



*Wczujmy się
w klimat!*

www.44mpa.pl

Plan adaptacji Miasta Tarnowa do zmian klimatu do roku 2030

Załącznik nr 2

Opis głównych zagrożeń klimatycznych
i ich pochodnych dla Miasta

1. Definicje

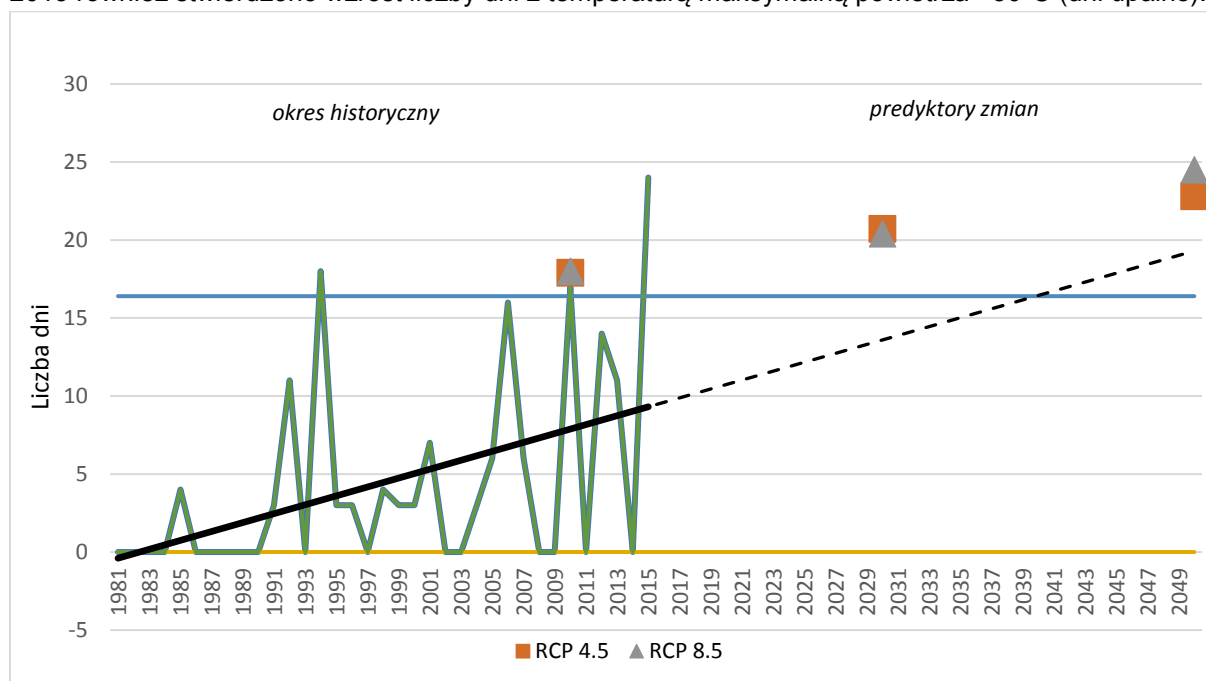
EURO-CORDEX (Euro Coordinated Regional Climate) - Projekt przedstawiający symulacje klimatyczne przy zastosowaniu najnowszych dostępnych projekcji klimatycznych wg. 5 Raportu Oceny Międzyrządowego Panelu ds. Zmian Klimatu (AR5 IPCC) z roku 2013.

RCP (Representative Concentration Pathways) - Raport uwzględniający 4 grupy scenariuszy emisyjnych (RCP2.6; RCP4.5; RCP6.0 oraz RCP8.5), które zakładają skalę dalszego wzrostu emisji CO₂, oraz osiągnięcie wymuszenia radiacyjnego na określonym przez dany scenariusz poziomie.

Istotność statystyczna - prawdopodobieństwo, z jakim można przyjąć, że zależności pomiędzy wartościami zmiennych w próbie badanej mogą być jedynie wynikiem błędu losowego. Próg istotności przyjęto na poziomie 0,05. Im istotność jest mniejsza niż 0,05 tym jest mniejsze niż 5% prawdopodobieństwo błędu losowego (Sobczyk M., 2017, Statystyka, PWN, Warszawa).

2. Upały

Dla liczby dni z temperaturą maksymalną >30°C w roku (dni upalne). Dla liczby dni z temperaturą maksymalną >30°C w roku prognozuje się wystąpienie trendu wzrostowego, silniejszego w latach 2046-2055 dla RCP8.5. Wyniki wiązki EURO-CORDEX ukazują wzrost średnio od 18,0 dnia w dziesięcioleciu 2006-2015 do średnio 20,6 dnia w dziesięcioleciu 2026-2035 i do średnio 22,8 dnia dla scenariusza RCP4.5 i 24,5 dnia dla scenariusza RCP8.5 w dziesięcioleciu 2046-2055 (Rysunek 1). W okresie 1981-2015 również stwierdzono wzrost liczby dni z temperaturą maksymalną powietrza >30°C (dni upalne).

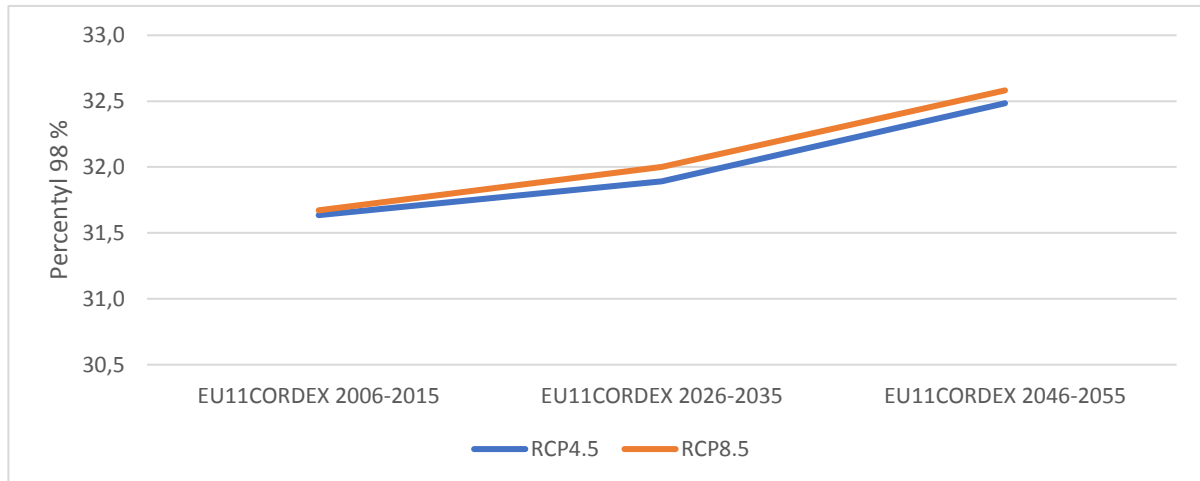


Rysunek 1. Liczba dni z temperaturą maksymalną > 30°C w roku w okresie historycznym (zielona linia) oraz w okresie prognozowanym do 2050 roku dla scenariusza umiarkowanej (RCP4.5 - pomarańczowy kwadrat) i wysokiej emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5 - szary trójkąt)

