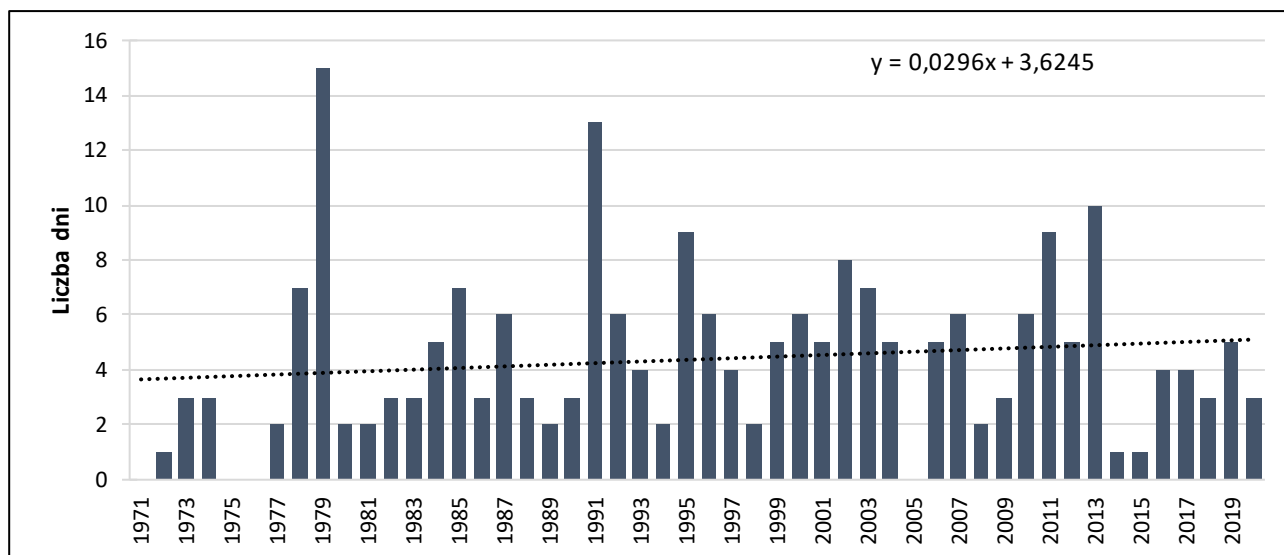


Rys. 27 Przebieg liczby dni z gradem w Sosnowcu w latach 1971–2020*

*Brak danych dla lat 2021–2024

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB

Międzyroczną zmienność liczby dni z gołoledzią w Sosnowcu w latach 1971–2020 przedstawiono na Rys. 28. W wieloleciu 1971–2000 wyniosła ona 4, w wieloleciu 1981–2000 5, a w wieloleciu 1991–2020 5. W przebiegu wartości zaobserwowano nieznaczny trend rosnący.

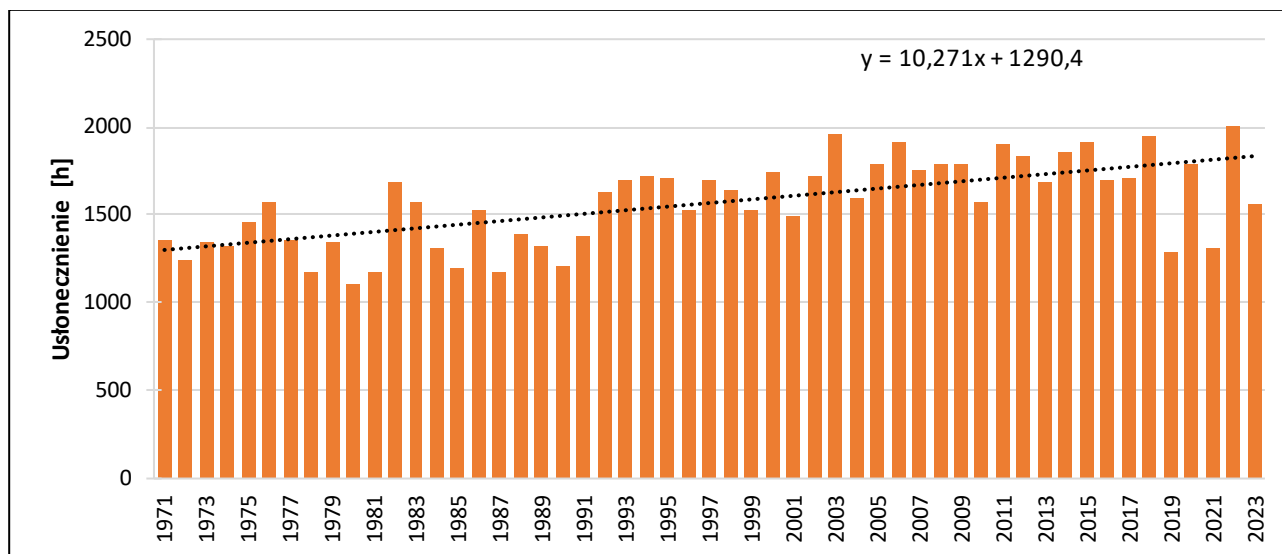


Rys. 28 Przebieg liczby dni z gołoledzią w Sosnowcu w latach 1971–2020*

*Brak danych dla lat 2021–2024

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB

Przebieg rocznych sum usłonecznienia przedstawia Rys. 29. Średnia wartość rocznej sumy usłonecznienia wyniosła 1438,4 h w wieloleciu 1971–2000; 1575,8 h w wieloleciu 1981–2010 oraz 1711,6 h w wieloleciu 1991–2020. W przebiegu wartości zaobserwowano trend rosnący.



Rys. 29 Przebieg rocznych sum usłonecznienia w Sosnowcu w latach 1971–2024

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB

3. Zmiany klimatu w Sosnowcu prognozowane na podstawie danych modelowych

Prognozę zmian klimatu w Sosnowcu 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 $0,11^{\circ}$ (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 około 3 W/m^2). Wielkość ta jest zależna od zawartości gazów cieplarnianych w atmosferze (średnio 410 ppm CO_2 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

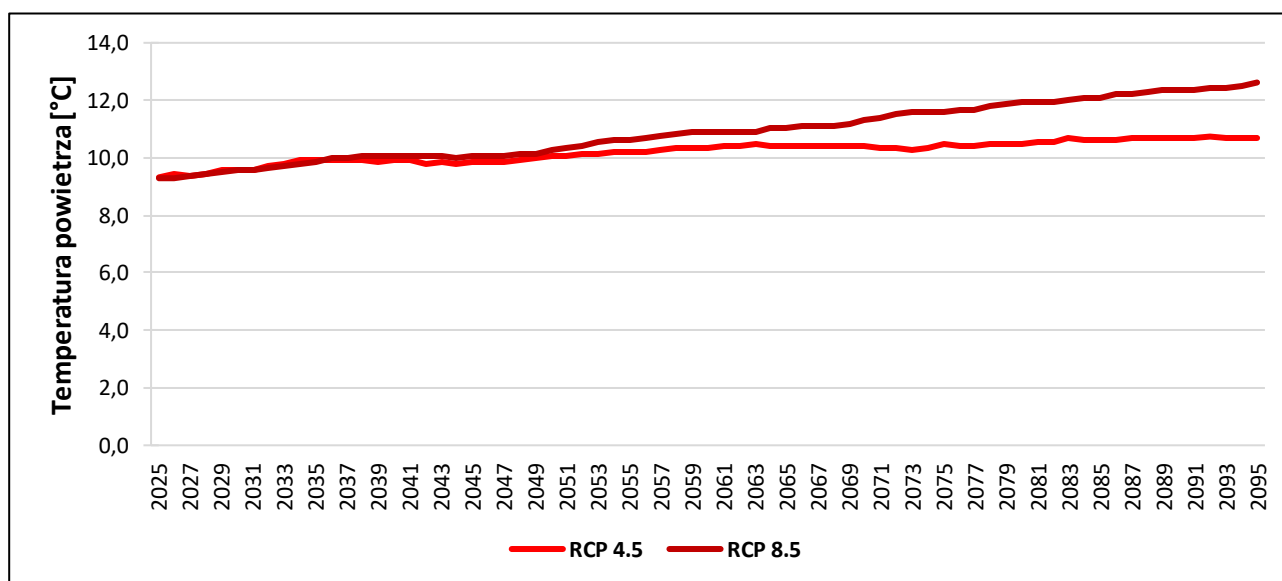
stężeń CO₂ na poziomie około 540 ppm i wymuszenia radiacyjnego na poziomie 4,5 W/m². Scenariusz zakłada, że wzrost średniej temperatury globalnej pod koniec XXI wieku wyniesie około 2,5°C;

- Scenariusz RCP 8,5 - zakłada utrzymanie aktualnego tempa wzrostu emisji gazów cieplarnianych, w formule *business as usual*. Pod koniec wieku zakładane jest osiągnięcie stężeń CO₂ na poziomie około 940 ppm oraz wymuszenia radiacyjnego na poziomie 8,5 W/m². 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 Sosnowca na podstawie danych modelowych dla dwóch scenariuszy: RCP 4,5 oraz RCP 8,5 dla powiatu miasta Sosnowca, 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.).

Temperatura powietrza

Analiza danych modelowych udostępnianych przez portal Klimada 2.0 (IOŚ-PIB) wykazała systematyczny wzrost wartości średniej rocznej temperatury powietrza w Sosnowcu w latach 2025-2095 (ryc. 31). Według scenariusza RCP 4,5 wartość ta wzrośnie od 9,3°C w roku 2025 do 10,7°C w roku 2095. Wartość średnia dla wielolecia 2021-2030 ma wynieść 9,4°C, dla wielolecia 2031-2040 9,8°C, a dla wielolecia 2041-2050 9,9°C. W świetle scenariusza RCP 8,5 wartość średniej rocznej temperatury powietrza w roku 2025 osiąga 9,3°C, a w roku 2095 12,6°C. Średnie wieloletnie według tego scenariusza wynoszą kolejno: 9,4°C w 2021-2030, 9,9°C w 2031-2040 i 10,1°C w 2041-2050.



Rys. 30 Przebieg prognozowanej średniej rocznej temperatury powietrza w Sosnowcu w latach 2025–2095
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IOŚ-PIB

W przypadku scenariusza RCP 4,5 najchłodniejszym miesiącem w roku na obszarze Sosnowca pozostanie styczeń (Tabela 3). Średnia miesięczna temperatura powietrza wyniesie wtedy $-1,1^{\circ}\text{C}$ w latach 2021-2030, $0,5^{\circ}\text{C}$ w latach 2031-2040 i $0,1^{\circ}\text{C}$ w latach 2041-2050. Kierunek zmian wartości wskazują zamieszczone w tabeli strzałki. Najcieplejszym miesiącem pozostanie lipiec, którego średnia miesięczna temperatura powietrza wyniesie $19,5^{\circ}\text{C}$ w latach 2021-2030, $19,9^{\circ}\text{C}$ w latach 2031-2040 i $20,2^{\circ}\text{C}$ 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 $-1,2^{\circ}\text{C}$, w latach 2031-2040 $-0,3^{\circ}\text{C}$ i w latach 2041-2050 $-0,2^{\circ}\text{C}$. Najcieplejszym miesiącem również pozostanie lipiec, którego średnia miesięczna temperatura powietrza wyniesie $19,5^{\circ}\text{C}$ w latach 2021-2030, $20,0^{\circ}\text{C}$ w latach 2031-2040 i $20,0^{\circ}\text{C}$ w latach 2041-2050.

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

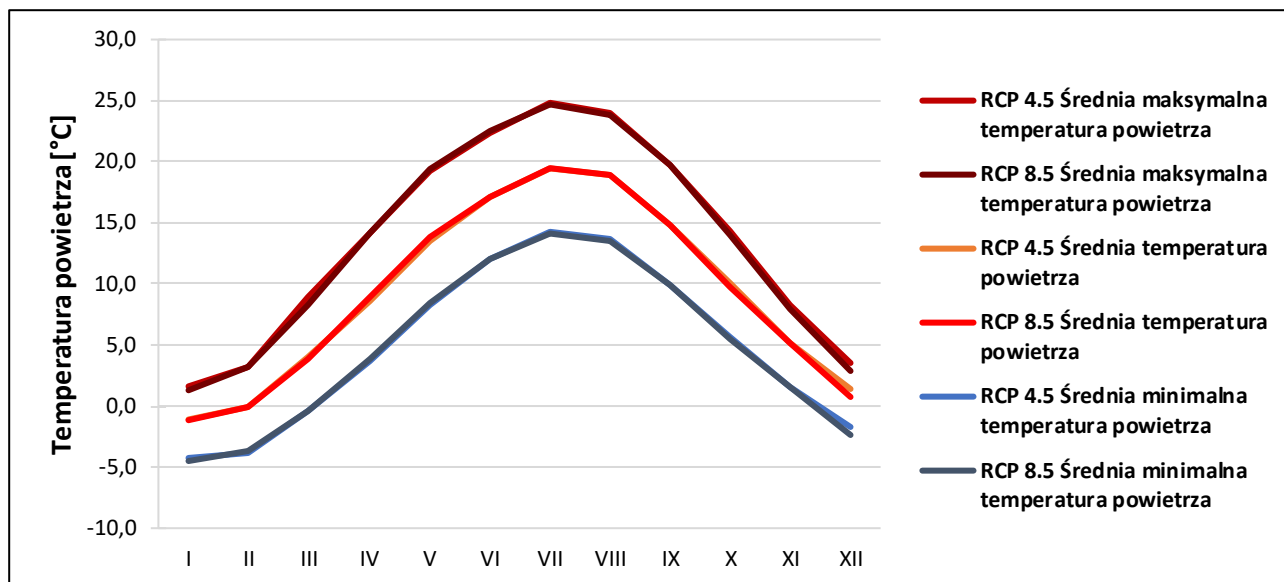
Charakterystyka klimatologiczna		Dane pomiarowe IMGW-PIB	Dane modelowe wg programu Klimada 2.0 (IOŚ-PIB)			
		1991–2020	Scenariusz	2021–2030	2031–2040	2041–2050
Średnia temperatura powietrza [$^{\circ}\text{C}$]	Najchłodniejszy miesiąc	$-1,7$ (styczeń)	RCP 4.5	$-1,1$ (↗)	$0,5$ (↗)	$0,1$ (↘)
			RCP 8.5	$-1,2$ (↗)	$-0,3$ (↗)	$-0,2$ (↗)
	Najcieplejszy miesiąc	$17,7$ (lipiec)	RCP 4.5	$19,5$ (↗)	$19,9$ (↗)	$20,2$ (↗)
			RCP 8.5	$19,5$ (↗)	$20,0$ (↗)	$20,0$ (↔)
	Wiosna	$8,2$	RCP 4.5	$8,7$ (↗)	$9,3$ (↗)	$9,1$ (↘)
			RCP 8.5	$8,9$ (↗)	$9,4$ (↗)	$9,5$ (↗)
	Lato	$17,1$	RCP 4.5	$18,5$ (↗)	$18,9$ (↗)	$19,2$ (↗)
			RCP 8.5	$18,5$ (↗)	$19,0$ (↗)	$19,1$ (↗)
	Jesień	$8,3$	RCP 4.5	$10,0$ (↗)	$10,3$ (↗)	$10,3$ (↔)
			RCP 8.5	$9,9$ (↗)	$10,4$ (↗)	$10,7$ (↗)
	Zima	$-0,8$	RCP 4.5	$0,1$ (↗)	$1,2$ (↗)	$0,8$ (↘)
			RCP 8.5	$-0,2$ (↗)	$0,7$ (↗)	$0,8$ (↗)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IOŚ-PIB

Miesięczny przebieg prognozowanej średniej, minimalnej i maksymalnej miesięcznej temperatury powietrza dla dwóch scenariuszy klimatycznych RCP w Sosnowcu w latach 2021-2030 przedstawia Rys. 31. Według ww. scenariuszy, średnie sezonowe wartości temperatury powietrza w omawianym wieloleciu prezentować się będą następująco:

- Wiosna - RCP 4,5: $8,7^{\circ}\text{C}$; RCP 8,5: $8,9^{\circ}\text{C}$;

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

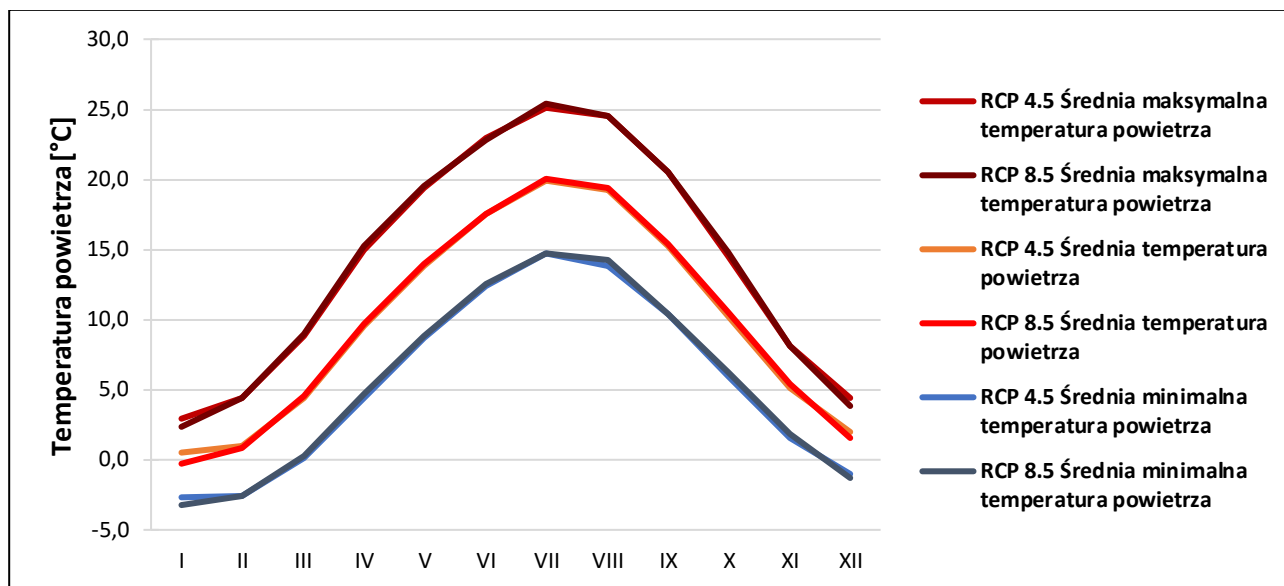


Rys. 31 Przebieg miesięczny prognozowanej średniej, minimalnej i maksymalnej temperatury powietrza w Sosnowcu w latach 2021–2030

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IOŚ-PIB

Miesięczny przebieg prognozowanej średniej, minimalnej i maksymalnej miesięcznej temperatury powietrza dla dwóch scenariuszy klimatycznych RCP w Sosnowcu w latach 2031-2040 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: 9,4°C;
- Lato - RCP 4,5: 18,9°C; RCP 8,5: 19,0°C;
- Jesień - RCP 4,5: 10,3°C; RCP 8,5: 10,4°C;
- Zima - RCP 4,5: 1,2°C; RCP 8,5: 0,7°C.

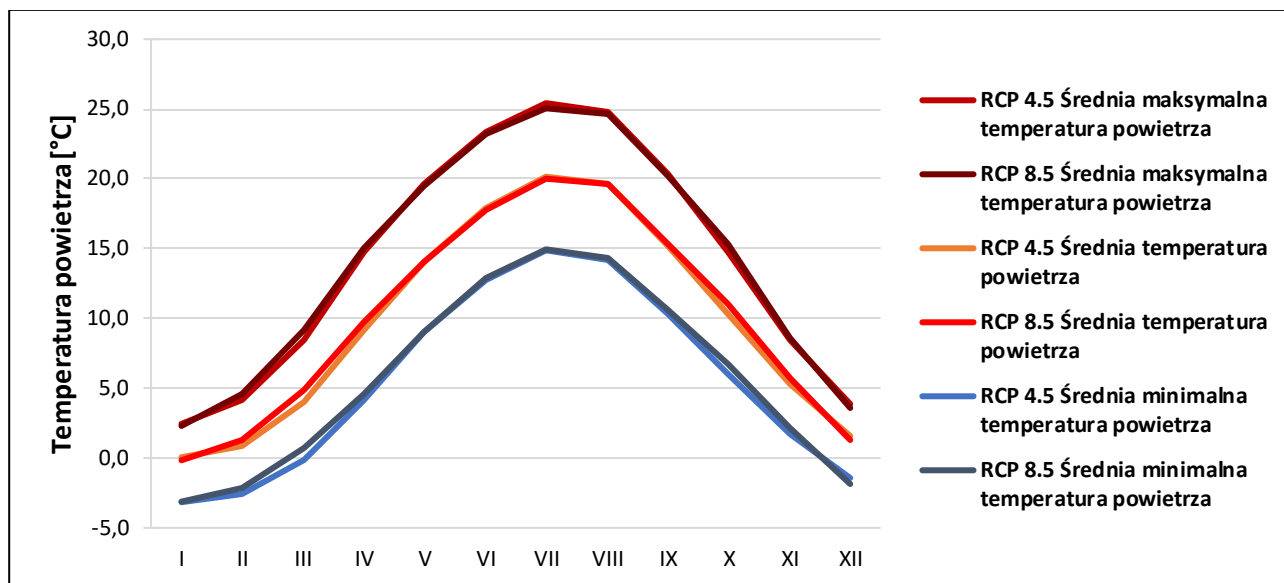


Rys. 32 Przebieg miesięczny prognozowanej średniej, minimalnej i maksymalnej temperatury powietrza w Sosnowcu w latach 2031–2040

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IOŚ-PIB

Miesięczny przebieg prognozowanej średniej, minimalnej i maksymalnej miesięcznej temperatury powietrza dla dwóch scenariuszy klimatycznych RCP w Sosnowcu w latach 2041–2050 przedstawia Rys. 33. Według ww. scenariuszy, średnie sezonowe wartości temperatury powietrza w omawianym wieloleciu prezentować się będą następująco:

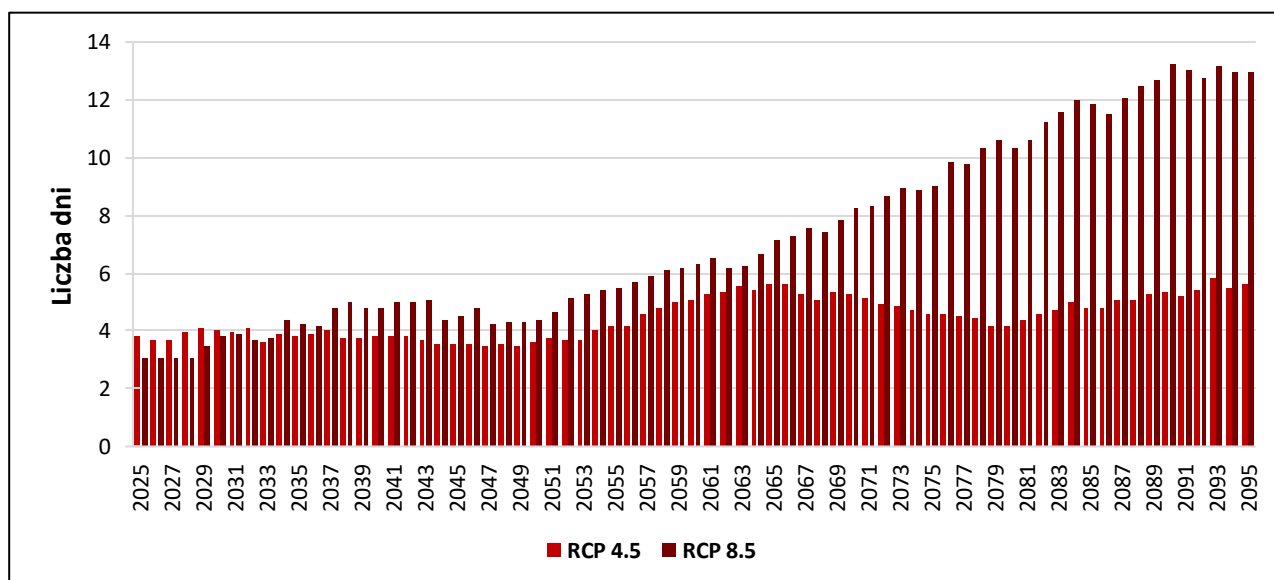
- Wiosna - RCP 4,5: 9,1°C; RCP 8,5: 9,5°C;
- Lato - RCP 4,5: 19,2°C; RCP 8,5: 19,1°C;
- Jesień - RCP 4,5: 10,3°C; RCP 8,5: 10,7°C;
- Zima - RCP 4,5: 0,8°C; RCP 8,5: 0,8°C.



Rys. 33 Przebieg miesięczny prognozowanej średniej, minimalnej i maksymalnej temperatury powietrza w Sosnowcu w latach 2041–2050

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IOŚ-PIB

Roczny przebieg prognozowanej liczby nocy tropikalnych dla dwóch scenariuszy klimatycznych RCP w Sosnowcu w latach 2025–2095 przedstawia Rys. 34. Według scenariusza RCP 4,5 liczba ta będzie wahała się od 3 do 6 takich nocy; według scenariusza RCP 8,5 natomiast od 3 do 13 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 ponowny wzrost według RCP 4,5.

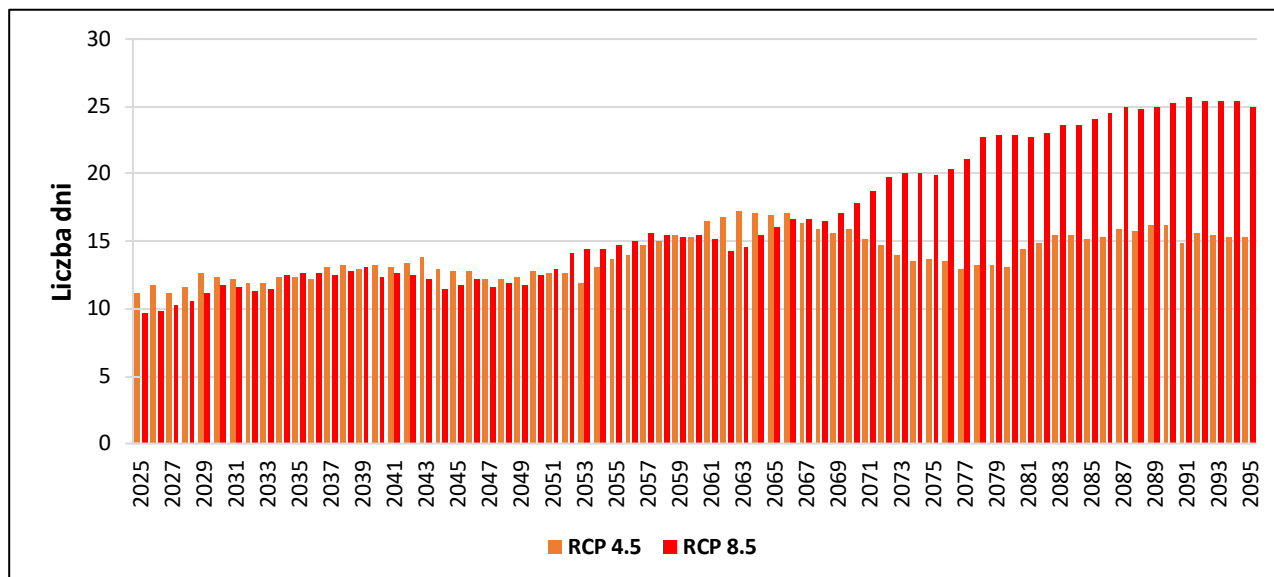


Rys. 34 Przebieg prognozowanej średniej rocznej liczby nocy tropikalnych w Sosnowcu w latach 2025–2095

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IOŚ-PIB

Projekcję średniej rocznej liczby dni upalnych według dwóch scenariuszy klimatycznych dla Sosnowca (lata 2025–2095) przedstawia Rys. 35. Według scenariusza RCP 4,5 liczba dni upalnych będzie

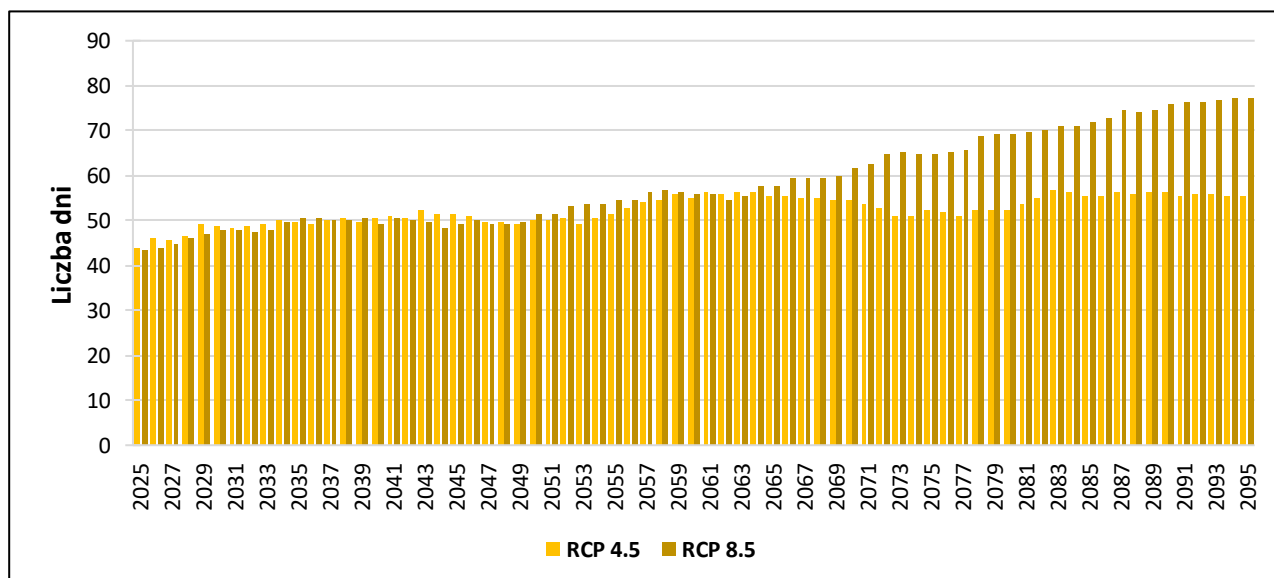
wahać się od 11 na początku okresu projekcji do około 17 po roku 2060 i około 15 z końcem czasu trwania projekcji; według scenariusza RCP 8,5 natomiast liczba ta będzie wahać się od 10 do 26 dni.



Rys. 35 Przebieg prognozowanej średniej rocznej liczby dni upalnych w Sosnowcu w latach 2025–2095

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IOŚ-PIB

Prognozowany roczny przebieg liczby dni gorących w świetle dwóch scenariuszy klimatycznych dla Sosnowca (2021–2095) przedstawiono na Rys. 36. Według scenariusza RCP 4,5 liczba takich dni będzie wahać się od 44 do 57; według scenariusza RCP 8,5 natomiast od 43 do 77.

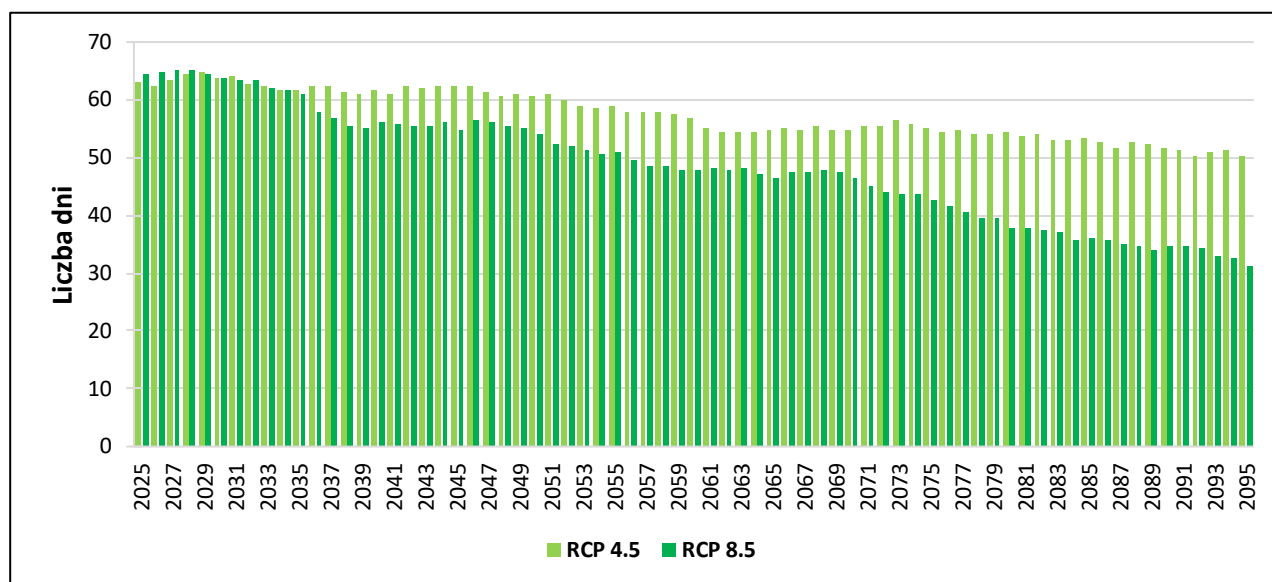


Rys. 36 Przebieg prognozowanej średniej rocznej liczby dni gorących w Sosnowcu w latach 2025–2095

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IOŚ-PIB

Rys. 37 przedstawia przebieg rocznej liczby dni z przymrozkiem w świetle dwóch scenariuszy klimatycznych dla Sosnowca w latach 2025–2095. Oba scenariusze prognozują spadek liczby dni

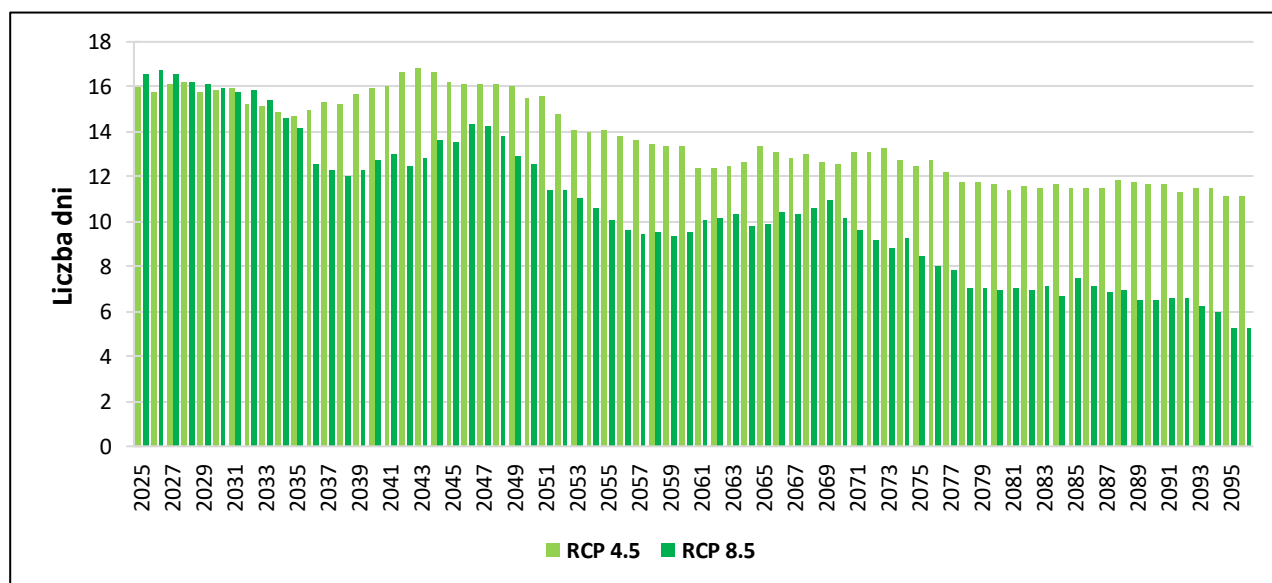
z przymrozkiem, w przypadku RCP 8,5 będzie on jednak wyraźniejszy. W świetle RCP 4,5 roczna liczba dni z przymrozkiem będzie wahała się od 50 do 65; według RCP 8,5 natomiast od 31 do 65.



Rys. 37 Przebieg prognozowanej średniej rocznej liczby dni z przymrozkiem w Sosnowcu w latach 2025–2095

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IOŚ-PIB

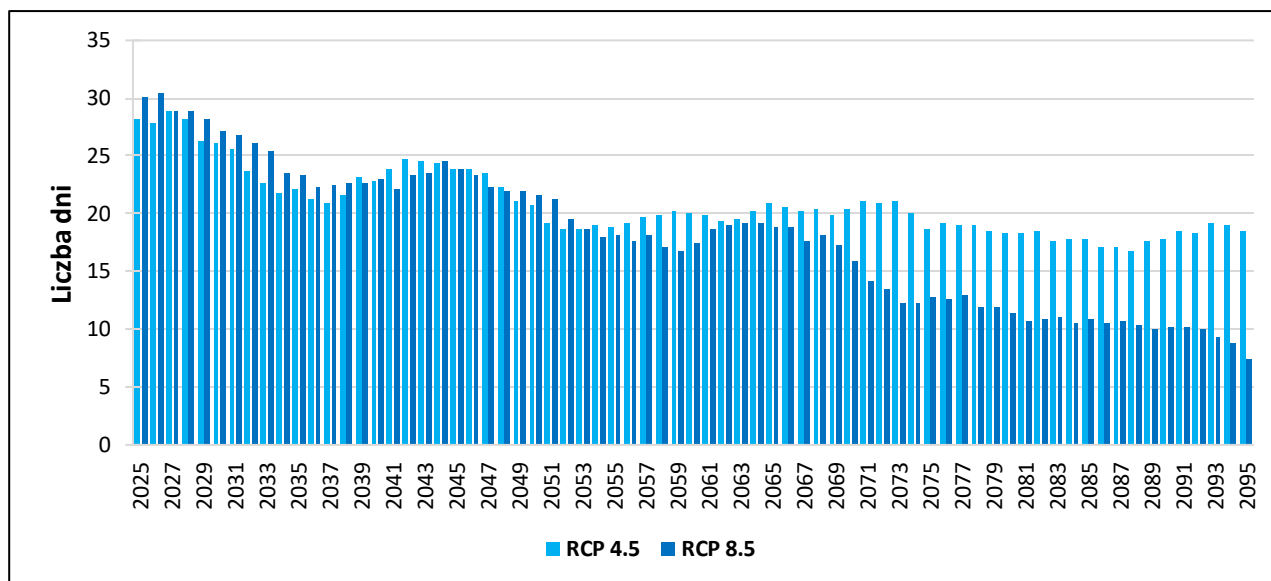
Szczególnie istotne dla rolnictwa są przymrozki wiosenne, których prognozowany przebieg w świetle dwóch scenariuszy klimatycznych na obszarze Sosnowca (2025–2095) przedstawia rys. 39. W przypadku RCP 4,5 roczna liczba dni z przymrozkiem wiosennym wahać się będzie od 11 do 17; w przypadku RCP 8,5 natomiast od 5 do 17.



Rys. 38 Przebieg prognozowanej średniej rocznej liczby dni z przymrozkiem wiosennym w Sosnowcu w latach 2025–2095

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IOŚ-PIB

Roczny przebieg prognozowanej liczby dni mroźnych w Sosnowcu dla lat 2025-2095 przedstawia Rys. 39. 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 17 do 29, natomiast scenariusz RCP 8,5 prognozuje zmienność liczby takich dni od zaledwie 7, z końcem obowiązywania projekcji, do 30.

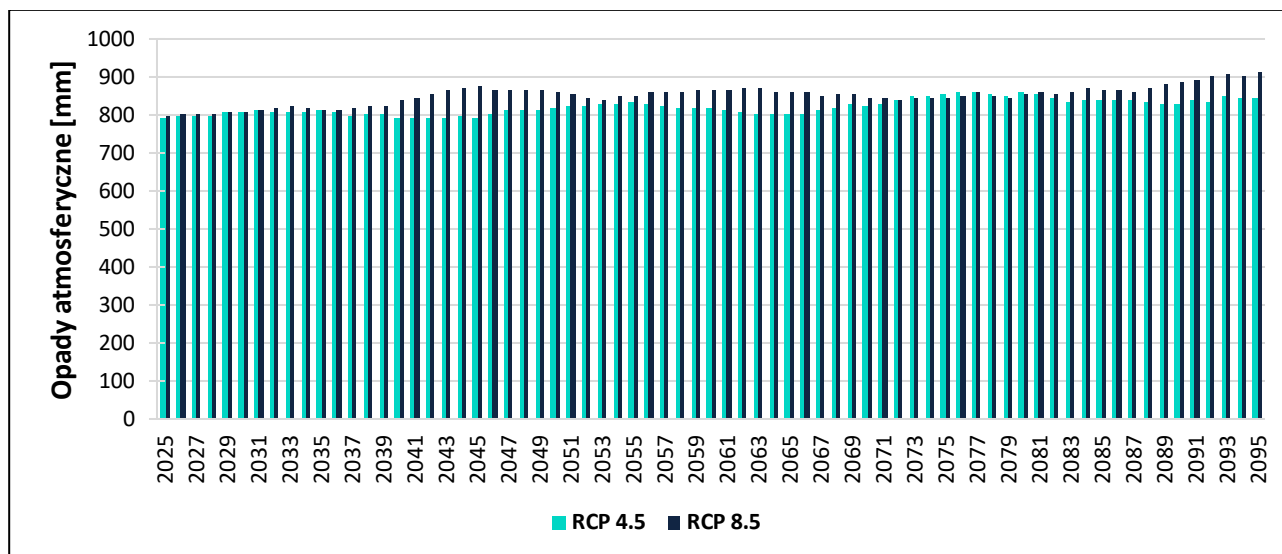


Rys. 39 Przebieg prognozowanej średniej rocznej liczby dni mroźnych w Sosnowcu w latach 2025–2095

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IOŚ-PIB

Opady atmosferyczne

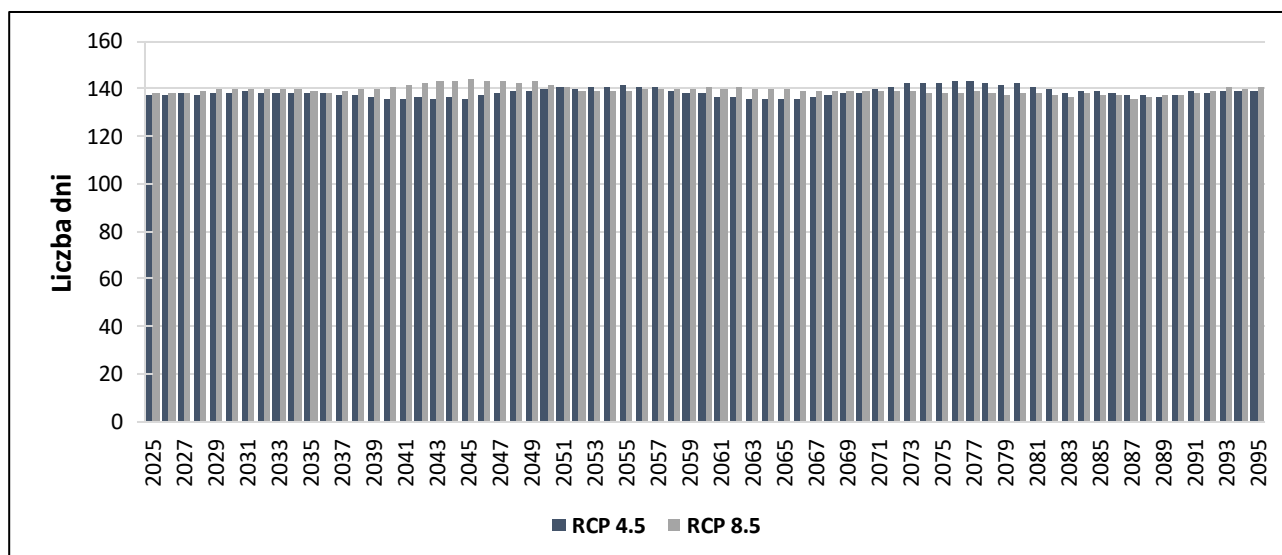
Prognozowany przebieg rocznej sumy opadów atmosferycznych w Sosnowcu na lata 2025-2095 przedstawia Rys. 40. Oba scenariusze klimatyczne zakładają fluktuacje z nieznacznym wzrostem średniej rocznej wartości. Według scenariusza RCP 4,5 wartość ta będzie mieściła się w przedziale od 790,9 do 859,7 mm; w świetle scenariusza RCP 8,5 natomiast od 799,5 do 916,0 mm.