W odniesieniu do percentyla 98% temperatury maksymalnej dobowej w roku wyniki wiązki EURO-CORDEX wskazują na tendencję wzrostową temperatury powietrza na przestrzeni analizowanych dziesięcioleci, a uzyskane wartości są bardzo zbliżone dla obu z analizowanych scenariuszy. Wartość percentyla 98% temperatury maksymalnej wzrasta średnio od 31,6°C w dziesięcioleciu 2006-2015 poprzez średnio 32,0°C w latach 2026-2035 do średnio 32,6°C w okresie 2046-2055.

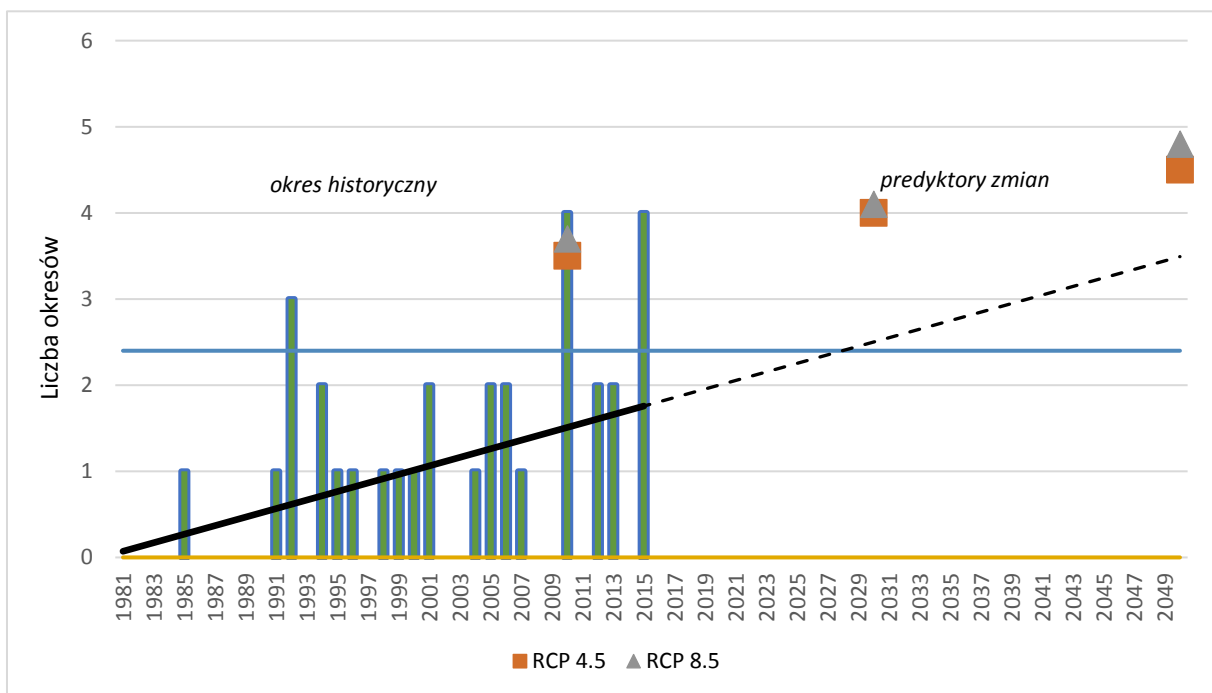
OPRACOWANIE PLANÓW ADAPTACJI DO ZMIAN KLIMATU W MIASTACH POWYŻEJ 100 TYS. MIESZKAŃCÓW

Wartości bieżącej obserwacji klimatu oraz uzyskane na podstawie wyników EURO-CORDEX dla klimatu bieżącego są podobne, co potwierdza dobre odtworzenie zmienności wartości temperatury maksymalnej powietrza. Prognozowany jest wzrost wartości temperatury maksymalnej w okresie letnim.



Rysunek 2. Percentyl 98% temperatury maksymalnej dobowej w roku, dla scenariusza umiarkowanej (RCP4.5 – niebieska linia) i wysokiej emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5 – pomarańczowa linia).

Wyniki wiązki EURO-CORDEX uzyskane dla dwóch scenariuszy dla liczby okresów o długości przynajmniej 3 dni z temperaturą maksymalną >30°C w roku prognozują niewielki trend wzrostowy i bardzo dużą zgodność obliczeń dla obu scenariuszy. Liczba okresów zwiększa się od średnio 3,6 okresów w dziesięcioleciu 2006-2015 poprzez średnio 4,1 okresu w latach 2026-2035 do średnio 4,7 okresu w okresie 2046-2055 (Rysunek 3). W okresie 1981-2015 również stwierdzono wzrost liczby fal upałów