Rys. 40 Przebieg prognozowanej rocznej sumy opadów atmosferycznych w Sosnowcu w latach 2025–2095

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IOŚ-PIB

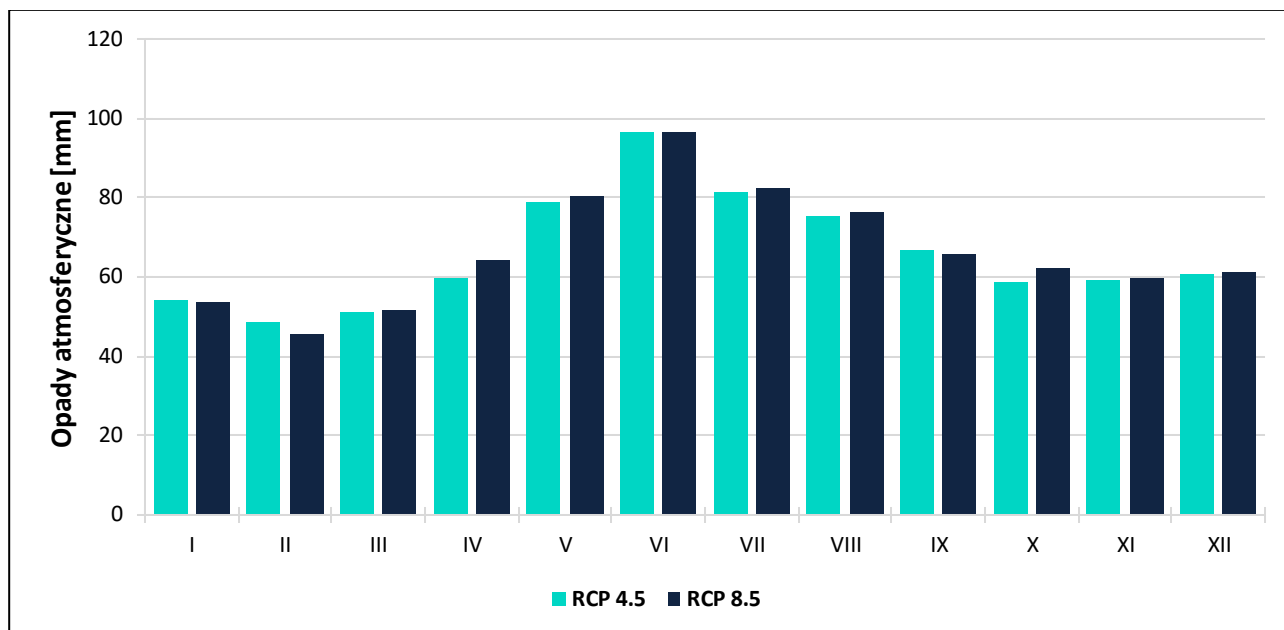
Rys. 41 przedstawia prognozowany roczny przebieg liczby dni z opadem w Sosnowcu w latach 2025–2095. Przebieg tej wartości w świetle dwóch scenariuszy klimatycznych RCP odpowiada przebiegowi prognozowanej rocznej sumy opadów atmosferycznych. W przypadku RCP 4,5 roczna liczba dni z opadem waha się od 136 do 143; w przypadku RCP 8,5 zaś od 136 do 144.



Rys. 41 Przebieg prognozowanej liczby dni z opadem w Sosnowcu w latach 2025–2095

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IOŚ-PIB

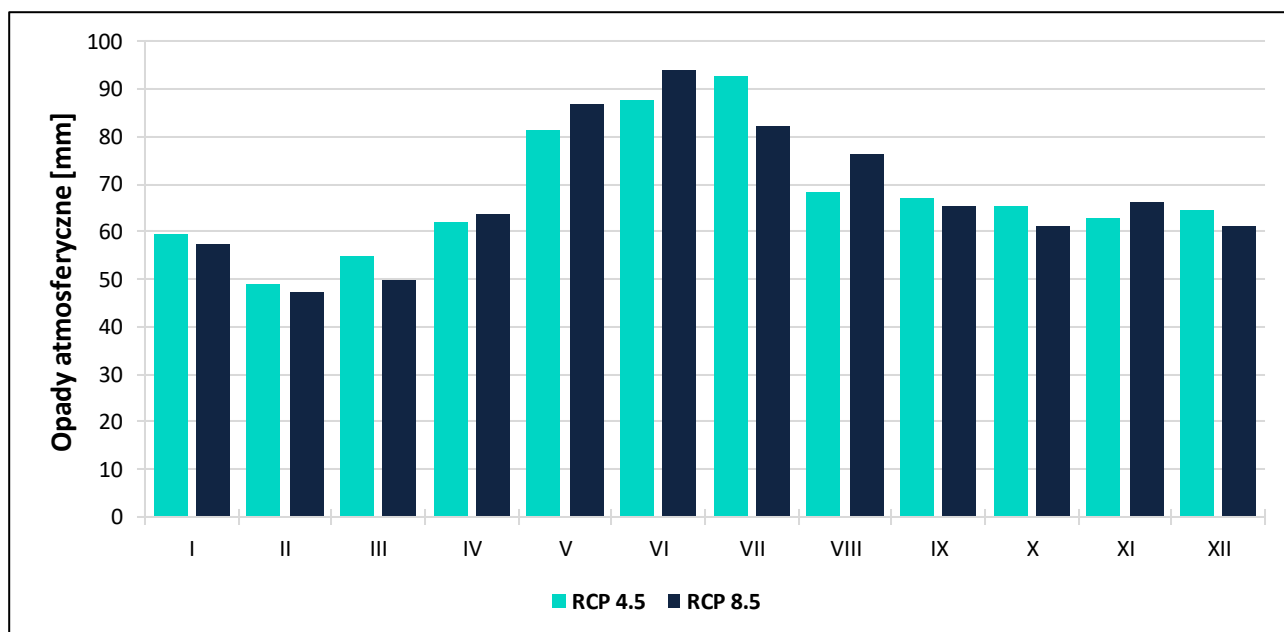
Prognozowany przebieg średniej miesięcznej sumy opadów atmosferycznych w Sosnowcu w wieloleciu 2021–2030 przedstawia ryc. 43. W omawianym wieloleciu średnia roczna suma opadów atmosferycznych ma wynieść 790,9 mm (RCP 4,5) lub 799,5 mm (RCP 8,5), czyli kolejno o 65,4 i 74,0 mm więcej od średniej za lata 1991–2020 (725,5 mm).



Rys. 42 Przebieg prognozowanej średniej miesięcznej sumy opadów atmosferycznych w Sosnowcu w latach 2021–2030

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IOŚ-PIB

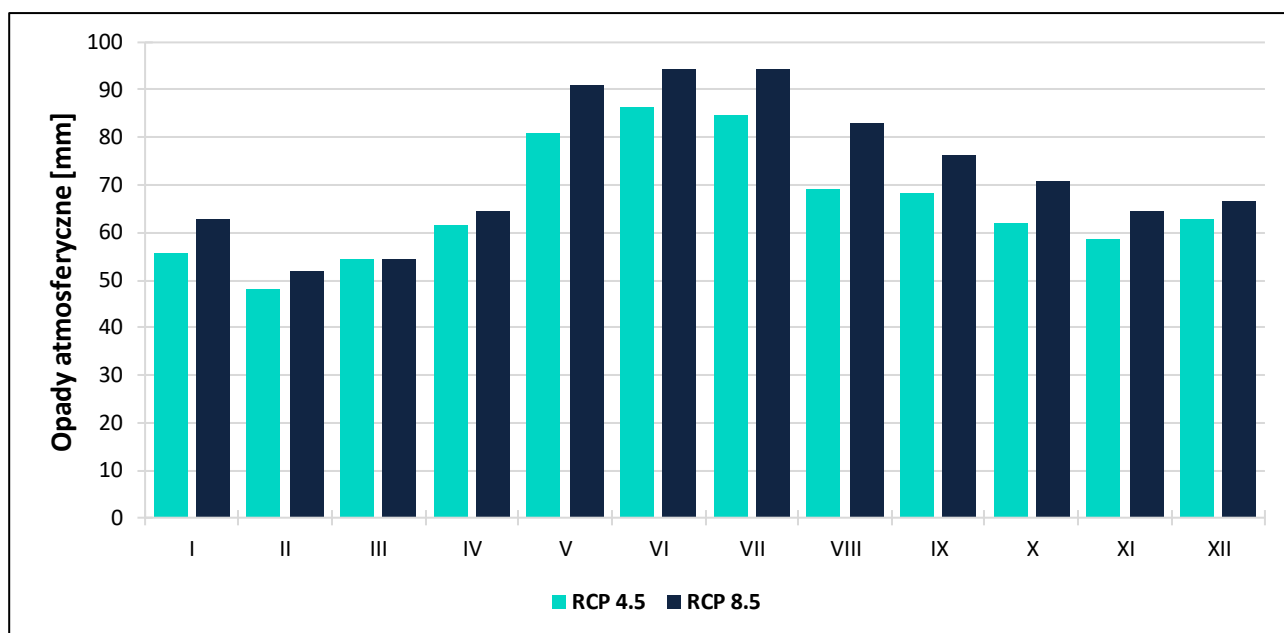
Rys. 43 przedstawia prognozowany przebieg średniej miesięcznej sumy opadów atmosferycznych w Sosnowcu w wieloleciu 2031-2040. W omawianym wieloleciu średnia roczna suma opadów atmosferycznych ma wynieść 816,0 mm (RCP 4,5) lub 811,7 mm (RCP 8,5), czyli kolejno o 90,5 i 86,2 mm więcej od średniej za lata 1991-2020 (725,5 mm).



Rys. 43 Przebieg prognozowanej średniej miesięcznej sumy opadów atmosferycznych w Sosnowcu w latach 2031–2040

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IOŚ-PIB

Przebieg prognozowanej na wieloletnie 2041-2050 średniej miesięcznej sumy opadów w Sosnowcu przedstawia Rys. 44. Według scenariusza RCP 4,5 średnia roczna suma opadów ma w tym dziesięcioleciu wynieść 793,3 mm (o 67,8 mm więcej od średniej z wielolecia 1991-2020), a według RCP 8,5 874,8 mm (o 149,3 mm więcej). Zauważalna jest wyraźnie wyższa suma opadów w każdym miesiącu w świetle projekcji RCP 8,5.



Rys. 44 Przebieg prognozowanej średniej miesięcznej sumy opadów atmosferycznych w Sosnowcu w latach 2041–2050

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IOŚ-PIB

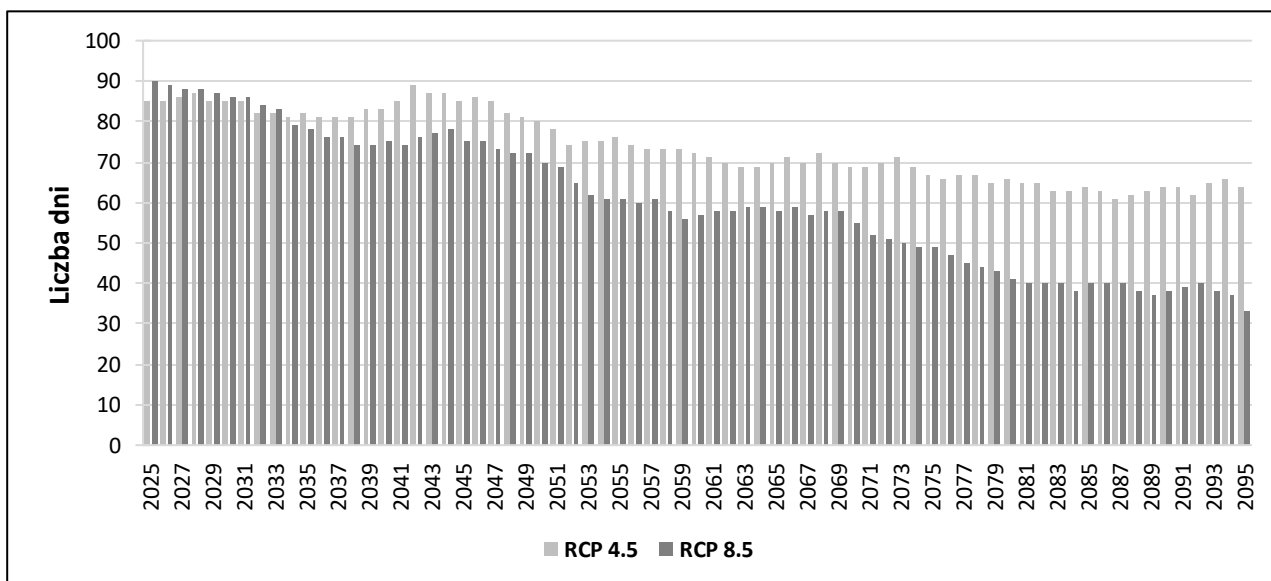
Charakterystyki prognozowanych zmian w pluwalnych dniach charakterystycznych przedstawiono poniżej (Tabela 4). Projekcje zmian należy traktować z dystansem, jako że projekt Klimada 2.0 nie jest kompatybilny z opracowaniami IMGW-PIB (standaryzowanymi do norm WMO), a prognozowanie zmian w opadach atmosferycznych jest bardziej skomplikowane od prognoz termicznych. Niemniej, w świetle obu scenariuszy RCP prognozowany jest spadek liczby dni z opadami śladowymi lub nieprzekraczającymi 1,0 mm kosztem wzrostu liczby dni z opadami o dużym natężeniu. Prognozowane charakterystyki wskazują na dalsze rozchwanie systemu klimatycznego, ze wzrostem częstości występowania okresów bezopadowych oraz trudno przyswajalnych opadów nawaalnych.

Tabela 4 Prognozowane zmiany w wybranych pluwialnych charakterystykach klimatycznych dla Sosnowca 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)			
		Scenariusz	2021–2030	2031–2040	2041–2050
Liczba dni bez opadu	192	RCP 4.5	227 (↗)	227 (↔)	228 (↗)
		RCP 8.5	227 (↗)	225 (↘)	222 (↘)
Liczba dni z opadem dziennym $RR \geq 1,0$ mm	93	RCP 4.5	138 (↗)	138 (↔)	138 (↔)
		RCP 8.5	139 (↗)	140 (↗)	143 (↗)
Liczba dni z opadem dziennym $RR \geq 10,0$ mm	14	RCP 4.5	19 (↗)	19 (↔)	19 (↔)
		RCP 8.5	19 (↗)	19 (↔)	21 (↗)
Liczba dni z opadem dziennym $RR \geq 20,0$ mm	5	RCP 4.5	4 (↘)	4 (↔)	5 (↗)
		RCP 8.5	4 (↘)	4 (↔)	5 (↗)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IOŚ-PIB

Prognozowany przebieg średniej rocznej liczby dni z pokrywą śnieżną w Sosnowcu w świetle dwóch scenariuszy klimatycznych (2021–2095) przedstawia Rys. 45. Oba scenariusze prognozują systematyczny spadek (przy niewielkich fluktuacjach w przebiegu) liczby takich dni w omawianym wieloleciu. Scenariusz RCP 4,5 prognozuje 61 dni z pokrywą śnieżną w końcu trwania projekcji; RCP 8,5 - 33. Wartości uśrednione dla dziesięcioleci przedstawia Tabela 5.



Rys. 45 Przebieg prognozowanej średniej rocznej liczby dni z pokrywą śnieżną w Sosnowcu w latach 2025–2095

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IOŚ-PIB

Prognozowaną dla lat 2021–2030, 2031–2040 i 2041–2050 średnią grubość pokrywy śnieżnej w Sosnowcu w styczniu przedstawia 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 niedoskonałości modeli, przez co powinny być traktowane z dystansem.

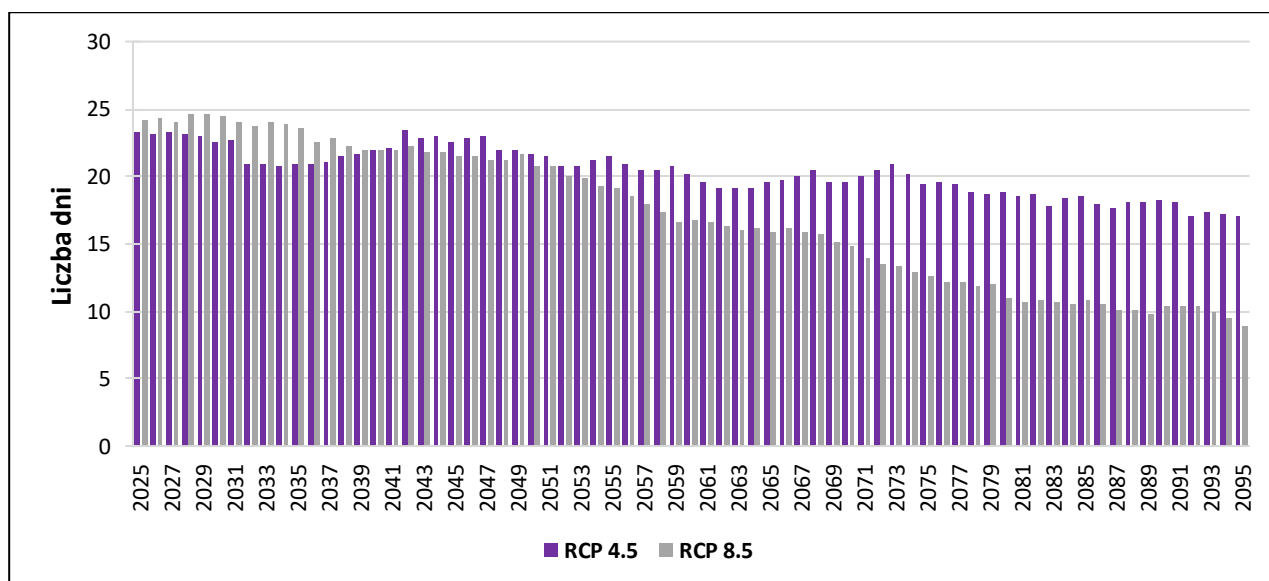
Tabela 5 Prognozowane zmiany w wybranych niwalnych charakterystykach klimatologicznych dla Sosnowca w świetle scenariuszy klimatycznych RCP (wielolecia 2021–2030, 2031–2040 i 2041–2050)

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 z pokrywą śnieżną*	58	RCP 4.5	86	82 (↘)	85 (↗)
		RCP 8.5	88	76 (↘)	74 (↘)
Średnia grubość pokrywy śnieżnej (styczeń) [cm]	6,4	RCP 4.5	5,9 (↘)	5,0 (↘)	5,3 (↗)
		RCP 8.5	6,7 (↗)	5,3 (↘)	4,2 (↘)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IOŚ-PIB

Inne elementy klimatu i zjawiska atmosferyczne

Prognozowana międzyroczna zmienność liczby dni z gołoledzią (2025–2095) w Sosnowcu przedstawiona została na Rys. 46. W świetle RCP 4,5 z końcem czasu trwania projekcji w Sosnowcu należy się spodziewać około 17 dni z gołoledzią, natomiast wg. RCP 8,5 – 9 takich dni.



Rys. 46 Przebieg prognozowanej średniej rocznej liczby dni z gołoledzią w Sosnowcu w latach 2025–2095

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IOŚ-PIB

4. Charakterystyka zjawiska powierzchniowej miejskiej wyspy ciepła (PMWC) na obszarze Sosnowca

Miejska wyspa ciepła (MWC) definiowana jest jako zjawisko klimatyczne polegające na występowaniu podwyższonej temperatury powietrza w mieście w stosunku do otaczających je terenów peryferyjnych (niezabudowanych). Jest to zjawisko dynamiczne, charakteryzujące się dużą zmiennością dobową i roczną. Jego zasięg nawiązuje do zabudowy. Najwyższa temperatura występuje w centrum miasta i jego okolicach, co jest związane z przeważającą obecnością zabudowy zwartej. Nieco wyższa temperatura powietrza, niż na obszarach referencyjnych, występuje na obszarach o zabudowie luźnej, natomiast w lasach, na terenach otwartych oraz w parkach odchylenie temperatury powietrza od wartości zanotowanej na obszarach referencyjnych jest bliskie zeru, co oznacza brak miejskiej wyspy ciepła.

Miejską wyspę ciepła dla Sosnowca wyznaczono według następującej, opisanej poniżej metodyki:

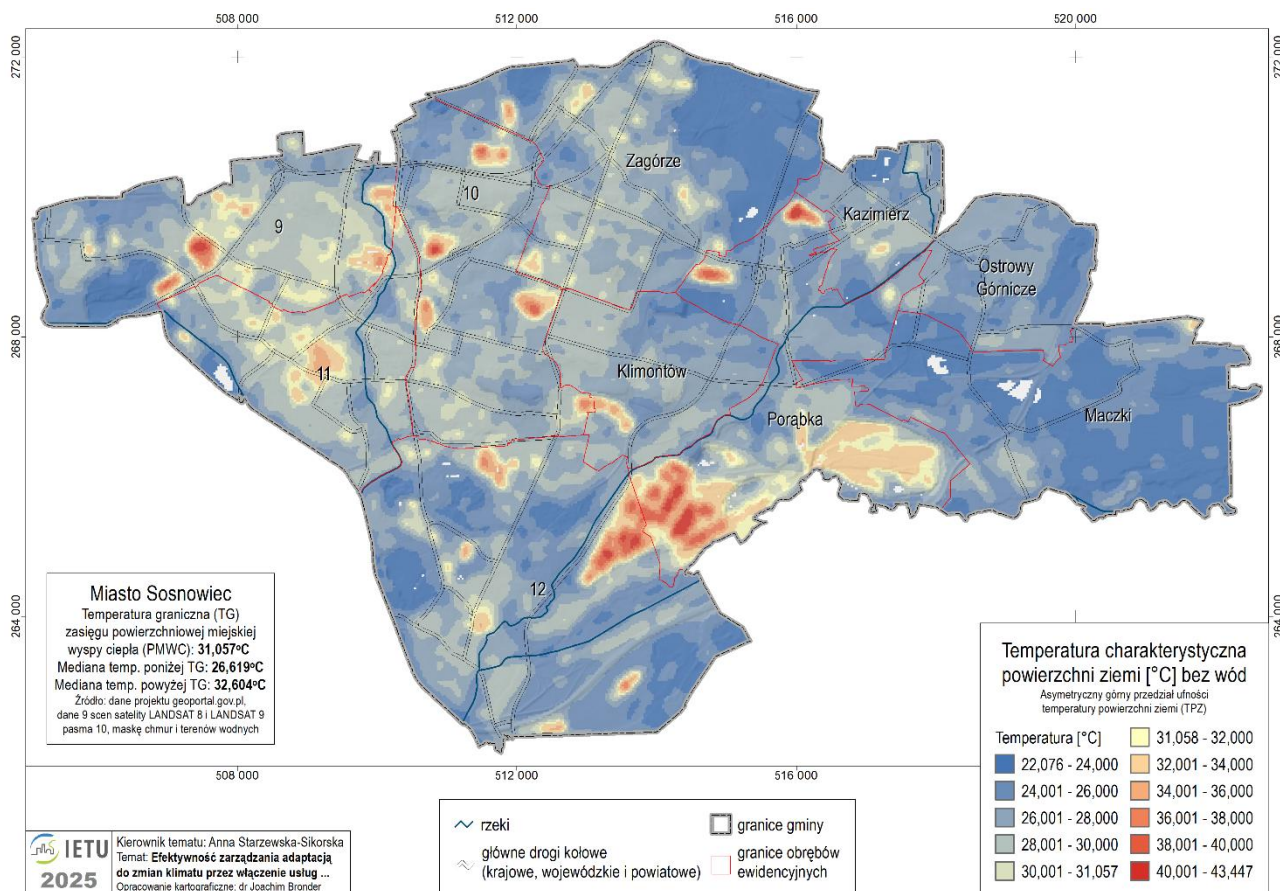
- Utworzenie serii map temperatury powierzchni terenu. W pracy wykorzystano zdjęcia satelitarne z satelity Landsat 8 i Landsat 9. Ponieważ sensor satelity dostarcza informację o temperaturze powierzchni terenu, wyznaczona w ten sposób MWC jest powierzchnią miejską wyspą ciepła (PMWC). W pierwszym etapie utworzono mapy temperatury powierzchni terenu (TPT) na podstawie pojedynczych scen satelitarnych. Sceny te pochodzą z lat 2018-2024. Przyjęto, iż sceny satelitarne stosowane w tworzeniu map TPT muszą spełniać następujące warunki: obszar analizy znajdujący się w zasięgu scen satelitarnych musi być wolny od zachmurzenia ponieważ zniekształca ono obraz termiki powierzchni terenu; termin wykonania danej sceny satelitarnej powinien reprezentować ciepły okres roku, w tym przypadku przyjęto okres od równonocy wiosennej do równonocy jesiennej; sceny satelitarne powinny być w miarę aktualne, do analiz wybiera się sceny najnowsze i uzupełnia się coraz starszymi; średnie temperatury powierzchni terenu obliczone na podstawie scen satelitarnych powinny tworzyć zbiór charakteryzujący się rozkładem normalnym. Do określenia temperatury powierzchni ziemi (TPZ) powinno się użyć co najmniej 5 zdjęć.

W przypadku Sosnowca udało się wybrać 9 scen satelitarnych. Poszczególne mapy TPT utworzono na podstawie wzorów zawartych w podręczniku Landsat 8 (L8) Data Users Handbook, USGS, April 2019¹. W celu obliczenia powierzchniowej temperatury (temperatury kinetycznej) – LST (*land surface temperature*) zastosowano równanie Stefana-Boltzmann'a uwzględniające współczynnik emisyjności (ϵ) który obliczono na podstawie współczynnika NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*).

- Utworzenie mapy temperatury powierzchni ziemi (TPZ). Wartości temperatur powierzchni terenu dla każdego piksela tworzą próbę statystyczną, dla której oblicza się estymatory położenia (średnią) i rozproszenia (odchylenie standardowe). Na tej podstawie, uwzględniając wartość statystyki t-Studenta i wielkość próby, oblicza się asymetryczny górny przedział ufności temperatury. Reprezentuje on wartość temperatury poniżej której znajduje się 95% przypadków temperatury dla danej próby. Tę wartość przyjmuje się jako temperaturę powierzchni ziemi (TPZ), którą stosuje się do wyznaczenia zasięgu powierzchniowej miejskiej wyspy ciepła.

Na podstawie 9 wybranych scen satelitarnych i sporządzonych dla nich map temperatury powierzchni terenu, jako ich wypadkową, wykonano mapę temperatury powierzchni ziemi Sosnowca (Rys. 47).

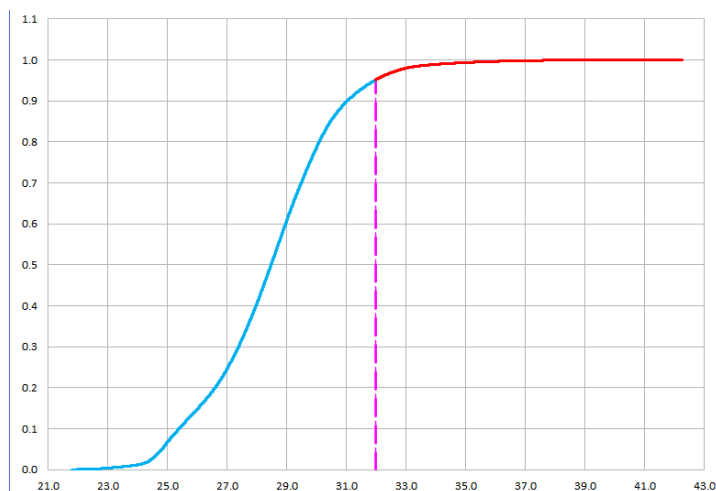
¹ Landsat 8 (L8). Data Users Handbook, Version 4.0, 2019, Department of the Interior U.S. Geological Survey



Rys. 47 Mapa temperatury powierzchni ziemi Sosnowca

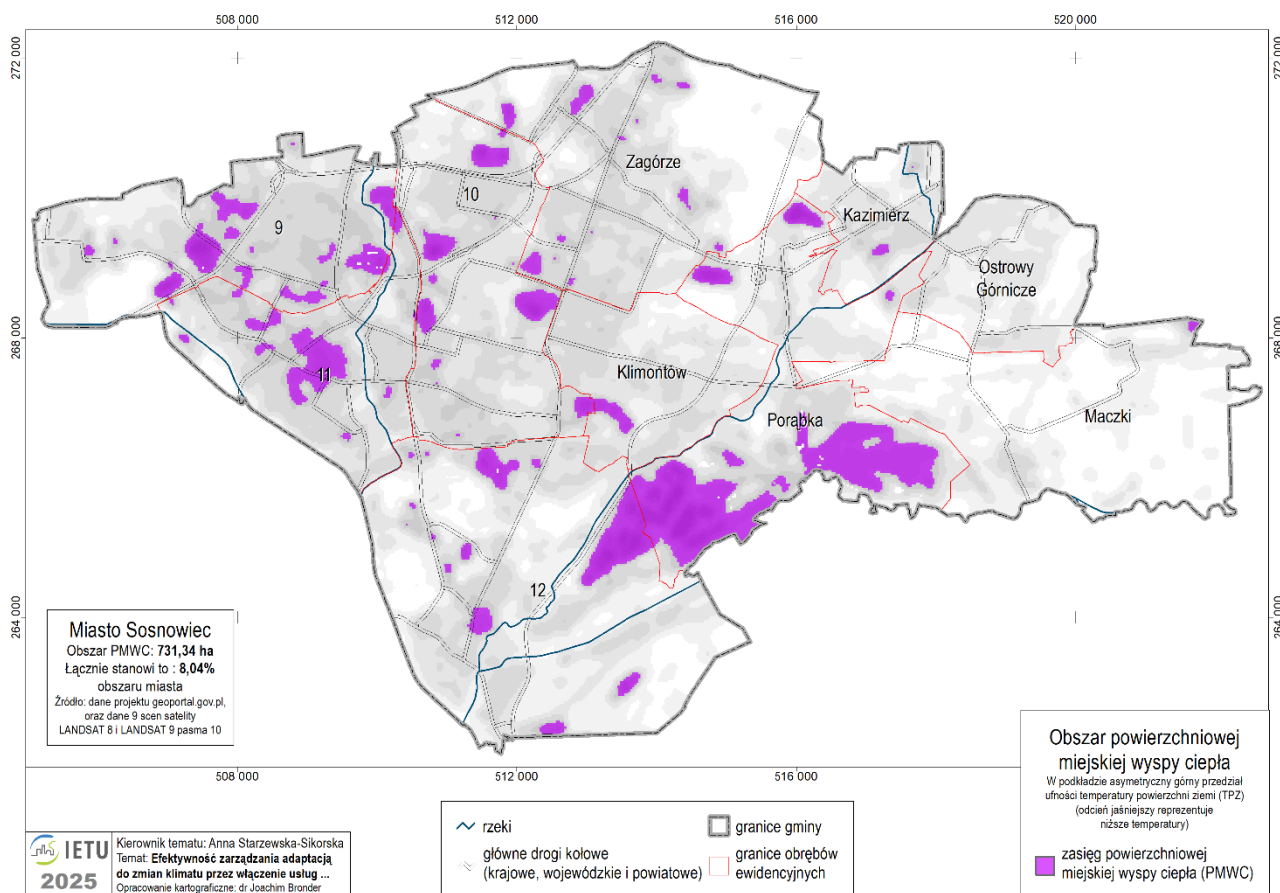
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych projektu geoportal.gov.pl oraz danych satelity Landsat 8 i 9

- Utworzenie mapy zasięgu powierzchniowej miejskiej wyspy ciepła. W celu wyznaczenia zasięgu PMWC konieczne jest znalezienie izotermi granicznej, czyli temperatury, która oddzieli obszar PMWC od obszaru „tła termicznego”. Obszar z temperaturami wyższymi od temperatury granicznej znajduje się w zasięgu PMWC. Istnienie powierzchniowej miejskiej wyspy ciepła odzwierciedla się w histogramie obliczonej temperatury powierzchni. Asymetria w postaci wyciągnięcia histogramu w kierunku wartości wysokich oznacza istnienie obszarów ze zjawiskiem PMWC (Rys. 48). Istotą metody jest wyznaczenie na wykresie dystrybuanty temperatury punktu przegięcia powyższej funkcji (punktu granicznego). Punkt graniczny stanowi granicę pomiędzy dwoma obszarami. Dla wartości statystyki serii punktów położonych na odcinku tej funkcji (np. mediany) odczytuje się wartość temperatury powierzchni ziemi (Bronder i inni, 2019) (Rys. 48). Temperatura graniczna i jej izoterma determinują przestrzenny rozkład powierzchniowej miejskiej wyspy ciepła.



Rys. 48. Przykładowy wykres dystrybucyjny temperatury powierzchni ziemi dla obszaru miasta
Źródło: opracowanie własne

- Wykonaną mapę zasięgu powierzchniowej miejskiej wyspy ciepła w Sosnowcu przedstawiono na (Rys. 49). Powierzchnia PMWC w Sosnowcu obejmuje 731,34 ha. Stanowi to 8,04% obszaru miasta. Powierzchniowa miejska wyspa ciepła w Sosnowcu ma charakter archipelagu rozrzuconych po całym terenie miasta większych i mniejszych wysp i wysepek.



Rys. 49. Mapa zasięgu powierzchniowej miejskiej wyspy ciepła w Sosnowcu

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych projektu geoportal.gov.pl oraz danych satelity Landsat 8 i 9

5. Jakość powietrza w Sosnowcu

Podstawę analizy stężeń zanieczyszczeń powietrza w Sosnowcu stanowiły wyniki badań jakości powietrza prowadzonych w latach 2016-2023 przez Główny Inspektorat Ochrony Środowiska (GIOŚ) w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska (PMŚ) na dwóch stacjach tła miejskiego:

- w Sosnowcu przy ul. Lubelskiej 51 (SlSosnoLubel);
- w Katowicach przy ul. Kossutha 6 (SlKatoKossut).

Dane te są publicznie udostępniane poprzez Portal Jakości Powietrza Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska [<http://powietrze.gios.gov.pl/pjp/archives>].

W opracowaniu wykorzystano dane pochodzące ze stanowisk manualnych, jak i automatycznych. Na potrzeby analizy wykorzystano serie danych o kompletności wyników w danym roku wyższej od 90%. Funkcjonująca na obszarze Sosnowca stacja pomiarowa PMŚ (SlSosnoLubel) dokonuje jedynie pomiarów pyłów zawieszonych PM₁₀, przez co w zakresie pomiarów pyłów zawieszonych PM_{2,5} oraz ozonu niskotroposferycznego oparto się o dane pochodzące ze stacji pomiarowej zlokalizowanej w Katowicach przy ul. Kossutha 6 (SlKatoKossut), oddalonej o około 11 kilometrów w kierunku zachodnim i położonej o około 17 metrów wyżej od centrum Sosnowca. Stację tę określono jako reprezentatywną dla miasta na potrzeby niniejszego opracowania.

Zakres analizy stężeń zanieczyszczeń w powietrzu obejmował ocenę występowania letnich i zimowych stanów smogowych. W związku z powyższym wykonano analizę stężeń ozonu troposferycznego, pyłów zawieszonych PM_{2,5} oraz PM₁₀, a także ocenę częstości przekraczania poziomów normowych, poziomów informowania oraz poziomów alarmowych tych zanieczyszczeń, o ile poziomy takie obowiązują.

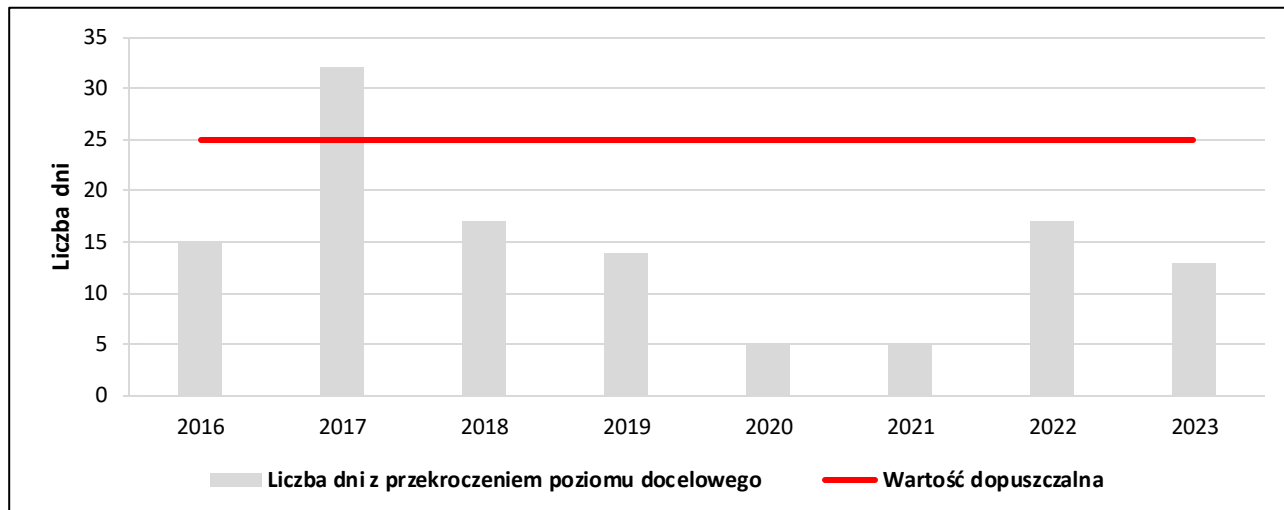
Zastosowane do analizy wartości kryterialne są zgodne z rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu, zmienionym rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 8 października 2019 r. (tekst jednolity Dz.U. z 2021 r., poz. 845).

Jakość powietrza ze względu na ozon troposferyczny

Ozon niskotroposferyczny powstaje jako wtórne zanieczyszczenie powietrza przy powierzchni ziemi na skutek przemian fotochemicznych (zachodzących pod wpływem światła słonecznego). W przemianach tych uczestniczą m.in. lotne związki organiczne (LZO) i tlenki azotu (NO_x). Maksymalne stężenia ozonu obserwowane są w okresie letnim, w trakcie słonecznych, upalnych i suchych dni. Główne czynniki klimatyczne sprzyjające powstawaniu ozonu w przyziemnej warstwie atmosfery to wysoka temperatura i następnienie.

Poziom docelowy dla ozonu jest wyznaczany ze względu na ochronę zdrowia ludzi jako maksymalna dobową wartość stężenia z 8-godzinnych średnich kroczących i wynosi 120 µg/m³. Częstość przekraczania tego poziomu docelowego w Sosnowcu w latach 2016-2023 została przedstawiona na Rys. 50. Liczba dni

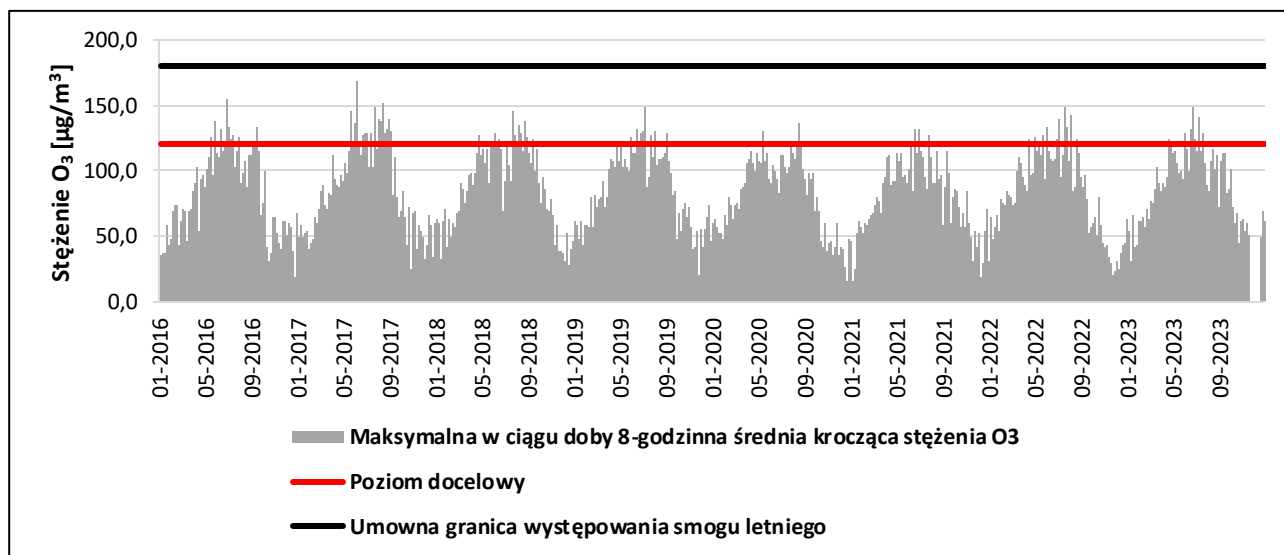
z przekroczeniami w analizowanym okresie wyniosła od 5 (w latach 2020 i 2021) do 32 (w roku 2017). Wartość dopuszczalna została przekroczona jedynie w roku 2017.