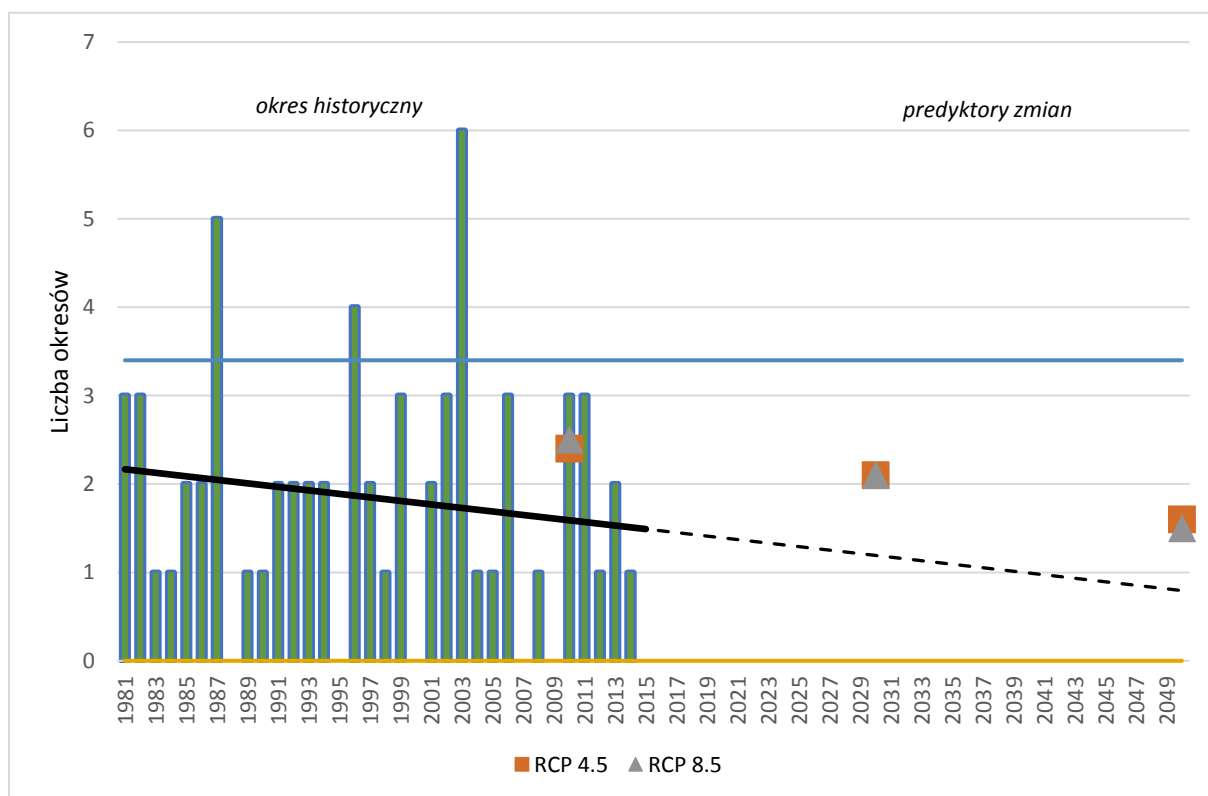
Rysunek 3. Liczba okresów o długości przynajmniej 3 dni z temperaturą maksymalną >30°C w roku w okresie historycznym (zielona linia) oraz w okresie prognozowanym do 2050 roku dla scenariusza umiarkowanej (RCP4.5 - pomarańczowy kwadrat) i wysokiej emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5 - szary trójkąt).

3. Chłody

W okresie 1981-2015 stwierdzono spadek linii trendu dla liczby dni z temperaturą maksymalną powietrza $\leq -10^{\circ}\text{C}$, który jednak nie jest istotny statystycznie

Wartości indeksu liczby dni z temperaturą minimalną $\leq -10^{\circ}\text{C}$ w roku obliczone na podstawie wyników wiązki EURO-CORDEX maleją przeciętnie od 15,6 dni w okresie 2006-2015 poprzez średnio 14,2 dni w latach 2026-2035 do średnio 11,3 dni w dziesięcioleciu 2046-2055. Wartości uzyskane na podstawie EURO-CORDEX dla klimatu bieżącego oraz obserwacji różnią się nieznacznie. Prognozowana liczba dni z temperaturą minimalną poniżej -10°C ulegnie zmniejszeniu.

W przypadku liczby okresów o długości przynajmniej 3 dni z temperaturą minimalną $< -10^{\circ}\text{C}$ w roku (fale chłodu) zmiany nie są duże, jakkolwiek wyniki wiązki EURO-CORDEX wskazują na występowanie trendu spadkowego. Dla obu scenariuszy zmiany są relatywnie małe i pokazują spadek od średnio 2,5 okresu w dziesięcioleciu 2006-2015 poprzez średnio 2,1 okresu w latach 2026-2035 do średnio 1,6 okresu w okresie 2046-2055 (Rysunek 6). W okresie 1981-2015 liczba fal chłodu zmniejszyła się. Prognozowany jest nieznaczny spadek liczby fal chłodu wyrażonych jako okresy o długości przynajmniej 3 dni z temperaturą minimalną $< -10^{\circ}\text{C}$.

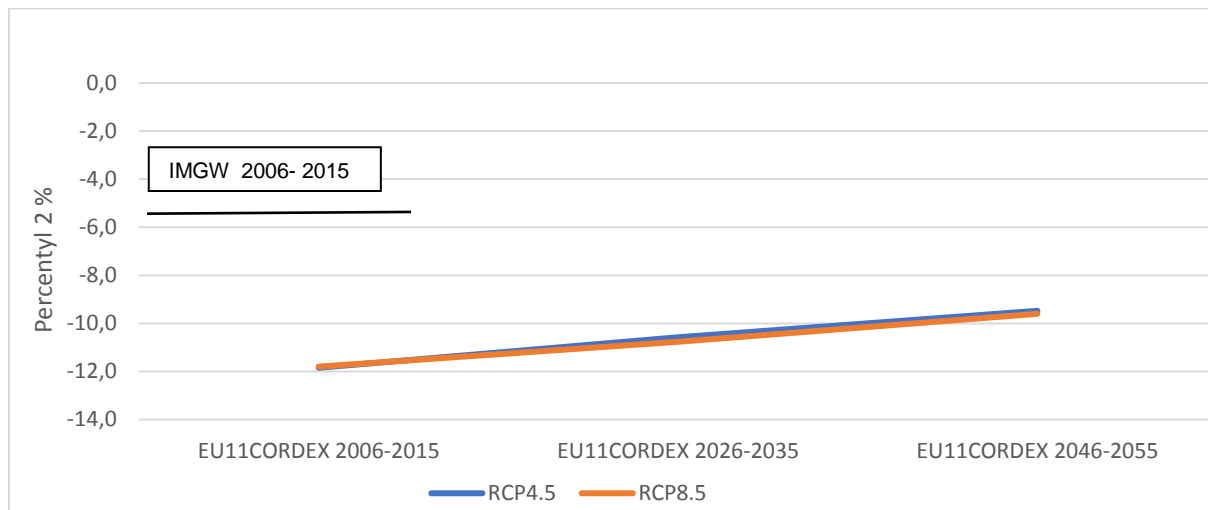


Rysunek 4. Liczba okresów o długości przynajmniej 3 dni z temperaturą minimalną $< -10^{\circ}\text{C}$ w roku

w okresie historycznym (zielona linia) oraz w okresie prognozowanym do 2050 roku dla scenariusza umiarkowanej (RCP4.5 - pomarańczowy kwadrat) i wysokiej emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5 - szary trójkąt)

OPRACOWANIE PLANÓW ADAPTACJI DO ZMIAN KLIMATU W MIASTACH POWYŻEJ 100 TYS. MIESZKAŃCÓW

Wartości wskaźnika dla percentyla 2%¹ temperatury minimalnej dobowej w roku na podstawie wiązki EURO-CORDEX wskazują na istnienie nieznacznego trendu wzrostowego temperatury minimalnej oraz wysoką zgodność uzyskanych wyników dla obu scenariuszy. Percentyl 2% temperatury minimalnej dobowej wzrasta od średnio -11,8°C w dziesięcioleciu 2006-2015 poprzez średnio -10,7°C w latach 2026-2035 i do średnio -9,6°C w okresie 2046-2055 (Rysunek 5). Wartości wskaźnika obliczone dla klimatu bieżącego są zbliżone od obserwowanych. Prognozowany jest wartości temperatury minimalnej okresu zimowego.