Rys. 50 Częstość przekraczania docelowego stężenia ozonu w Sosnowcu w latach 2016–2023

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych PMŚ

Rys. 51 przedstawia omawiany wcześniej przebieg maksymalnych w ciągu doby 8-godzinnych średnich kroczących ozonu w Sosnowcu w analizowanym przedziale czasowym. Czerwona linia na wykresie wyznacza poziom docelowy ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Zauważalne są przekroczenia poziomu docelowego w sezonach letnich.



Rys. 51 Przebieg maksymalnych w ciągu doby 8-godzinnych średnich kroczących stężenia ozonu w Sosnowcu w latach 2016–2023

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych PMŚ

Poziomy alertowe dla stężeń 24-godzinnych ozonu wynoszące odpowiednio $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (poziom informowania, przyjęty w niniejszym opracowaniu jako umowna granica występowania smogu letniego) oraz $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (poziom alarmowy) nie były przekraczane (rys. 48).

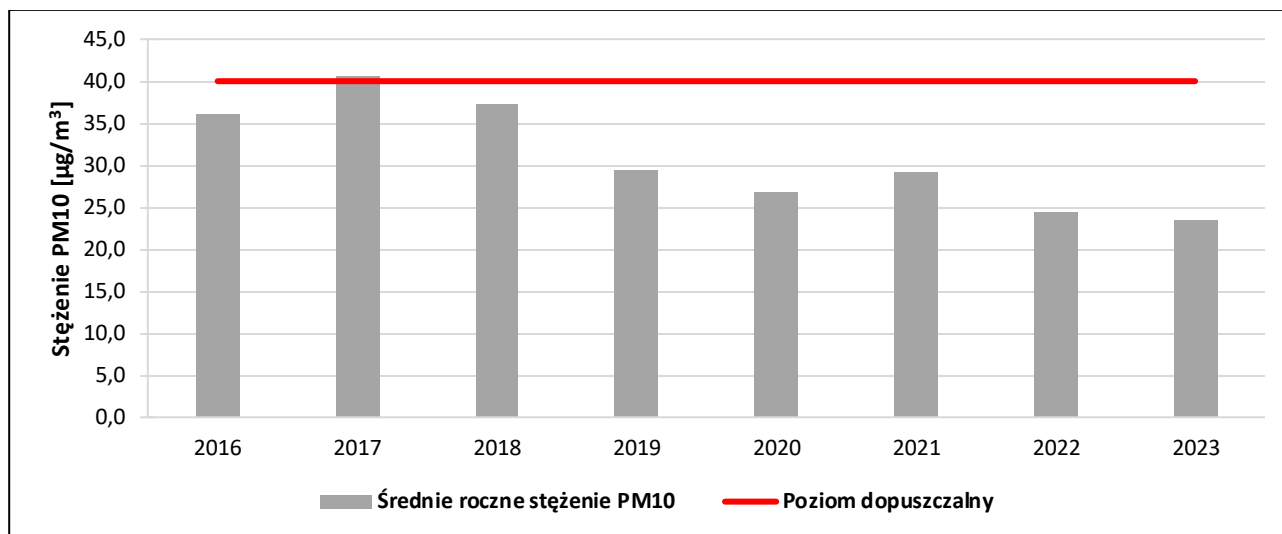
Jakość powietrza ze względu na pył zawieszony PM10

Pyły trafiają do powietrza zarówno w wyniku procesów naturalnych, jak i antropogenicznych. Pył zawieszony PM10 jest mieszaniną substancji organicznych i nieorganicznych zawierających substancje toksyczne, rakotwórcze i mutagenne, np. wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, polichlorowane dibenzodioxyny/furany, czy też metale ciężkie. Głównym źródłem pyłu PM10 w powietrzu są procesy spalania paliw, głównie paliw stałych, prowadzone w różnej skali, we wszelkich gałęziach gospodarki, od energetyki i przemysłu począwszy, poprzez gospodarstwa domowe i usługi, a na transporcie i rolnictwie skończywszy. Częstki pyłu, głównie w wyniku procesów respiracyjnych, mogą przedostawać się do organizmów żywych, niosąc ze sobą wszystkie zawarte w nich substancje toksyczne rakotwórcze i mutagenne. W organizmie człowieka cząstki o średnicy do 10 μm zatrzymują się w górnych odcinkach dróg oddechowych.

Czynniki klimatyczne mające wpływ na poziom pyłu PM10 w powietrzu to:

- niska temperatura, a zwłaszcza spadek temperatury poniżej 0°C (większa emisja pyłów na skutek wzmożonego zapotrzebowania na ciepło, głównie z indywidualnych systemów grzewczych);
- zaleganie układów wyżowych o słabym gradiencie ciśnienia i związane z tym występowanie okresów bezwietrznych lub o niskiej prędkości wiatru (brak przewietrzania terenów o gęstej zabudowie);
- występowanie dni z mgłą, wskazujące często na przyziemną inwersję temperatury, hamującą dyspersję zanieczyszczeń (najczęściej w okresie jesienno-zimowym);
- okresy następujących po sobie kilku, a nawet kilkunastu dni bez opadów (brak wymywania zanieczyszczeń z powietrza oraz zwiększona emisja wtórna).

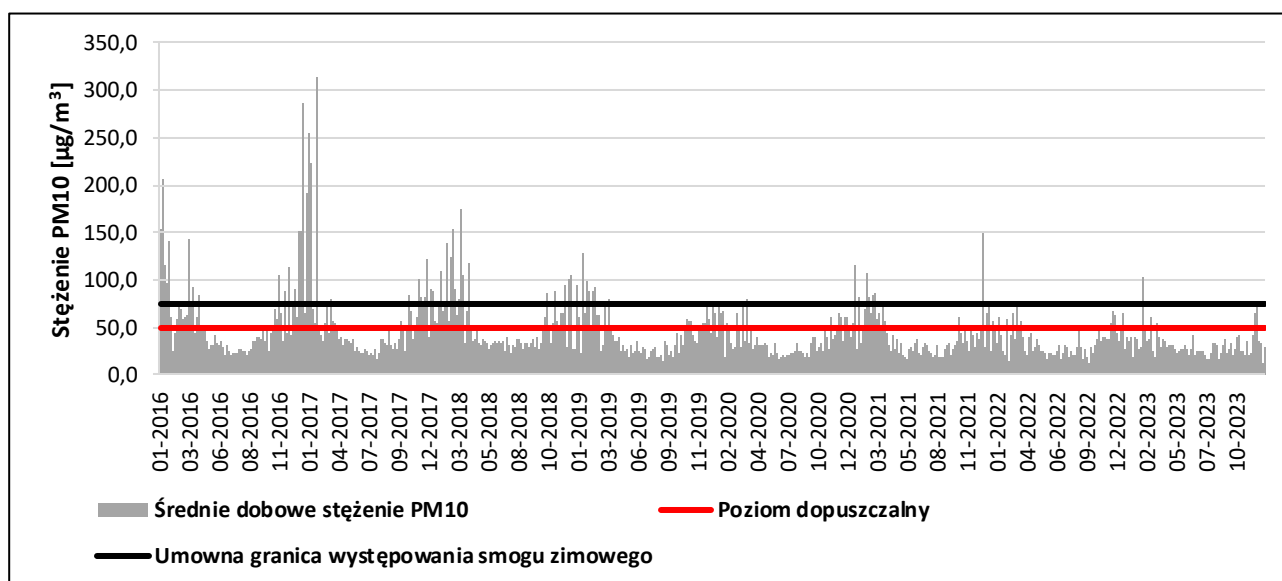
W analizowanym przedziale czasowym na stacji w Sosnowcu poziom dopuszczalny dla średniego rocznego stężenia pyłów zawieszonych PM10 wynoszący 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ został przekroczony jedynie w roku 2017 (40,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Co więcej, spadek średniego rocznego stężenia PM10 był stały i znaczący, tak że stężenie średnie roczne osiągnęło w 2023 stosunkowo niską wartość - 23,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Rys. 52).



Rys. 52 Przebieg średniego rocznego stężenia pyłu zawieszonego PM10 w Sosnowcu (2016–2023)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych PMŚ

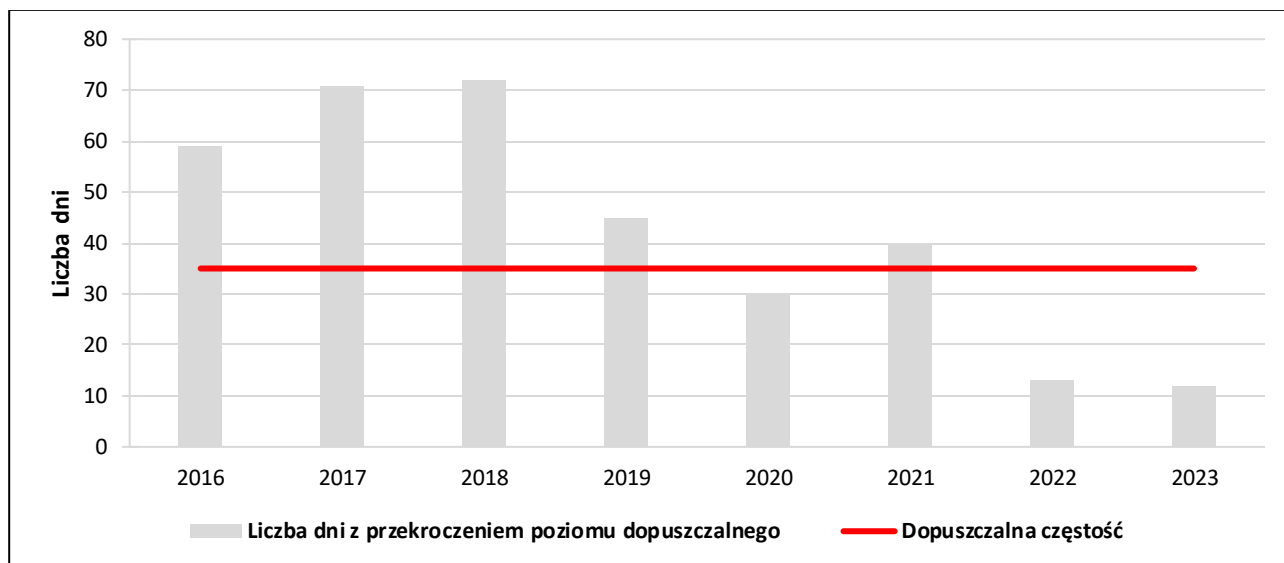
Przeanalizowano również przebieg wartości 24-godzinnej średniego stężenia pyłu PM10 w rozpatrywanym okresie w Sosnowcu (Rys. 53). Dopuszczalny dla średniego 24-godzinnej stężenia poziom wynoszący $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ był w latach 2016-2023 wielokrotnie przekraczany.



Rys. 53 Przebieg średnich 24-godzinnych stężenia pyłu zawieszonego PM10 w Sosnowcu (2016–2023)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych PMŚ

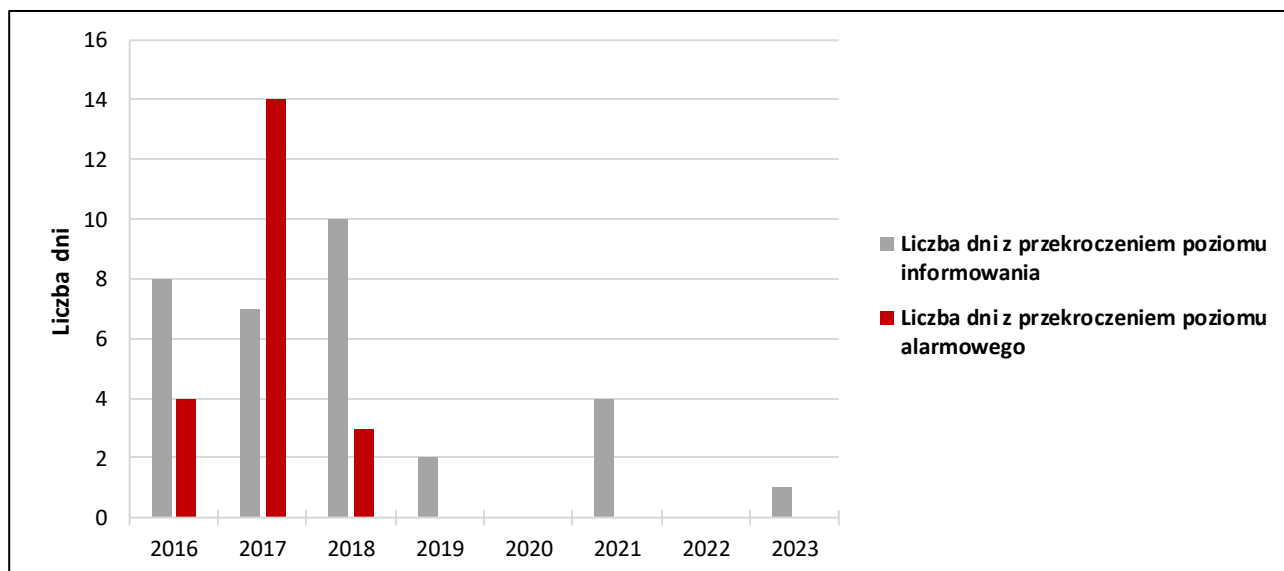
Rys. 54 przedstawia przebieg liczby dni z przekroczeniem poziomu dopuszczalnego ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) dla średniego 24-godzinnej stężenia pyłu zawieszonego PM10 w Sosnowcu. Dopuszczalna częstość takich przekroczeń wynosi 35 dni i została ona przekroczona w latach 2016 (59 dni), 2017 (71 dni), 2018 (72 dni), 2019 (45 dni) oraz 2021 (40 dni). Ostatnie lata analizowanego przedziału czasowego charakteryzował znaczny spadek liczby dni z przekroczeniami - 13 takich dni w roku 2022 oraz 12 w roku 2023.



Rys. 54 Przebieg liczby dni z przekroczeniem poziomu dopuszczalnego średniego 24-godzinnego stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ w Sosnowcu (2016–2023)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych PMŚ

W sezonach grzewczych odnotowywano w Sosnowcu średnie 24-godzinne stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ przekraczające 100 µg/m³ (poziom informowania) czy 150 µg/m³ (poziom alarmowy). W analizowanym okresie maksymalna dobową wartość stężenia PM₁₀ odnotowana została 15.02.2017 i wyniosła 313,9 µg/m³. Rys. 55 przedstawia przebieg liczby dni z przekroczeniem poziomów informowania oraz alarmowego dotyczących średniego 24-godzinnego stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ w Sosnowcu.

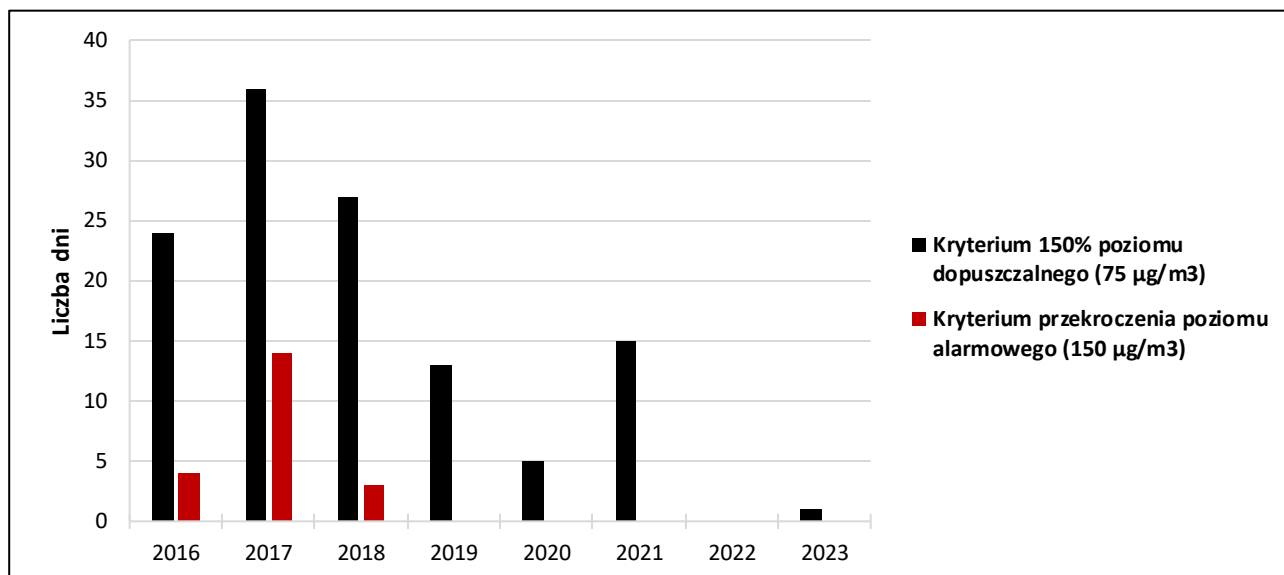


Rys. 55 Przebieg liczby dni z przekroczeniem poziomów informowania oraz alarmowego dot. średniego 24-godzinnego stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ w Sosnowcu (2016–2023)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych PMŚ

Ze względu na brak ściśle określonej granicy występowania smogu zimowego (kwaśnego), na potrzeby niniejszego opracowania porównano ze sobą dwa kryteria graniczne. Według pierwszego z nich za granicę występowania smogu zimowego przyjęto 150% poziomu dopuszczalnego wobec średniego 24-

godzinne stężenia PM₁₀, tj. 75 µg/m³ (wyznaczone czarną linią na Rys. 53). Drugie podejście zakłada tożsamość występowania sytuacji smogowej z przekroczeniem poziomu alarmowego dot. średniego 24-godzinne stężenia PM₁₀, tj 150 µg/m³ (patrz: Rys. 55). Częstość występowania epizodów smogowych w Sosnowcu w świetle dwóch kryteriów przedstawia Rys. 56.



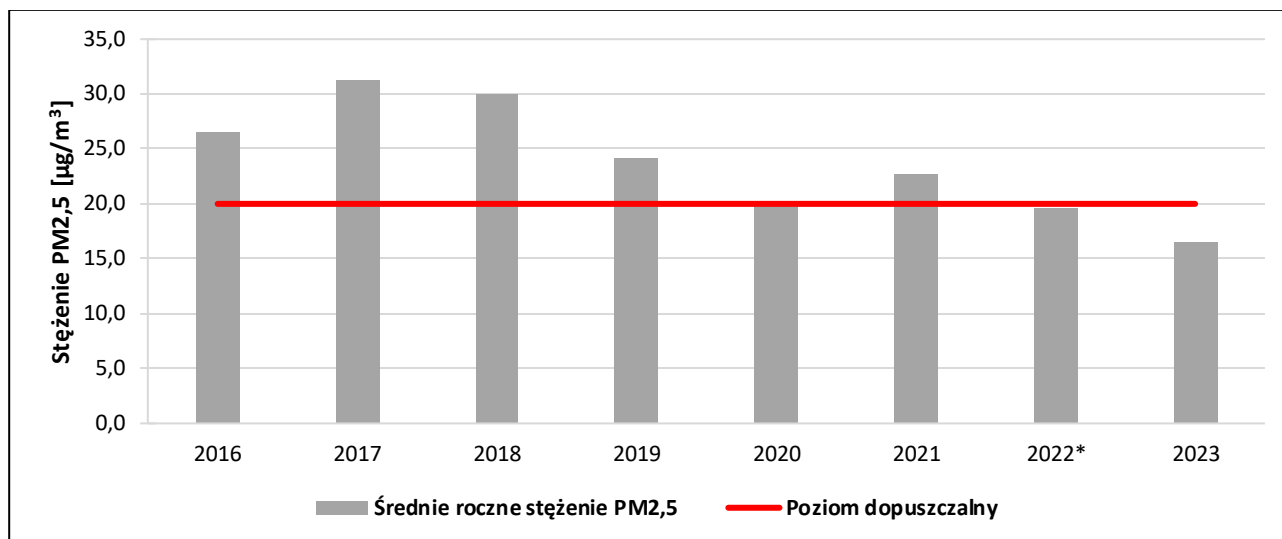
Rys. 56 Przebieg liczby dni z występowaniem smogu zimowego (kwaśnego) w Sosnowcu w świetle dwóch kryteriów (2016–2023)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych PMŚ

Jakość powietrza ze względu na pył zawieszony PM_{2,5}

Pył zawieszony PM_{2,5}, podobnie jak i PM₁₀, jest mieszaniną substancji organicznych i nieorganicznych, zawierających substancje toksyczne, rakotwórcze i mutagenne. Główne źródła pyłu PM_{2,5} oraz czynniki klimatyczne wpływające na poziom jego stężeń w powietrzu są takie same jak w przypadku pyłu PM₁₀, natomiast pył PM_{2,5} stanowi dla organizmów żywych dużo większe zagrożenie ze względu na mniejszą średnicę cząstek i co za tym idzie większy potencjał przedostawania się do organizmów żywych - w organizmie człowieka pył zawieszony o średnicy cząstek nie większej niż 2,5 µm przedostaje się do płuc i stamtąd przenika do krwioobiegu, niosąc ze sobą wszystkie zawarte w swoich cząstkach substancje toksyczne, rakotwórcze i mutagenne.

Analiza przebiegu średnich rocznych wartości stężenia pyłu zawieszonego PM_{2,5} (Rys. 56) wykazała, że poziom dopuszczalny (tj. 20 µg/m³) nie został przekroczony na omawianej stacji jedynie w roku 2022 (19,5 µg/m³) i 2023 (16,5 µg/m³). Rokiem o największej wartości średniego rocznego stężenia pyłu PM_{2,5} był rok 2017 (31,2 µg/m³), a w analizowanym okresie zauważono nieznaczny spadek średnich rocznych wartości stężenia omawianego zanieczyszczenia.



Rys. 57 Przebieg średniego rocznego stężenia pyłu zawieszonego PM2,5 w Sosnowcu (2016–2023).

*W przypadku roku 2022 ze względu na pokrycie danymi o wysokości 42,7% dla danych z pomiarów manualnych wykorzystano wartość pochodzącą z analizy statystycznej danych z pomiarów automatycznych (pomiar wejściowy 1-godzinny)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych PMŚ

6. Częściowa charakterystyka warunków hydrologicznych Sosnowca

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

- Łagisza (IMGW-PIB 150190130) na Przemszy, położonej około 9 kilometrów w kierunku północno-wschodnim od centrum miasta, powyżej której znajdują się zapora, jaz, ujęcia oraz zrzuty wód;
- Radocha (IMGW-PIB 150190080) na Przemszy, położonej o około 2 kilometry w kierunku południowo-wschodnim od centrum miasta, na obszarze występowania szkód górniczych, powyżej której znajdują się zapora, ujęcia oraz zrzuty wód;
- Szabelnia (IMGW-PIB 150190070) na Brynicy, położonej o około 2 kilometry w kierunku południowo-wschodnim od centrum miasta, na obszarze występowania szkód górniczych, powyżej której znajdują się zapora, przerzuty oraz zrzuty wód;
- Namiarki (IMGW-PIB 150180260) na Brynicy
- Sławków (IMGW-PIB 150190250) na Białej Przemszy
- Niwka (IMGW-PIB 150190100) na Białej Przemszy

W ramach opisu warunków hydrologicznych miasta scharakteryzowano przepływy charakterystyczne I i II stopnia, a także zmienność oraz gwałtowność przepływów na wybranych stacjach hydrologicznych. Na podstawie kryterium hydrologicznego wyznaczono przepływy graniczne do wyznaczenia okresów niżówkowych oraz wezbraniowych, które następnie opisano, biorąc pod uwagę częstość ich występowania oraz wskaźniki deficytu wody oraz objętości wezbrania.

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, miesiąc²). 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).

Dokładne określanie niżówek oraz wezbrań, a więc epizodów stanowiących zagrożenie dla miasta, 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;

stosując analogiczne do użytych podczas wyznaczania przepływów głównych I stopnia miary statystyczne (tj. wartość maksymalną, wartość średnią, wartość środkową oraz wartość minimalną).

Tabela 6 przedstawia przepływy główne II stopnia dla wybranych, istotnych dla Sosnowca stacji hydrologicznych.

² Rok hydrologiczny zaczyna się z początkiem listopada i kończy w październiku.

Tabela 6 Przepływy główne II stopnia [m³/s] w wybranych punktach wodowskazowych otoczenia Sosnowca (1991–2020)

	Łagisza (Przemsza)	Radocha (Przemsza)	Szabelnia (Brynica)	Namiarki (Brynica)	Sławków (Biała Przemsza)	Niwka (Biała Przemsza)
WWQ	38,8	55,8	44,4	20,7	39,0	59,2
SWQ	10,4	14,1	13,9	5,1	9,9	16,9
ZWQ	7,6	10,7	12,3	4,3	7,4	13,5
NWQ	1,5	6,0	7,8	0,9	3,0	6,7
WSQ	4,4	7,9	7,7	2,5	5,5	9,9
SSQ	2,4	3,7	4,6	1,0	3,6	6,9
ZSQ	3,3	4,6	0,9	3,6	6,5	1,7
NSQ	0,8	2,0	2,8	0,3	2,4	4,8
WZQ	3,1	5,8	8,8	1,7	5,4	9,4
SZQ	1,9	3,1	4,3	0,8	3,5	6,7
ZZQ	1,7	3,1	4,1	0,7	3,5	6,3
NZQ	0,8	1,6	2,4	0,3	2,3	4,7
WNQ	1,7	3,5	5,3	0,5	4,9	7,6
SNQ	1,0	1,7	2,9	0,2	3,1	5,1
ZNQ	0,9	1,6	2,4	0,2	3,1	4,6
NNQ	0,5	0,7	1,2	0,1	2,1	3,6

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB

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).

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

gdzie:

C_v - współczynnik zmienności,

s - odchylenie standardowe z przepływów w analizowanym okresie,

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

W Tabeli 7 przedstawiono sposób interpretacji zmienności przepływu według wskaźnika C_v .

Tabela 7 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

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

gdzie:

q_i - przepływ w danym dniu³ [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 Sosnowca stacji hydrologicznych przedstawiono w Tabeli 8.

Tabela 8 Wartości współczynników C_v i $RB\ index$ w wybranych punktach wodowskazowych otoczenia Sosnowca (1991–2020)

	Łagisza (Przemsza)	Radocha (Przemsza)	Szabelnia (Brynica)	Namiarki (Brynica)	Sławków (Biała Przemsza)	Niwka (Biała Przemsza)
C_v	0,9	0,7	0,5	1,1	0,3	0,3
$RB\ index$	0,071	0,097	0,101	0,108	0,022	0,042

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB

Wybrane cieki (tj. Przemszę, Brynicę i Białą Przemszę) na obszarze oraz w bezpośrednim sąsiedztwie Sosnowca cechuje stosunkowo niewielka zmienność przepływów. Dwa spośród analizowanych punktów wodowskazowych (zlokalizowane na Białej Przemszy) cechuje bardzo mała, a trzy kolejne (zlokalizowane na Przemszy i Brynicy) mała zmienność przepływów wg interpretacji Pociask-Karteczki (2007). Największą wartością współczynnika C_v charakteryzuje się punkt wodowskazowy Namiarki na Brynicy, położony na granicy Piekar Śląskich i Bobrowników, gdzie wartość omawianego wskaźnika wynosi 1,1 - średnia zmienność przepływów. Punkt wodowskazowy Namiarki odznacza się także najwyższą wartością wskaźnika $RB\ index$. Powodem takiej charakterystyki może być lokalizacja miasta na obszarze o niewielkich spadkach terenu oraz dużych modyfikacjach ustrojów rzecznych, przejawiających się poborem, zrzutami oraz przerzutami wód, a także bezpośrednimi i pośrednimi wpływami przemysłu na ich funkcjonowanie.

³ Współczynnik może być również obliczany dla miesięcy, lat itd.

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 cieków, wynikające z długotrwałych okresów bezopadowych, okresów zwiększonego parowania lub występowania długotrwałych mrozów. 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. $Q \leq \text{SNQ}$. Dla wyznaczonych tak dni obliczono kolejno dobowe deficyty wody, korzystając ze wzoru:

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

gdzie:

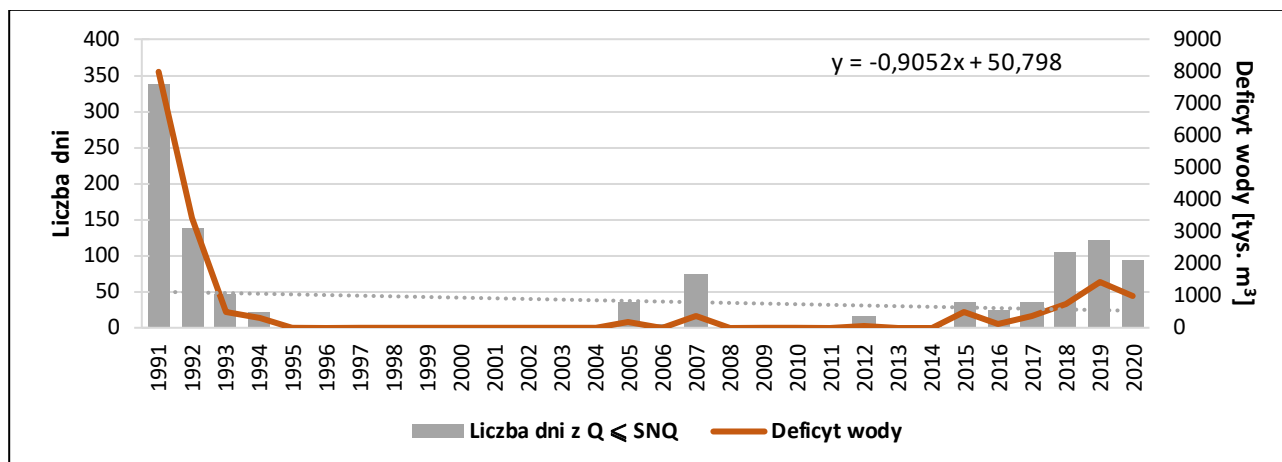
S - dobowy deficyt wody [m^3]

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

Q - średni przepływ dobowy [m^3/s]

86 400 - liczba sekund w dobie.

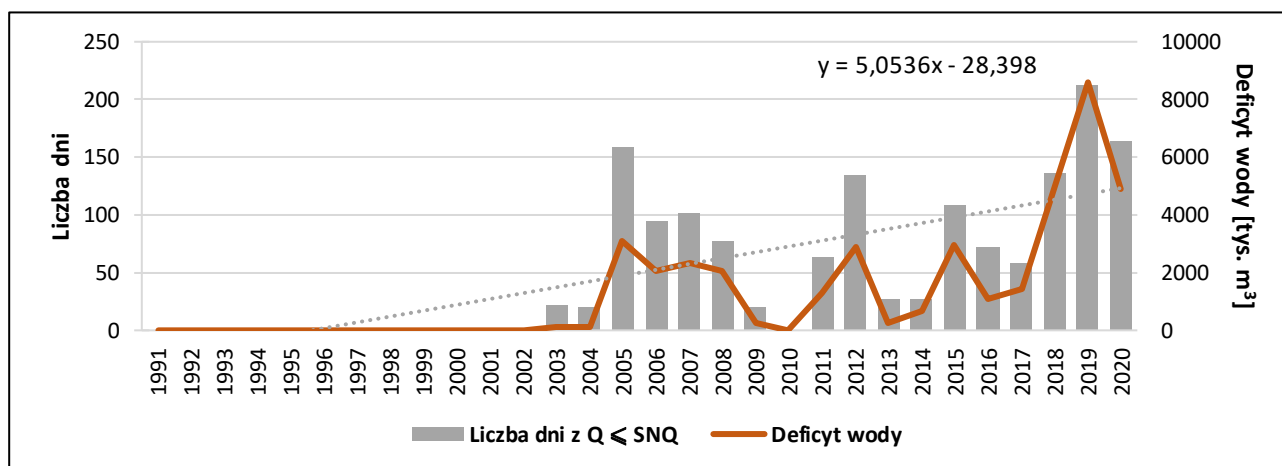
Międzyroczną zmienność liczby dni z $Q \leq \text{SNQ}$ oraz szacowanego rocznego deficytu wody w latach 1991-2020 na stacji hydrologicznej Łagisza (Przemsza) przedstawia Rys. 58. Przebieg rocznej liczby dni z $Q \leq \text{SNQ}$ oraz szacowanego rocznego deficytu wody na stacji hydrologicznej Łagisza (1991-2020) Rys. 58. W omawianym punkcie liczba dni z $Q \leq \text{SNQ}$ wahała się od 0 do 337 (rok 1991). Maksymalny roczny deficyt wody odnotowano również w roku 1991 i wyniósł on około 7 983 tys. m^3 . Na posterunku Łagisza w omawianym wieloleciu nie zaobserwowano wyraźnego trendu dotyczącego liczby dni z $Q \leq \text{SNQ}$.



Rys. 58 Przebieg rocznej liczby dni z $Q \leq SNQ$ oraz szacowanego rocznego deficytu wody na stacji hydrologicznej Łągisza (1991–2020)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB

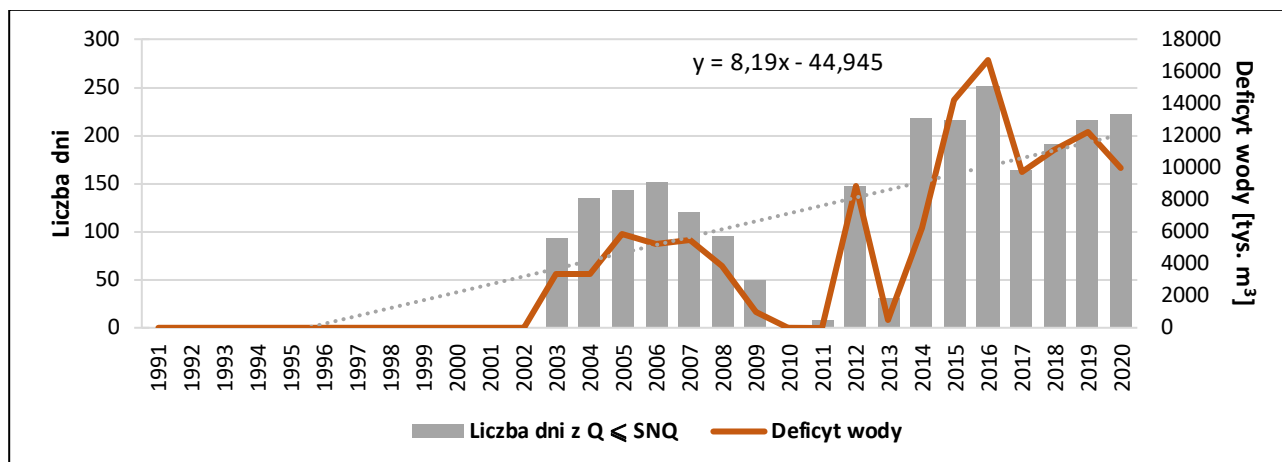
Przebieg liczby dni z $Q \leq SNQ$ oraz szacowanego rocznego deficytu wody na posterunku Radocha (Przemsza) w latach 1991–2020 przedstawia Rys. 59. Liczba dni z $Q \leq SNQ$ wahała się tutaj od 0 do 212 (2019), a maksymalny roczny deficyt wody wyniósł około 8 593 tys. m³. Zaobserwowano trend rosnący dotyczący liczby dni z $Q \leq SNQ$.



Rys. 59 Przebieg rocznej liczby dni z $Q \leq SNQ$ oraz szacowanego rocznego deficytu wody na stacji hydrologicznej Radocha (1991–2020)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB

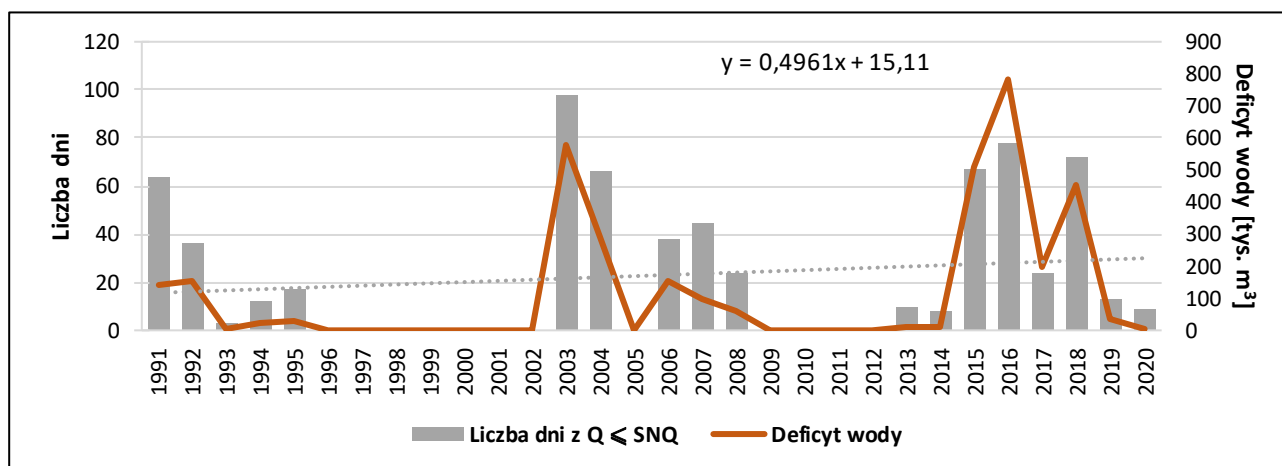
Międzyroczną zmienność liczby dni z $Q \leq SNQ$ oraz szacowanego rocznego deficytu wody w latach 1991–2020 na stacji hydrologicznej Szabelnia (Brynica) przedstawia Rys. 60. W omawianym punkcie liczba dni z $Q \leq SNQ$ wahała się od 0 do 251 (rok 2016). Maksymalny roczny deficyt wody odnotowano również w roku 2016 i wyniósł on około 16 701 tys. m³. W omawianym wieloleciu zaobserwowano wyraźny trend rosnący dotyczący liczby dni z $Q \leq SNQ$.



Rys. 60 Przebieg rocznej liczby dni z $Q \leq SNQ$ oraz szacowanego rocznego deficytu wody na stacji hydrologicznej Szabelnia (1991–2020)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB

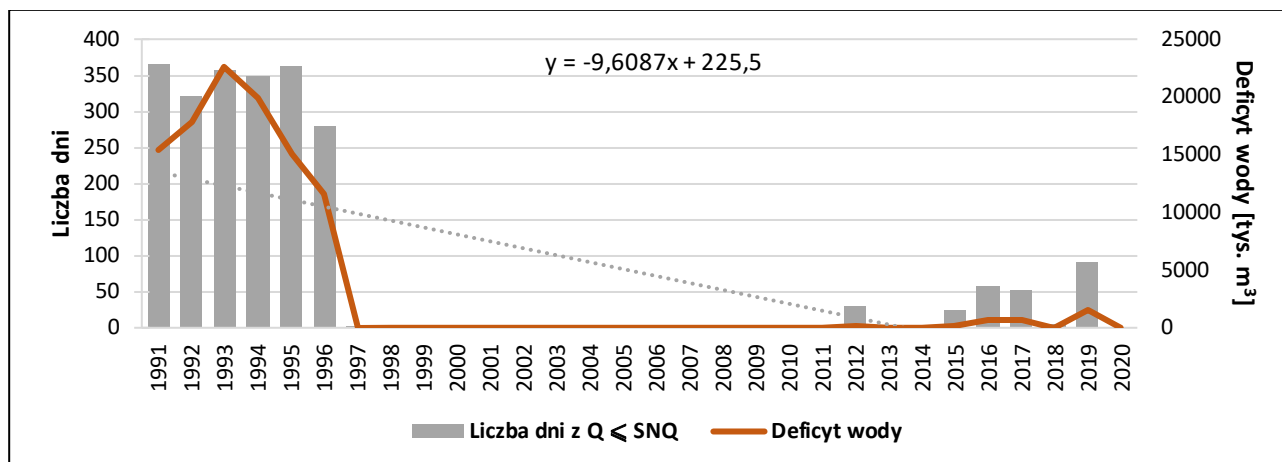
Przebieg liczby dni z $Q \leq SNQ$ oraz szacowanego rocznego deficytu wody na posterunku Namiarki (Brynica) w latach 1991–2020 przedstawia Rys. 61. Liczba dni z $Q \leq SNQ$ wahała się tutaj od 0 do 98 (2003), a maksymalny roczny deficyt wody wyniósł około 783 tys. m³ (2016). Na posterunku Namiarki w omawianym wieloleciu zaobserwowano nieznaczny trend rosnący dotyczący liczby dni z $Q \leq SNQ$.