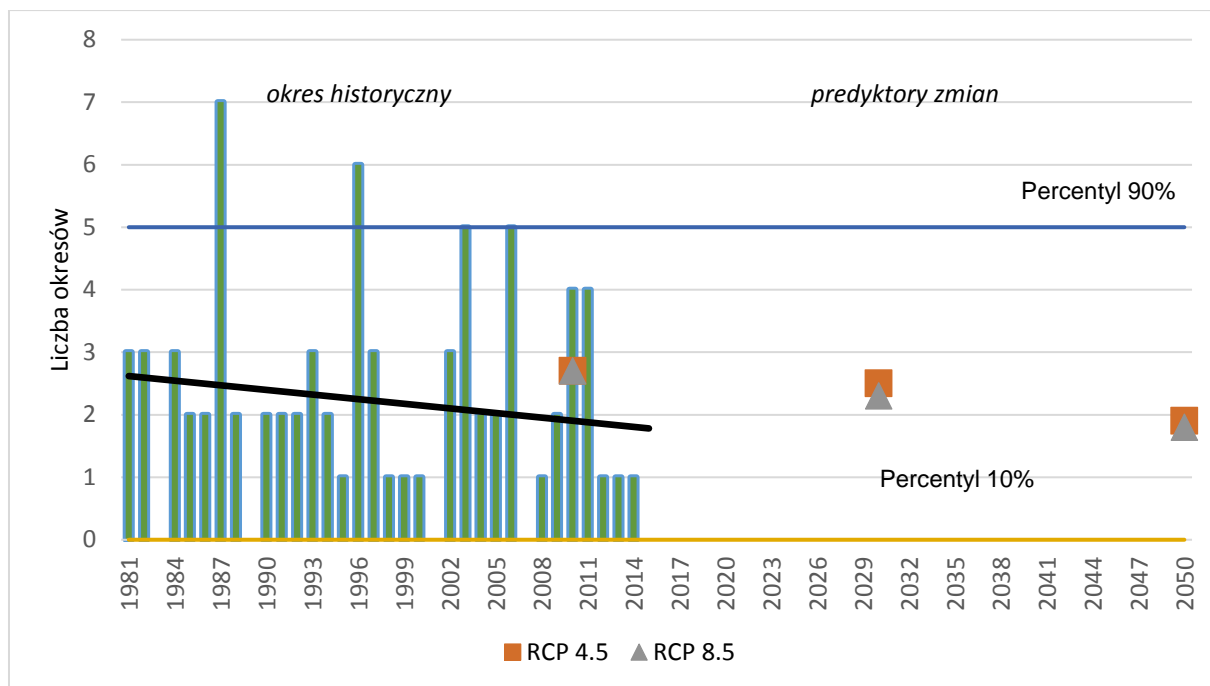
Rysunek 5 Percentyl 2% temperatury minimalnej dobowej w roku

Dla scenariusza umiarkowanej (RCP4.5 – niebieska linia) i wysokiej emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5 – pomarańczowa linia)

W przypadku liczby okresów o długości przynajmniej 3 dni z temperaturą minimalną <-10°C w roku (fale chłodu) zmiany nie są duże, jakkolwiek wyniki wiązki EURO-CORDEX wskazują na występowanie trendu spadkowego. Dla obu scenariuszy zmiany są relatywnie małe i pokazują spadek od średnio 2,5 okresu w dziesięcioleciu 2006-2015 poprzez średnio 2,1 okresu w latach 2026-2035 do średnio 1,6 okresu w okresie 2046-2055 (Rysunek 6). W okresie 1981-2015 liczba fal chłodu zmniejszyła się. Prognozowany jest nieznaczny spadek liczby fal chłodu wyrażonych jako okresy o długości przynajmniej 3 dni z temperaturą minimalną <-10°C. Na podstawie scenariuszy klimatycznych prognozowany jest nieznaczny spadek liczby fal chłodu wyrażonych jako okresy o długości przynajmniej 3 dni z temperaturą minimalną <-10°C.

¹ METODA STATYSTYCZNA ZASTOSOWANA DO WYDZIELENIA WARTOŚCI SKRAJNYCH TEMPERATURY MINIMALNEJ. PERCENTYL 2% TEMPERATURY MINIMALNEJ TO WARTOŚĆ, PONIŻEJ KTÓREJ ZNAJDUJE SIĘ 2% WARTOŚCI TEMPERATURY MINIMALNEJ W BADANYM PRZEDZIALE CZASU.