Rys. 61 Przebieg rocznej liczby dni z $Q \leq SNQ$ oraz szacowanego rocznego deficytu wody na stacji hydrologicznej Namiarki (1991–2020)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB

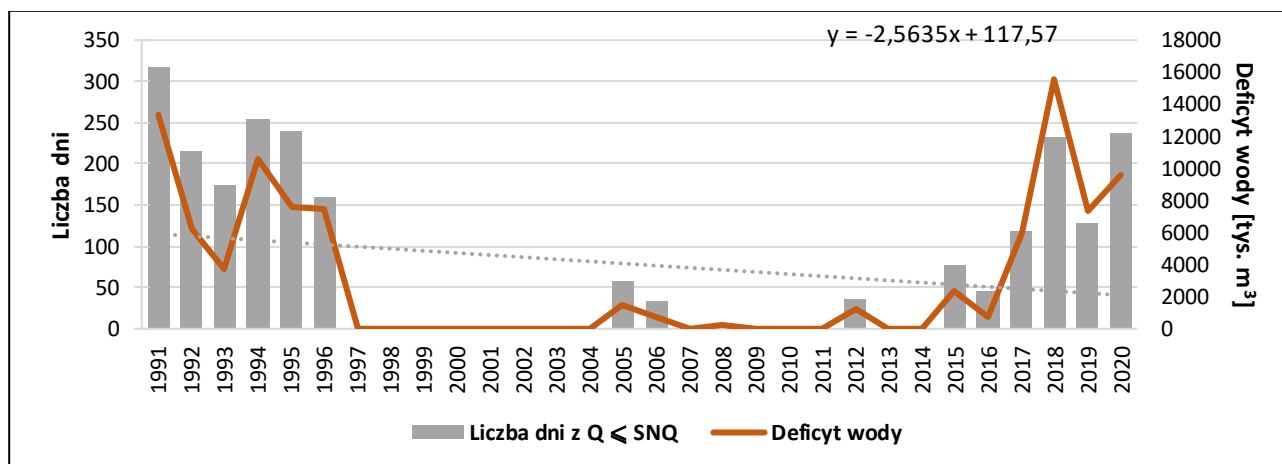
Międzyroczną zmienność liczby dni z $Q \leq SNQ$ oraz szacowanego rocznego deficytu wody w latach 1991–2020 na stacji hydrologicznej Sławków (Biała Przemsza) przedstawia Rys. 58 Przebieg rocznej liczby dni z $Q \leq SNQ$ oraz szacowanego rocznego deficytu wody na stacji hydrologicznej Łagisza (1991–2020) Rys. 62. W omawianym punkcie liczba dni z $Q \leq SNQ$ wahała się od 0 do 365 (tj. cały rok 1991 objęła niżówka). Maksymalny roczny deficyt wody odnotowano w roku 1993 i wyniósł on około 22 606 tys. m³. Na posterunku Sławków w omawianym wieloleciu zaobserwowano wyraźny trend malejący dotyczący liczby dni z $Q \leq SNQ$.



Rys. 62 Przebieg rocznej liczby dni z $Q \leq SNQ$ oraz szacowanego rocznego deficytu wody na stacji hydrologicznej Sławków (1991–2020)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB

Przebieg liczby dni z $Q \leq SNQ$ oraz szacowanego rocznego deficytu wody na posterunku Niwka (Biała Przemsza) w latach 1991–2020 przedstawia Rys. 63. Liczba dni z $Q \leq SNQ$ wahała się tutaj od 0 do 317 (1991), a maksymalny roczny deficyt wody wyniósł około 15 562 tys. m³ (2018). Na posterunku Niwka w omawianym wieloleciu zaobserwowano trend malejący dotyczący liczby dni z $Q \leq SNQ$.



Rys. 63 Przebieg rocznej liczby dni z $Q \leq SNQ$ oraz szacowanego rocznego deficytu wody na stacji hydrologicznej Niwka (1991–2020)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB

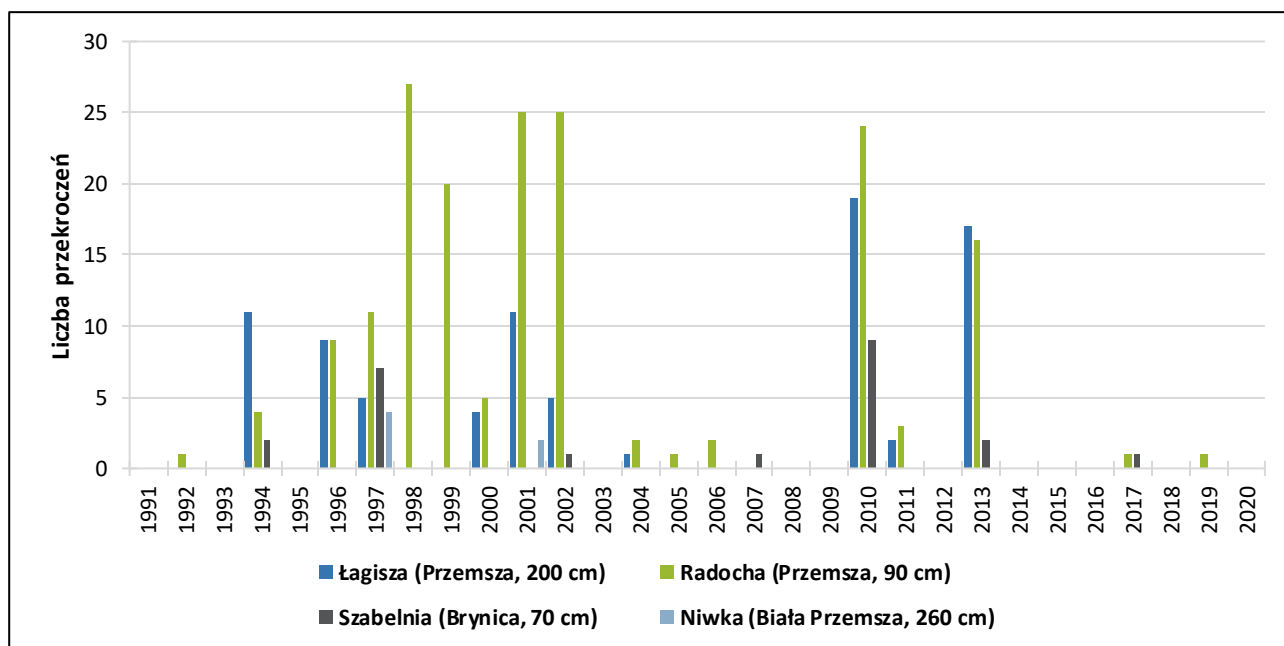
Omawiane posterunki wodowskazowe można podzielić na dwie grupy wyróżnione na podstawie przebiegu okresów niżówkowych w latach 1991–2020. Pierwszą z nich stanowić będą stacje o wyraźnym (Radocha i Szabelnia) oraz nieznacznym (Namiarki) trendzie rosnącym dotyczącym liczby dni z $Q \leq SNQ$. Drugą grupę stanowić będą stacje o wyraźnym (Sławków) lub nieznacznym (Łagisza i Niwka) trendzie malejącym dotyczącym liczby dni z $Q \leq SNQ$. Obserwowany przebieg okresów niżówkowych na posterunkach wodowskazowych zależeć będzie na omawianym obszarze i w omawianym przedziale czasowym nie tylko od

ogólnych warunków hydrometeorologicznych, tj. m.in. występowania zjawiska suszy, ale także od gospodarki człowieka, regulowanej przez prawo środowiska, a przejawiającej się m.in. poborem wód do różnych celów, przerzutami wód czy zrzutami wód i ścieków.

Charakterystyka okresów wezbraniowych

Wezbraniem określamy podniesienie się stanu wody w cieku występujące na skutek zwiększonego zasilania lub utrudnionego odpływu wody do recypienta. 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 posterunków wodowskazowych opisywanych w niniejszym opracowaniu przeanalizowano całkowitą liczbę przekroczeń stanów charakterystycznych - ostrzegawczych oraz alarmowych - w latach 1991-2020. Kryterium doboru posterunków był dostęp do informacji o wysokości stanów charakterystycznych. Przebieg liczby dni z przekroczeniem stanu ostrzegawczego na wybranych posterunkach wodowskazowych otoczenia Sosnowca przedstawia Rys. 64. Stan ostrzegawczy najczęściej przekraczany był na posterunku Radocha położonym na Przemszy, bezpośrednio powyżej ujścia Brynicy do tego cieku. W roku 1998 stan ostrzegawczy został tu przekroczony 27 razy. W latach istotniejszych zdarzeń powodziowych, tj. 1997 i 2010, stany ostrzegawcze przekraczane były na niemal wszystkich rozpatrywanych punktach wodowskazowych.

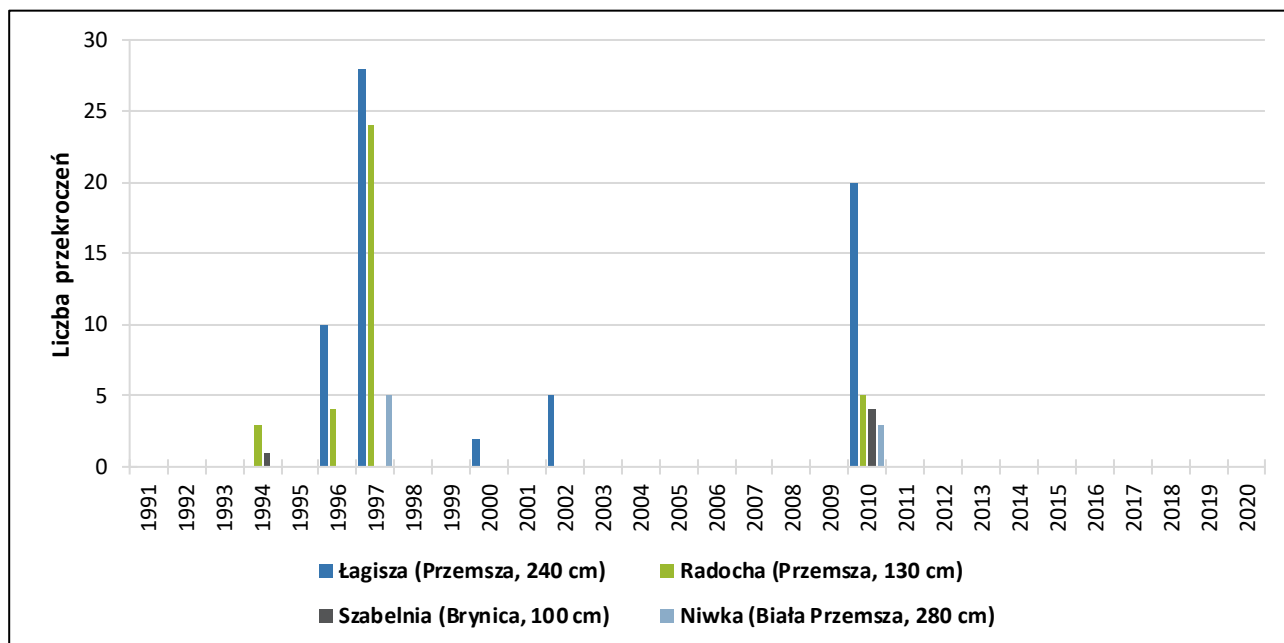


Rys. 64 Liczba przekroczeń stanów ostrzegawczych na wybranych punktach wodowskazowych otoczenia Sosnowca (1991–2020)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB

Przebieg liczby dni z przekroczeniem stanu alarmowego na wybranych posterunkach wodowskazowych otoczenia Sosnowca przedstawia Rys. 65. Wyraźnie odznaczają się lata 1997 oraz 2010.

W roku 1997 stan alarmowy został przekroczony na wszystkich rozpatrywanych punktach wodowskazowych poza posterunkiem Szabelnia na Brynicy, w tym aż 28 razy na posterunku Łagisza na Przemszy. W roku 2010 stan alarmowy został przekroczony co najmniej raz na każdym z omawianych posterunków, najczęściej ponownie na punkcie Łagisza, 20 razy.



Rys. 65 Liczba przekroczeń stanów alarmowych na wybranych punktach wodowskazowych otoczenia Sosnowca (1991–2020)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB

Podobnie jak w przypadku analizy okresów niżówkowych, podczas wydzielania wezbrań wybrano kryterium hydrologiczne 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:

$$V = (Q - SWQ) \cdot 86\,400,$$

gdzie:

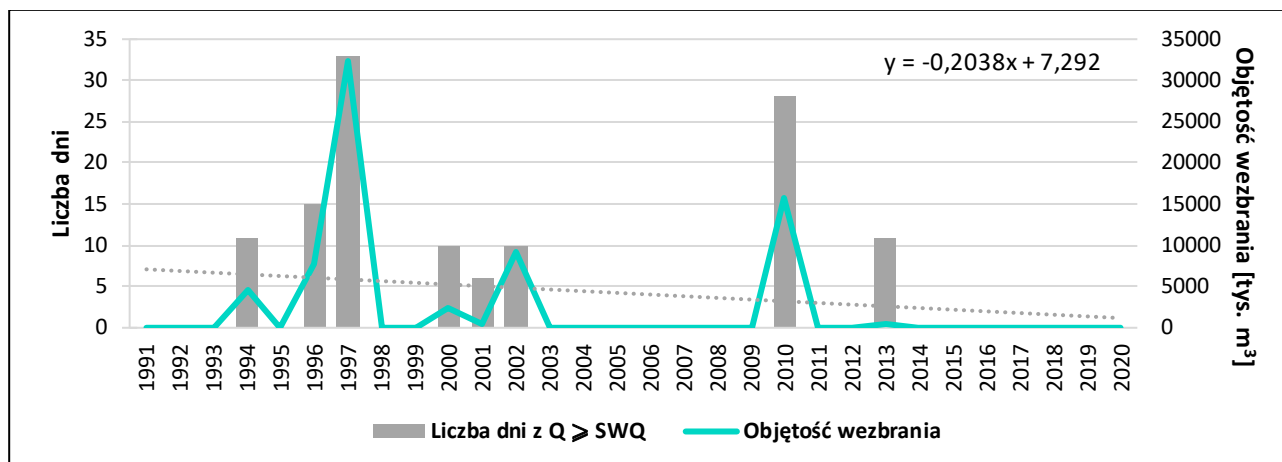
V - objętość wezbrania [m^3]

Q - średni przepływ dobowy [m^3/s]

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

86 400 - liczba sekund w dobie.

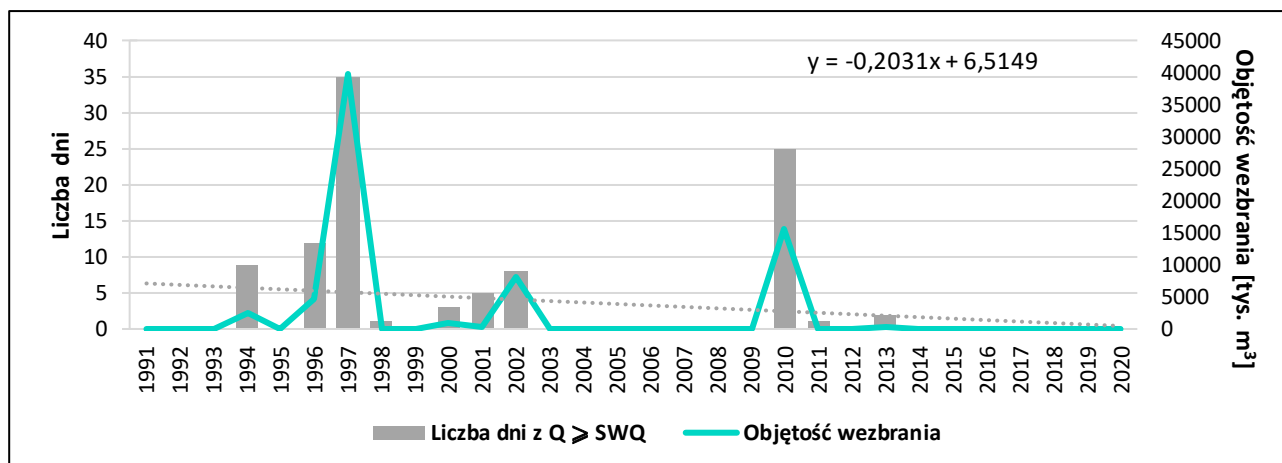
Mięzyroczną zmienność liczby dni z $Q \geq SWQ$ oraz szacowanej rocznej objętości wezbrania w latach 1991-2020 na stacji hydrologicznej Łagisza (Przemsza) przedstawia Rys. 66. W omawianym punkcie liczba dni z $Q \geq SWQ$ wahała się od 0 do 33 (rok 1997). Maksymalną roczną objętość wezbrania odnotowano również w roku 1997 i wyniosła ona około 32 343 tys. m^3 . Nie zaobserwowano znaczącego trendu dotyczącego liczby dni z $Q \geq SWQ$.



Rys. 66 Przebieg rocznej liczby dni z $Q \geq SWQ$ oraz szacowanej rocznej objętości wezbrania na stacji hydrologicznej Łagisza (1991–2020)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB

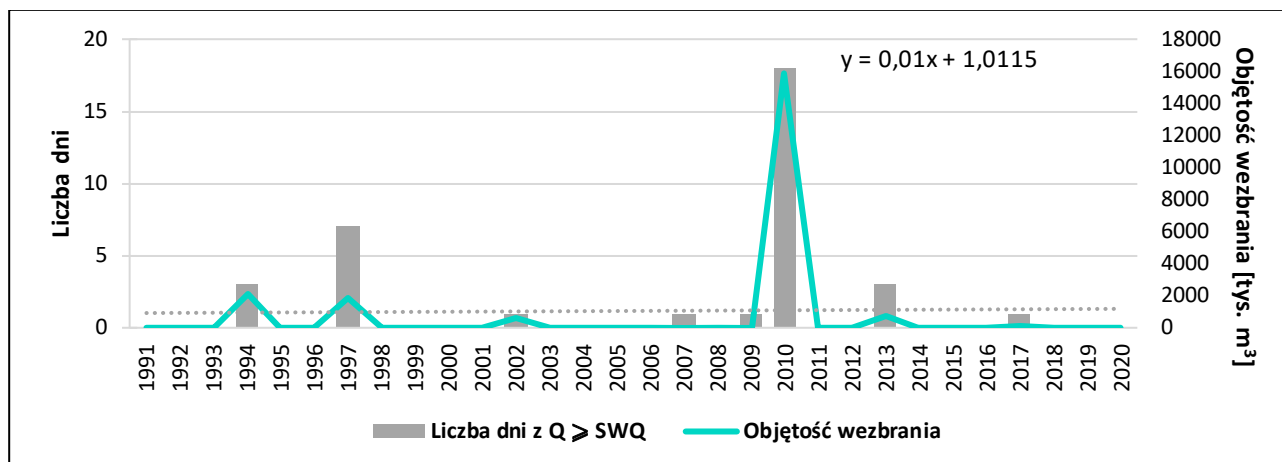
Przebieg liczby dni z $Q \geq SWQ$ oraz szacowanej rocznej objętości wezbrania na posterunku Radocha (Przemsza) w latach 1991–2020 przedstawia Rys. 67. Liczba dni z $Q \geq SWQ$ wahała się tutaj od 0 do 35 (1997), a maksymalna roczna objętość wezbrania wyniosła około 39 767 tys. m³ (1997). Nie zaobserwowano znaczącego trendu dotyczącego liczby dni z $Q \geq SWQ$.



Rys. 67 Przebieg rocznej liczby dni z $Q \geq SWQ$ oraz szacowanej rocznej objętości wezbrania na stacji hydrologicznej Radocha (1991–2020)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB

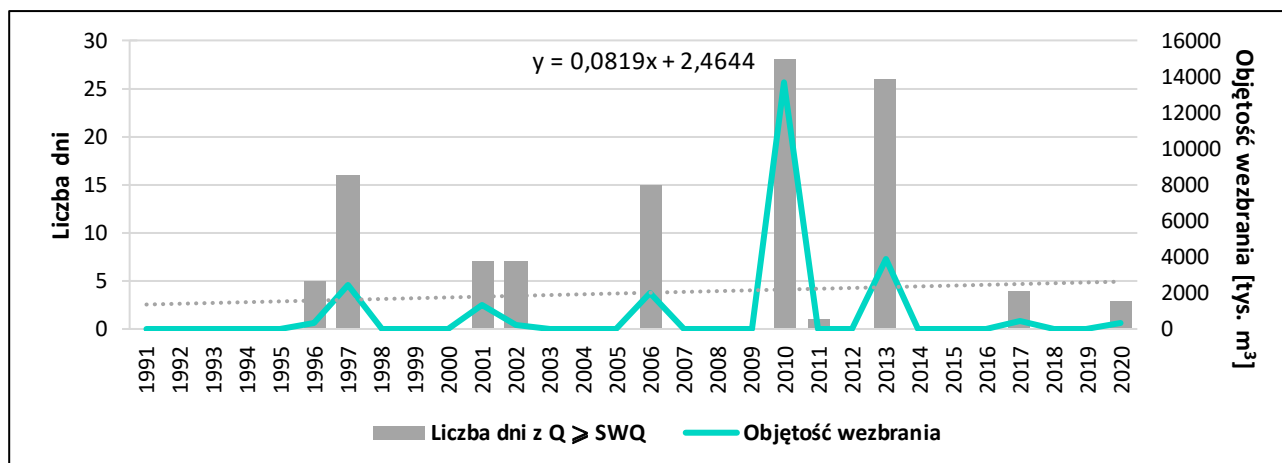
Międzyroczną zmienność liczby dni z $Q \geq SWQ$ oraz szacowanej rocznej objętości wezbrania w latach 1991–2020 na stacji hydrologicznej Szabelnia (Brynica) przedstawia Rys. 68. W omawianym punkcie liczba dni z $Q \geq SWQ$ wahała się od 0 do 18 (rok 2010). Maksymalną roczną objętość wezbrania odnotowano również w roku 2010 i wyniosła ona około 15 866 tys. m³. W omawianym wieloleciu nie zaobserwowano istotnego trendu dotyczącego rocznej liczby dni z $Q \geq SWQ$.



Rys. 68 Przebieg rocznej liczby dni z $Q \geq SWQ$ oraz szacowanej rocznej objętości wezbrania na stacji hydrologicznej Szabelnia (1991–2020)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB

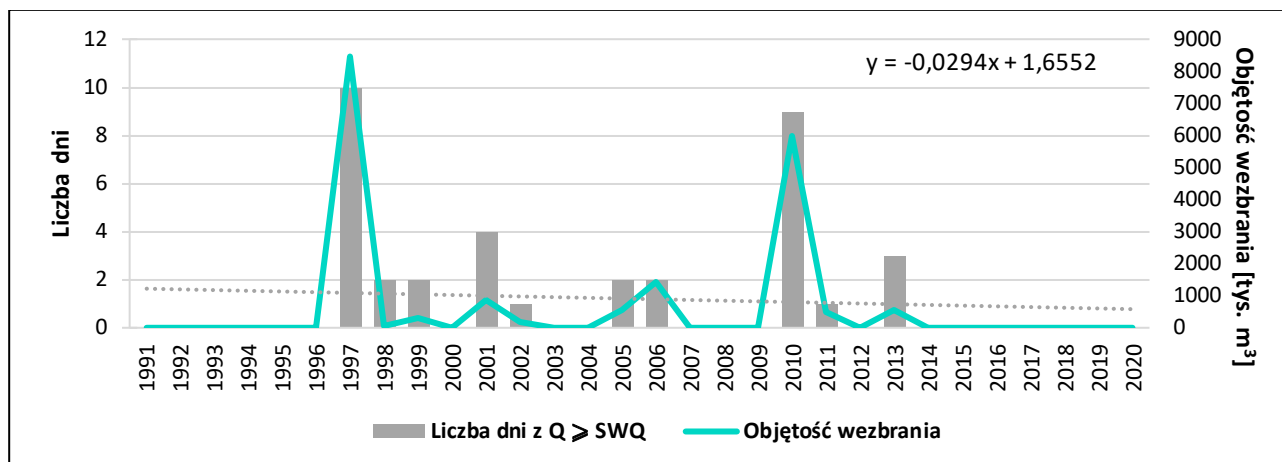
Przebieg liczby dni z $Q \geq SWQ$ oraz szacowanej rocznej objętości wezbrania na posterunku Namiarki (Brynica) w latach 1991–2020 przedstawia Rys. 69. Liczba dni z $Q \geq SWQ$ wahała się tutaj od 0 do 28 (2010), a maksymalna roczna objętość wezbrania wyniosła tutaj około 13 674 tys. m³ (2010). Nie zaobserwowano znaczącego trendu dotyczącego liczby dni z $Q \geq SWQ$.



Rys. 69 Przebieg rocznej liczby dni z $Q \geq SWQ$ oraz szacowanej rocznej objętości wezbrania na stacji hydrologicznej Namiarki (1991–2020)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB

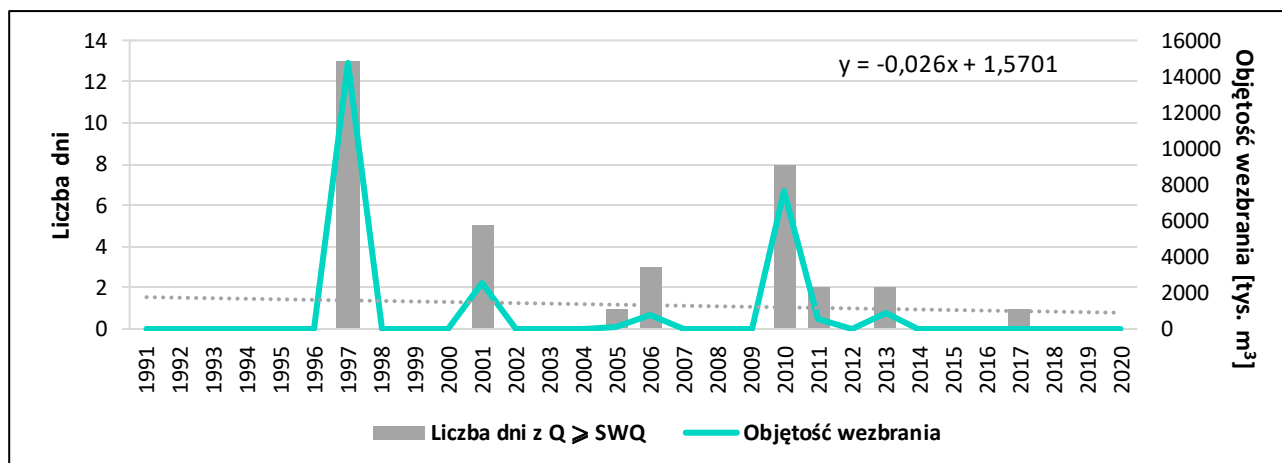
Międzyroczną zmienność liczby dni z $Q \geq SWQ$ oraz szacowanej rocznej objętości wezbrania w latach 1991–2020 na stacji hydrologicznej Sławków (Biała Przemsza) przedstawia Rys. 70. W omawianym punkcie liczba dni z $Q \geq SWQ$ wahała się od 0 do 10 (rok 1997). Maksymalną roczną objętość wezbrania odnotowano również w roku 2010 i wyniosła ona około 8 459 tys. m³. W omawianym wieloleciu nie zaobserwowano istotnego trendu dotyczącego rocznej liczby dni z $Q \geq SWQ$.



Rys. 70 Przebieg rocznej liczby dni z $Q \geq SWQ$ oraz szacowanej rocznej objętości wezbrania na stacji hydrologicznej Sławków (1991–2020)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB

Przebieg liczby dni z $Q \geq SWQ$ oraz szacowanej rocznej objętości wezbrania na posterunku Niwka (Biała Przemsza) w latach 1991–2020 przedstawia Rys. 71. Liczba dni z $Q \geq SWQ$ wahała się tutaj od 0 do 13 (1997), a maksymalna roczna objętość wezbrania wyniosła tutaj około 14 752 tys. m³ (1997). Nie zaobserwowano znaczącego trendu dotyczącego liczby dni z $Q \geq SWQ$.



Rys. 71 Przebieg rocznej liczby dni z $Q \geq SWQ$ oraz szacowanej rocznej objętości wezbrania na stacji hydrologicznej Niwka (1991–2020)

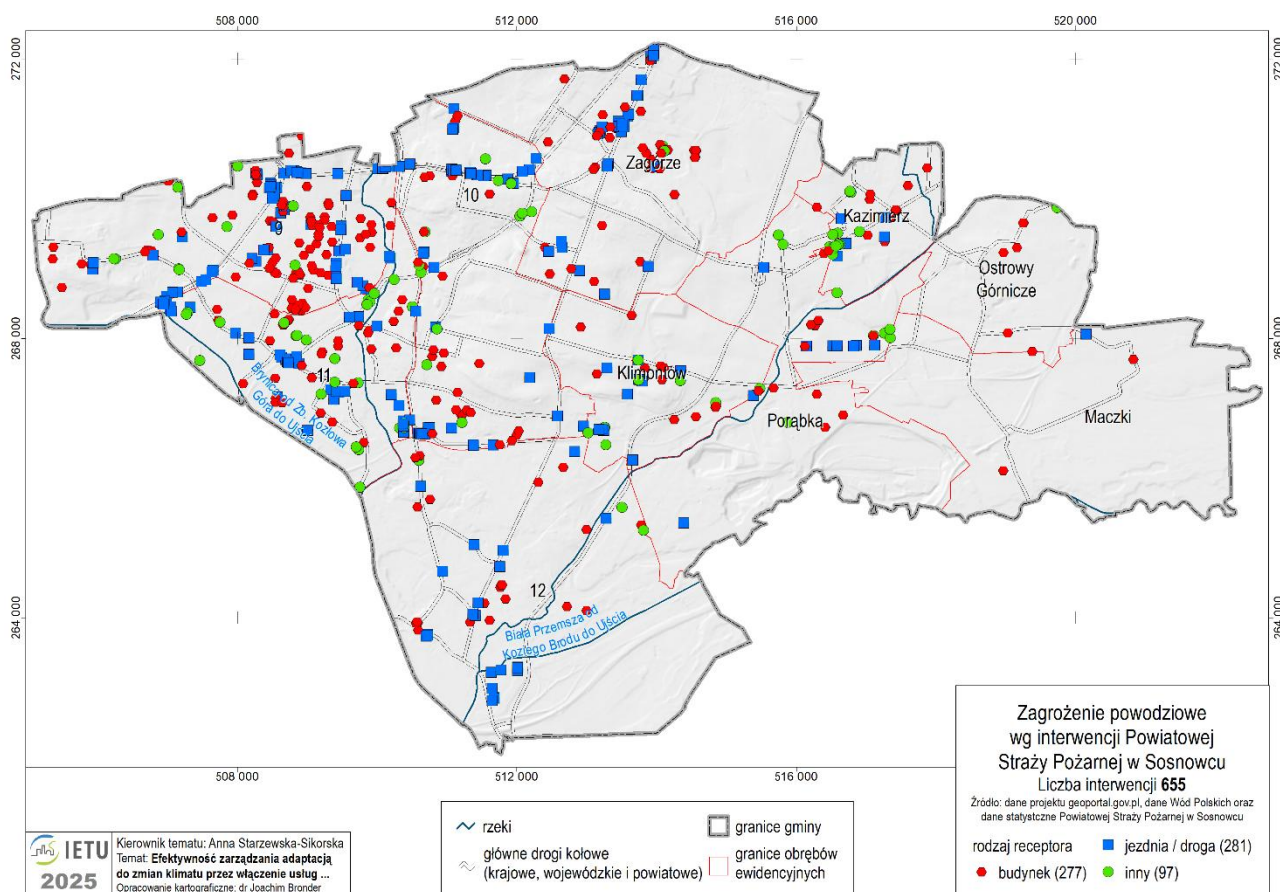
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB

Analiza przebiegów okresów wezbraniowych na wybranych posterunkach w latach 1991–2020 nie wykazała znaczących trendów. Istotniejsze zdarzenia powodziowe, które wystąpiły w latach 1997 oraz 2010 zauważone były na wszystkich omawianych punktach.

7. Powodzie miejskie (nagłe)

Powódzie miejskie, nagłe, definiowane są jako nagłe zalanie i/lub podtopienie terenu w wyniku wystąpienia silnego, krótkotrwałego opadu deszczu o dużej wydajności na stosunkowo niewielkim obszarze zlewni rzecznej lub zurbanizowanej zlewni miejskiej. Pod pojęciem opad o dużej wydajności należy rozumieć opad wywołujący m.in. nagłe powodzie lokalne typu *flash flood*, najczęściej burzowy, o wysokości co najmniej 20 mm, który trwa nie dłużej niż 12 godzin, a którego skutkiem są lokalne wezbrania lub powodzie, powodujące konkretne szkody w infrastrukturze i gospodarce. Nagłe powodzie miejskie zdarzają się coraz częściej na obszarze całej Polski.

W celu wykonania analizy występowania powodzi miejskich, nagłych w Sosnowcu wykorzystano dane nt. interwencji jednostek Państwowej Straży Pożarnej na terenie miasta z lat 2015-2024, dotyczących usuwania skutków zalania różnych obiektów infrastruktury miejskiej wodami opadowymi. Rozmieszczenie tych interwencji na terenie Sosnowca przedstawiono na Rys. 71.



Rys. 72 Rozmieszczenie występowania powodzi miejskich w Sosnowcu w latach 2015-2024

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych PSP

Najwięcej interwencji zanotowano w obrębach administracyjnych 9, 11 i 10 czyli w dzielnicach: Pogoń, Stary Sosnowiec, Nowy Sosnowiec, Śróduła, Sielec, Dębowa Góra.

Łącznie w latach 2015-2024 odnotowano w Sosnowcu 655 interwencji Straży Pożarnej spowodowanych zalaniem obiektów infrastruktury miejskiej wodami opadowymi, przy czym częstotliwość tych interwencji w ostatnich 5 latach wyraźnie wzrosła (Tabela 9).

Tabela 9 Częstotliwość interwencji spowodowanych zalaniem obiektów infrastruktury miejskiej wodami opadowymi w Sosnowcu w latach 2015-2024

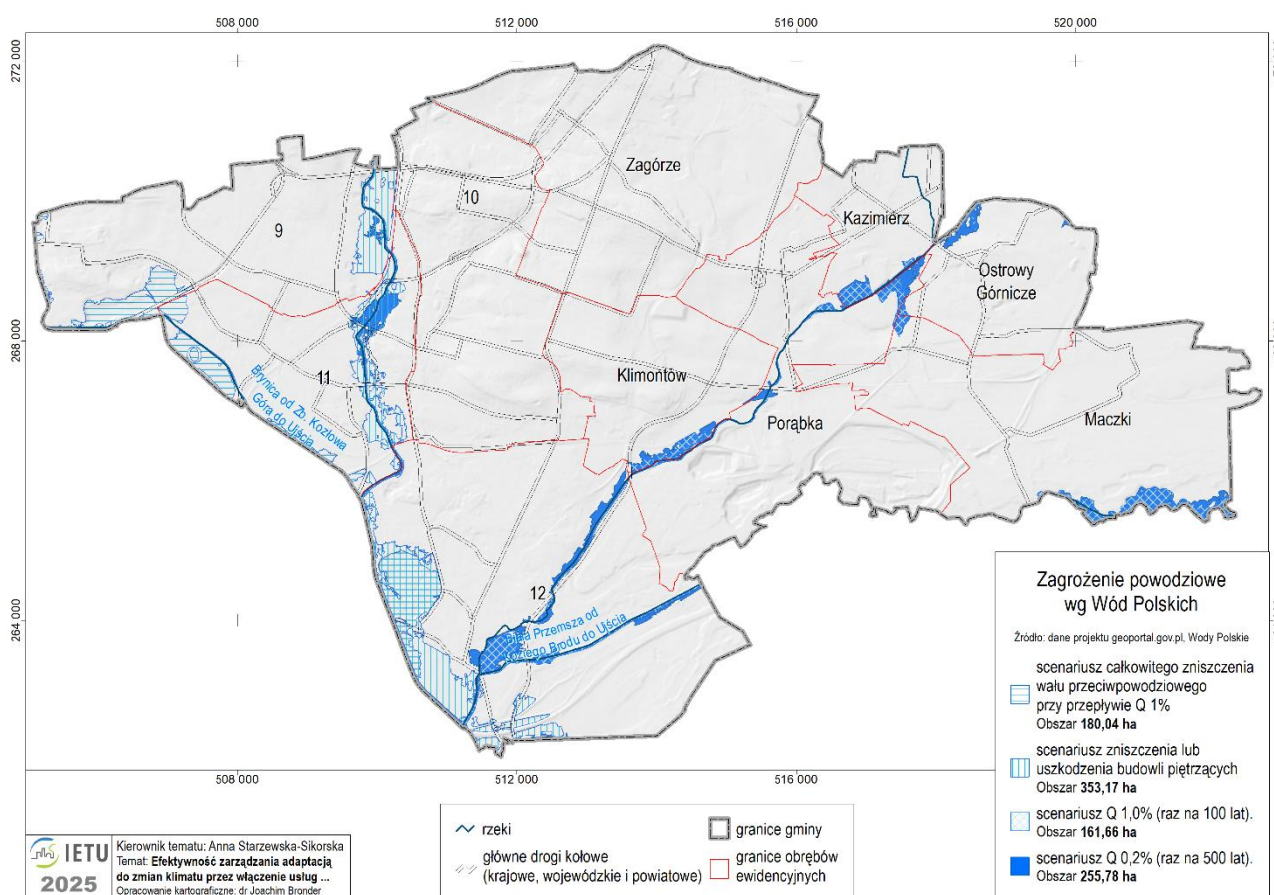
rok	ilość interwencji
2015	7
2016	38
2017	36
2018	25
2019	50
2020	77
2021	61
2022	140
2023	53
2024	168

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych PSP

8. Powodzie od strony rzek

Sosnowiec obfituje w ciekі rzeczne. Najważniejsze z nich to Czarna Przemsza, Biała Przemsza, Brynica i Bobrek. Powodzie od strony rzek mogą stanowić realne zagrożenie dla niektórych obszarów miasta położonych w bliskości cieków wodnych.

Obszary zagrożone powodzią od strony rzek przedstawiono na Rys. 73.



Rys. 73 Mapa terenów zagrożonych powodzią od strony rzek w Sosnowcu

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych projektu geoportal.gov.pl oraz projektu projektu ISOK PGW Wody Polskie

Uwzględniono cztery scenariusze zagrożenia powodzią. Według scenariusza całkowitego zniszczenia wałów przeciwpowodziowych zagrożony na terenie miasta obszar to sumarycznie ok. 180 ha, położonych głównie nad brzegami Brynicy i Czarnej Przemszy, wzdłuż południowo-wschodniej granicy miasta. Scenariusz uwzględniający zniszczenie lub uszkodzenie budowli piętrzących wskazuje na zagrożenie dla obszaru ok. 353 ha, ciągnącego się z północy na południe wzdłuż brzegów Czarnej Przemszy i Przemszy. Scenariusz tzw. wody 100-letniej (Q 1,0%) wskazuje na zagrożenie dla sumarycznego obszaru ok. 162 ha położonych głównie wzdłuż brzegów Bobrka i Białej Przemszy. Natomiast scenariusz tzw. wody 500-letniej (Q 0,2%) wskazuje na zagrożenie dla sumarycznego obszaru ok. 256 ha położonych głównie wzdłuż brzegów Bobrka i Białej Przemszy oraz na środkowym odcinku Czarnej Przemszy.

9. Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzone analizy wskazały na następujące główne zagrożenia występujące w Sosnowcu, a wynikające ze zmian klimatu:

- ciągły, systematyczny wzrost temperatur średniorocznych,
- ciągły, systematyczny wzrost temperatur maksymalnych,
- występowanie tzw. miejskiej wyspy ciepła,
- coraz częstsze występowanie krótkich lecz intensywnych opadów, zagrożenie powodziąmi nagłymi miejskimi,
- występowanie obszarów zagrożonych suszą,
- możliwość wystąpienia w ciągu roku wiatrów silnych i bardzo silnych 10-30 m/s.

Szansę mogą stanowić następujące zmiany czynników klimatycznych i ich pochodnych:

- poprawiająca się sytuacja aerosanitarna w mieście,
- ciągły, systematyczny wzrost temperatur minimalnych,
- mniejsza ilość opadów śniegu w ciągu roku i krótszy czas zalegania pokrywy śnieżnej,
- sporadyczne i ograniczone przestrzennie występowanie powodzi rzecznych.

Literatura

Bronder, J., Nádudvari, A., Fudała J., Fudała, M. (2019): *Charakterystyka zjawiska powierzchniowej miejskiej wyspy ciepła na obszarze aglomeracji górnośląskiej*, [w] Obszary miejsko-przemysłowe wobec zmian klimatu na przykładzie miast centralnej części Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii Pod redakcją Justyny Gorgoń. Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk, Works & Studies, Prace i Studia No. 89 Editor-in-Chief Czesława Rosik-Dulewska, Zabrze 2019.

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

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

Okołowicz W. i Martyn D., 1979, *Regiony klimatyczne [Polski]*, [W:] Atlas Geograficzny Polski, Warszawa, PPWK

Ozga-Zielińska M. i Brzeziński J., 1997, *Hydrologia stosowana*, wydanie II zmienione, Wydawnictwa Naukowe PWN, Warszawa

Peters, N.E., J. Freer, and K.J. Beven, 2003, *Modeling hydro-logic responses in a small forested catchment (Panola Mountain, Georgia, USA): A comparison of the original and a new dynamic TOPMODEL* Hydrological Processes 17, no. 2: 345–362, doi: 10.1002/hyp.1128.

Pociask-Karteczka J., Kasina M., 2007, *Trends in high river flows in the Dunajec river drainage basin in the second half of the 20th century*, Folia Geographica. Series Geographica physica, 35-36, ss. 5-36

Solon J., Borzyszkowski J., Bidłasik M., Richling A., Badora K., Balon J., Brzezińska-Wójcik T., Chabudziński Ł., Dobrowolski R., Grzegorzczak I., Jodłowski M., Kistowski M., Kot R., Krąż P., Lechnio J., Macias A., Majchrowska A., Malinowska E., Migoń P., Myga-Piątek U., Nita J., Papińska E., Rodzik J., Strzyż M., Terpiłowski S., Ziąja W., 2018, *Physico-geographical mesoregions of Poland: Verification and adjustment of boundaries on the basis of contemporary spatial data*, Geographia Polonica 91, 2, ss. 143-170, doi: <https://doi.org/10.7163/GPol.0115>.

Tallaksen, L., i van Lanen, H. A. J. (Eds.) (2004). *Hydrological drought. Processes and estimation methods for streamflow and groundwater*. (Developments in water science; No. 48). Elsevier.

Tokarczyk T., 2001, Zmienność przepływów niskich na obszarze Kotliny Kłodzkiej. Zesz. Nauk. AR, seria: Inżynieria środowiska, 12, 413, Wrocław

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