OPRACOWANIE PLANÓW ADAPTACJI DO ZMIAN KLIMATU W MIASTACH POWYŻEJ 100 TYS. MIESZKAŃCÓW

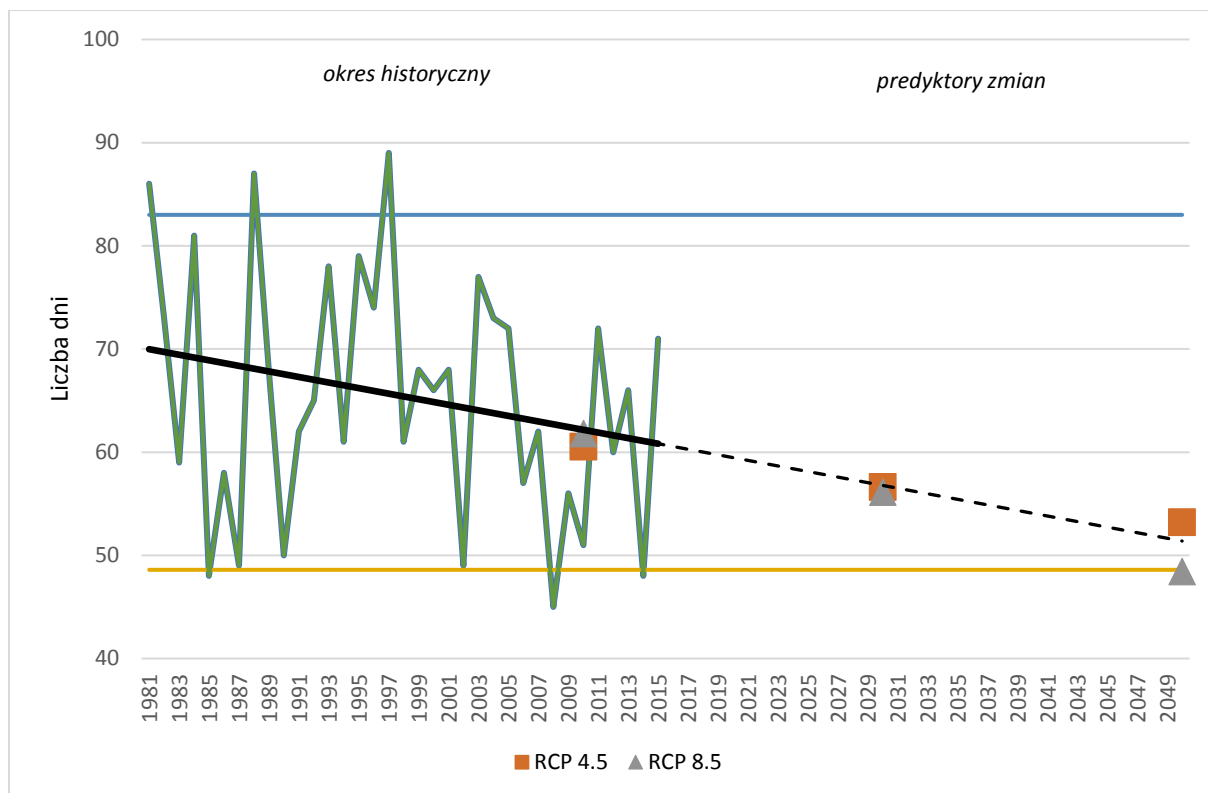


Rysunek 6 Liczba okresów o długości przynajmniej 3 dni z temperaturą minimalną $< -10^{\circ}\text{C}$ w roku
W okresie historycznym (zielona linia) oraz w okresie prognozowanym do 2050 roku dla scenariusza umiarkowanej (RCP4.5 - pomarańczowy kwadrat) i wysokiej emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5 - szary trójkąt)

4. Średnie warunki termiczne

Wartości wskaźnika na podstawie wyników EURO-CORDEX dla liczby dni z przejściem temperatury przez 0°C w roku wskazują na istnienie stałego trendu spadkowego, silniejszego w przypadku scenariusza RCP8.5. Wartość wskaźnika zmienia się od przeciętnie 61,2 dni w dziesięcioleciu 2006-2015 poprzez średnio 56,4 dni w latach 2026-2035 do średnio 50,8 dni w okresie 2046-2055 (Rysunek 7). W okresie 1981-2015 liczba dni z przejściem temperatury powietrza przez 0°C malała z roku na rok. Prognozowane jest zmniejszenie liczby dni z przejściem temperatury powietrza przez 0°C .

OPRACOWANIE PLANÓW ADAPTACJI DO ZMIAN KLIMATU W MIASTACH POWYŻEJ 100 TYS. MIESZKAŃCÓW



Rysunek 7. Liczba dni z przejściem temperatury powietrza przez 0°C w roku

w okresie historycznym (zielona linia) oraz w okresie prognozowanym do 2050 roku dla scenariusza umiarkowanej (RCP4.5 - pomarańczowy kwadrat) i wysokiej emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5 - szary trójkąt)

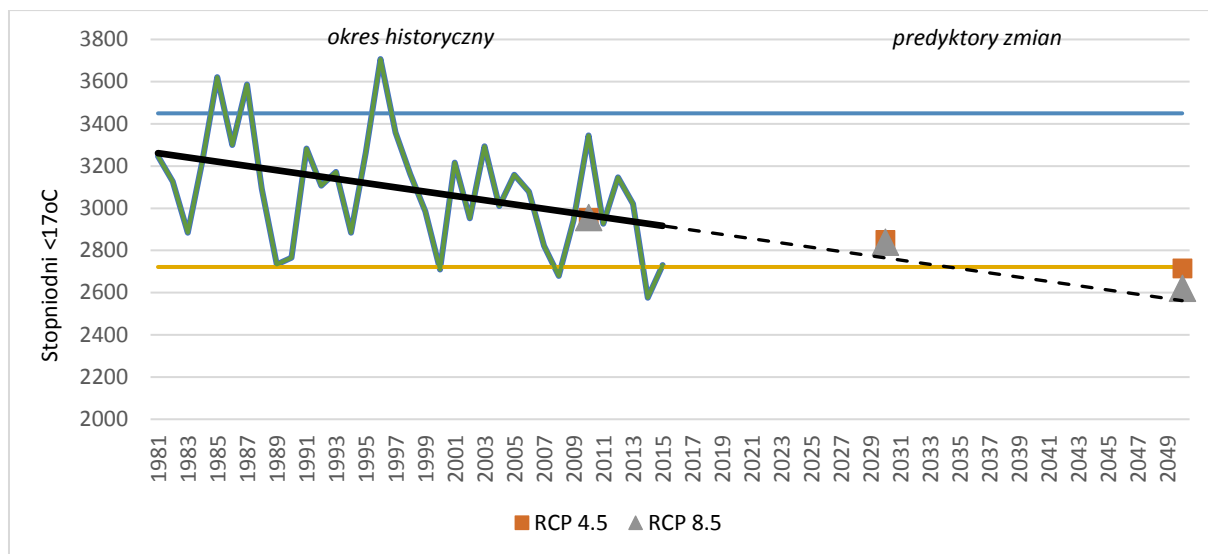
W okresie 1981-2015 stwierdzono nieistotny statystycznie ($p=0,46$) trend malejący dla liczby dni z przejściem temperatury powietrza przez 0°C.

Wartość wskaźnika na podstawie wyników EURO-CORDEX zmieniają się natomiast od przeciętnie 78,3 dni w dziesięcioleciu 2006-2015 poprzez średnio 74,4 dni w latach 2026-2035 do średnio 69,2 dni w okresie 2046-2055 (Rysunek 7).

Stopniodni dla temperatury średniodobowej <17°C

W odniesieniu do stopniodni dla temperatury średniodobowej <17°C w roku wyniki wiązki EURO-CORDEX pokazują spadek wartości wskaźnika. Dla obu scenariuszy wartość wskaźnika zmienia się od średnio 2954,4 w okresie 2006-2015 poprzez średnio 2844,2 w dziesięcioleciu 2026-2035 do średnio 2667,6 w okresie 2046-2055 (Rysunek 8). W okresie 1981-2015 nastąpił znaczny spadek wartości wskaźnika stopniodni <17°C. Prognozowane jest znaczące zmniejszenie się wartości indeksu stopniodni dla temperatury średniodobowej <17°C.

OPRACOWANIE PLANÓW ADAPTACJI DO ZMIAN KLIMATU W MIASTACH POWYŻEJ 100 TYS. MIESZKAŃCÓW



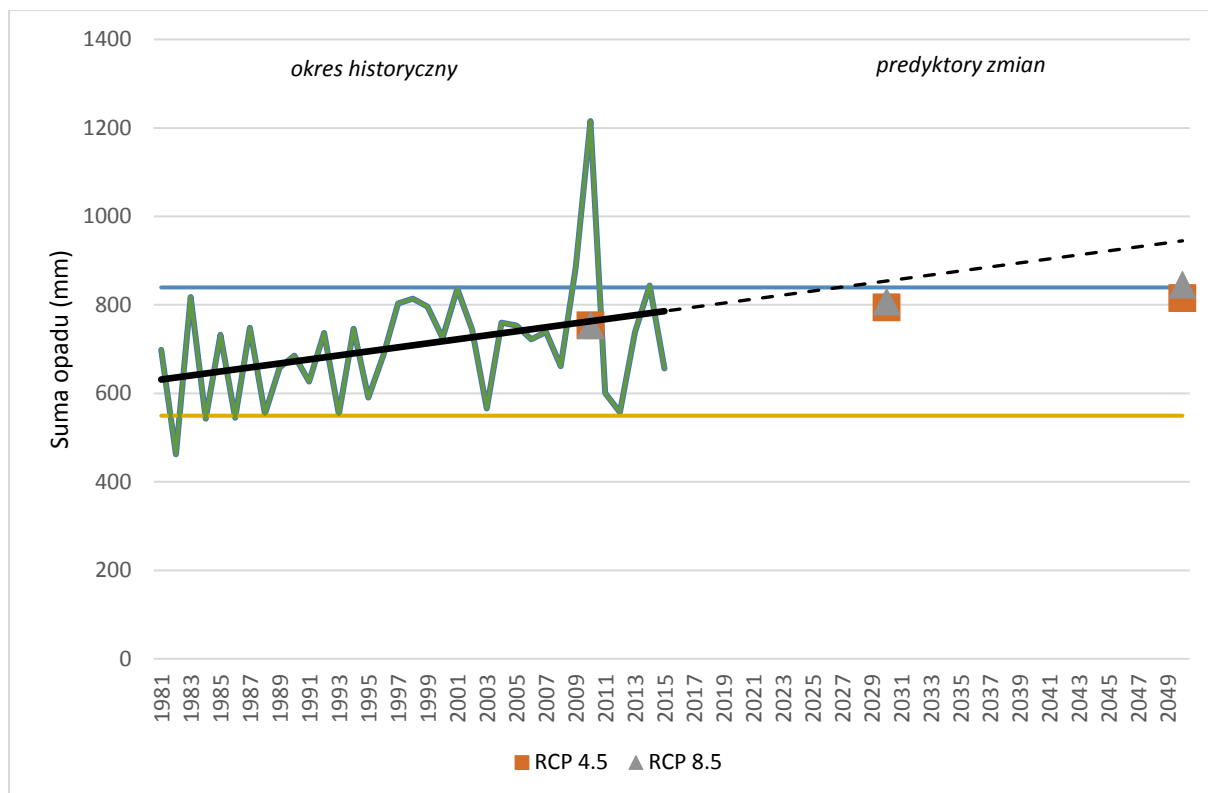
Rysunek 8. Stopniodni dla temperatury powietrza średniodobowej <17°C w roku w okresie historycznym (zielona linia) oraz w okresie prognozowanym do 2050 roku dla scenariusza umiarkowanej (RCP4.5 - pomarańczowy kwadrat) i wysokiej emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5 - szary trójkąt)

5. Dni z opadem

Suma roczna opadu

Wyniki wiązki EURO-CORDEX dla sumy rocznej opadu wykazują na istnienie trendu wzrostowego. Suma roczna opadu atmosferycznego zmienia się od średnio 753,3 mm w dziesięcioleciu 2006-2015 poprzez średnio 800,3 mm w latach 2026-2035 do średnio 829,9 mm w okresie 2046-2055 (Rysunek 9). W okresie 1981-2015 stwierdzono wzrost rocznej sumy opadu atmosferycznego. Prognozowany jest wzrost rocznej sumy opadu.

OPRACOWANIE PLANÓW ADAPTACJI DO ZMIAN KLIMATU W MIASTACH POWYŻEJ 100 TYS. MIESZKAŃCÓW



Rysunek 9. Suma roczna opadu atmosferycznego w okresie historycznym (zielona linia) oraz w okresie prognozowanym do 2050 roku dla scenariusza umiarkowanej (RCP4.5 - pomarańczowy kwadrat) i wysokiej emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5 - szary trójkąt)

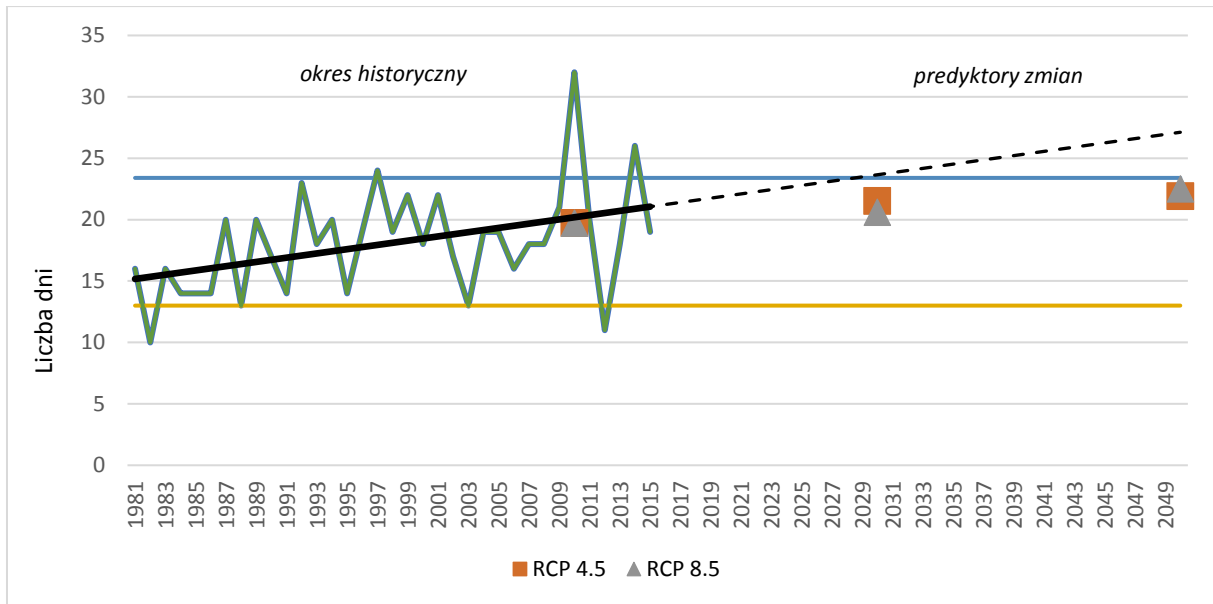
Opad ekstremalny

Zagrożenia związane z opadem ekstremalnym w Tarnowie zostały opisane następującymi wskaźnikami:

- Liczba dni z opadem >10 mm/d w roku,

Dla liczby dni z opadem >10 mm/d w roku wartości wskaźnika obliczone na podstawie EURO-CORDEX wskazują na trend wzrostowy. Średnio liczba dni zmienia się od 19,7 dni w dziesięcioleciu 2006-2015 poprzez średnio 21,1 dni w okresie 2026-2035 do średnio 22,2 dni w latach 2045-2055 (Rysunek 10). W okresie 1981-2015 nastąpił wzrost liczby dni z opadem >10 mm/d w roku. Do 2050 roku prognozowany jest wzrost liczby dni z opadem >10 mm/d w roku.

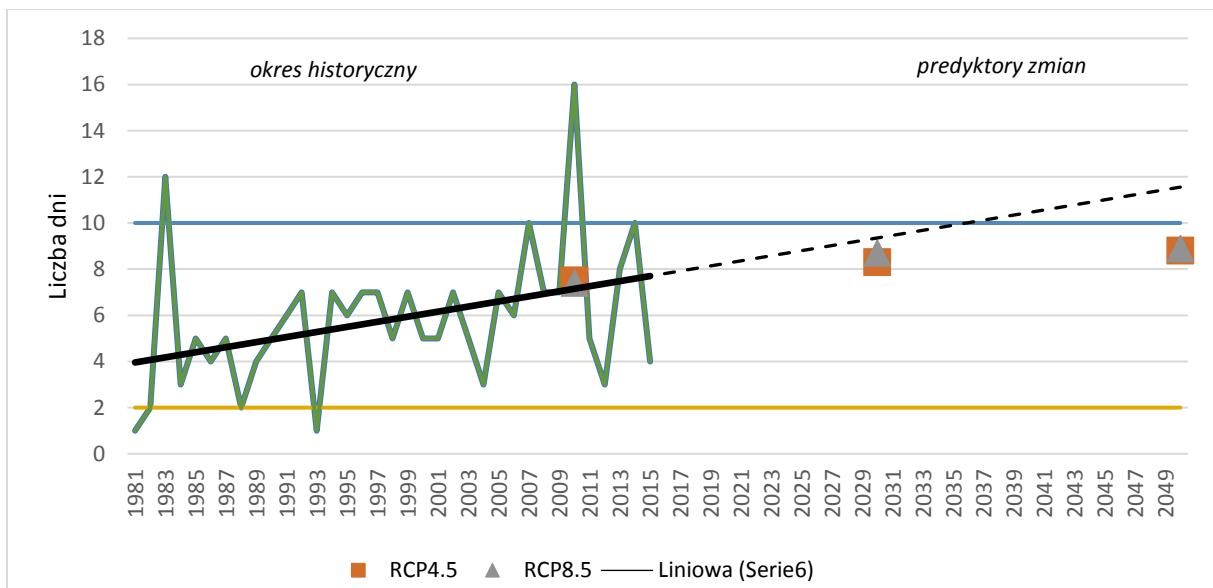
OPRACOWANIE PLANÓW ADAPTACJI DO ZMIAN KLIMATU W MIASTACH POWYŻEJ 100 TYS. MIESZKAŃCÓW



Rysunek 10. Liczba dni z opadem atmosferycznym >10 mm/d w okresie historycznym (zielona linia) oraz w okresie prognozowanym do 2050 roku dla scenariusza umiarkowanej (RCP4.5 - pomarańczowy kwadrat) i wysokiej emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5 - szary trójkąt)

- **Liczba dni z opadem >20 mm/d w roku.**

Na podstawie wyników EURO-CORDEX liczba dni z opadem >20 mm/d w roku wykazuje trend wzrostowy, wartości wskaźnika zmieniają się od średnio 7,5 dni w dziesięcioleciu 2006-2015 poprzez średnio 8,5 dnia w okresie 2026-2035 do średnio 8,9 dnia w latach 2046-2055 (Rysunek 11). Wartości wskaźnika obliczone na podstawie obserwacji oraz wyników EURO-CORDEX są zbliżone. Prognozowany jest nieznaczny wzrost liczby dni z opadem >20 mm/d w roku.



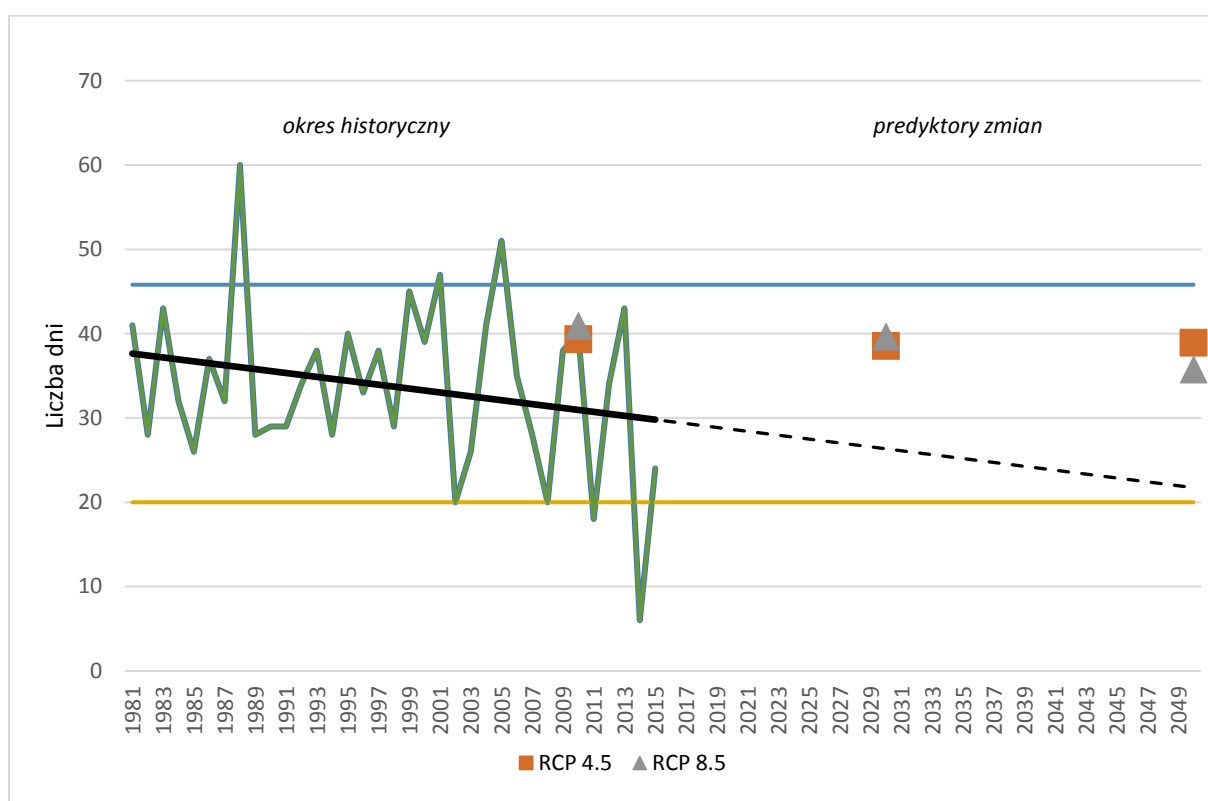
Rysunek 11. Liczba dni z opadem atmosferycznym >20 mm/d w okresie historycznym (zielona linia) oraz w okresie prognozowanym do 2050 roku dla scenariusza umiarkowanej (RCP4.5 - pomarańczowy kwadrat) i wysokiej emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5 - szary trójkąt)

Wskaźnik termiczno-opadowy

Zagrożenia gołedzią zostały ocenione na podstawie analizy następujących wskaźników łączonych, wykorzystujących informacje o temperaturze powietrza i wysokości opadu atmosferycznego:

- Liczba dni z temperaturą powietrza -5°C do $2,5^{\circ}\text{C}$ i opadem atmosferycznym.

W przypadku liczby dni z opadem atmosferycznym przy temperaturze powietrza -5°C do $2,5^{\circ}\text{C}$ występujący trend spadkowy. Wartości zmieniają się od średnio 40,1 dnia w okresie 2006-2015 poprzez średnio 39,1 dnia w dziesięcioleciu 2026-2035 do średnio 37,3 dnia w latach 2046-2055. W okresie 1981-2015 wystąpił trend malejący. Do 2050 roku prognozuje się spadek liczby dni z temperaturą powietrza -5°C do $2,5^{\circ}\text{C}$ i opadem atmosferycznym (Rysunek 12).

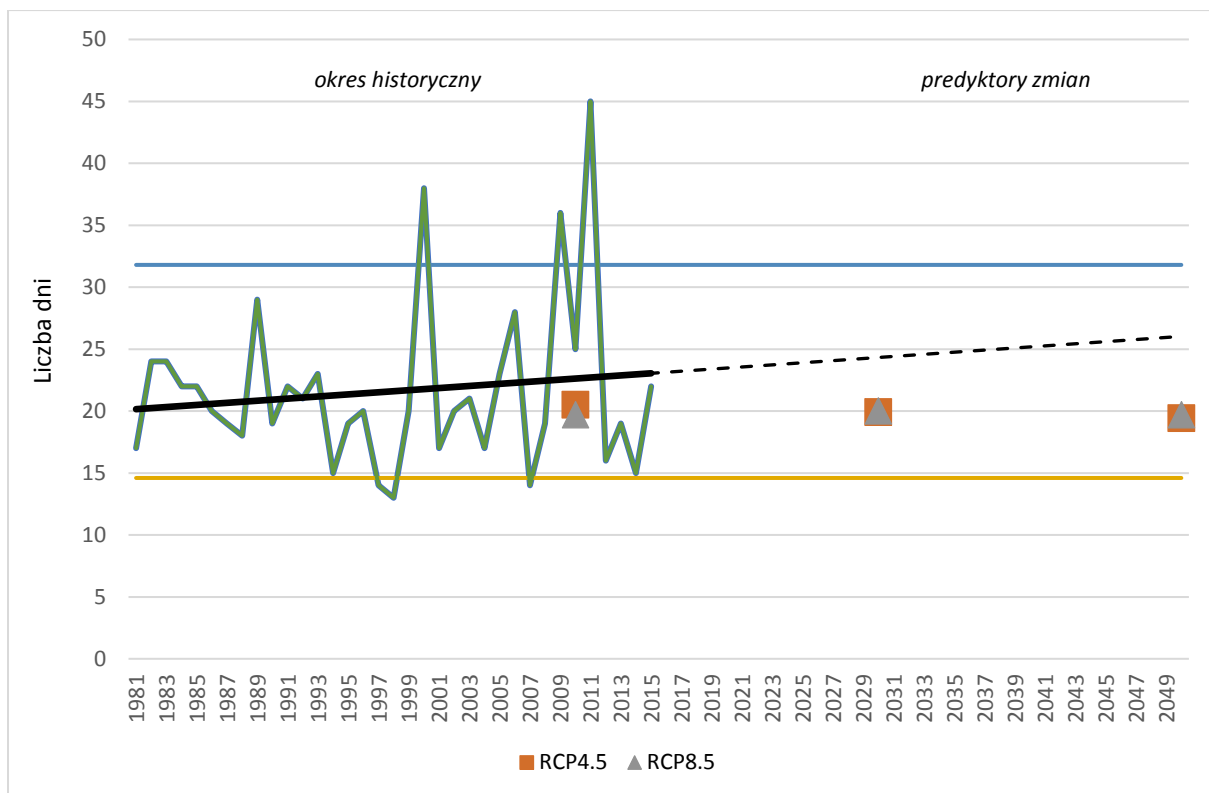


Rysunek 12. Liczba dni z opadem atmosferycznym przy temperaturze powietrza -5 do $2,5^{\circ}\text{C}$ w okresie historycznym (zielona linia) oraz w okresie prognozowanym do 2050 roku dla scenariusza umiarkowanej (RCP4.5 - pomarańczowy kwadrat) i wysokiej emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5 - szary trójkąt)

6. Dni bezopadowe

W przypadku najdłuższego okres bez opadu w roku różnice są nieznaczne, jakkolwiek wskazują na trend stały. Najdłuższy okres bez opadu zmienia się średnio od 20,1 dnia w dziesięcioleciu 2006-2015 poprzez średnio 20,0 dnia w latach 2026-2035 do średnio 19,6 dnia w dziesięcioleciu 2046-2055 (Rysunek 13). W okresie 1981-2015 trend nie występuje. Prognozowana długość najdłuższego okresu bezopadowego nie wykazuje znaczących zmian w horyzoncie do roku 2050.

OPRACOWANIE PLANÓW ADAPTACJI DO ZMIAN KLIMATU W MIASTACH POWYŻEJ 100 TYS. MIESZKAŃCÓW

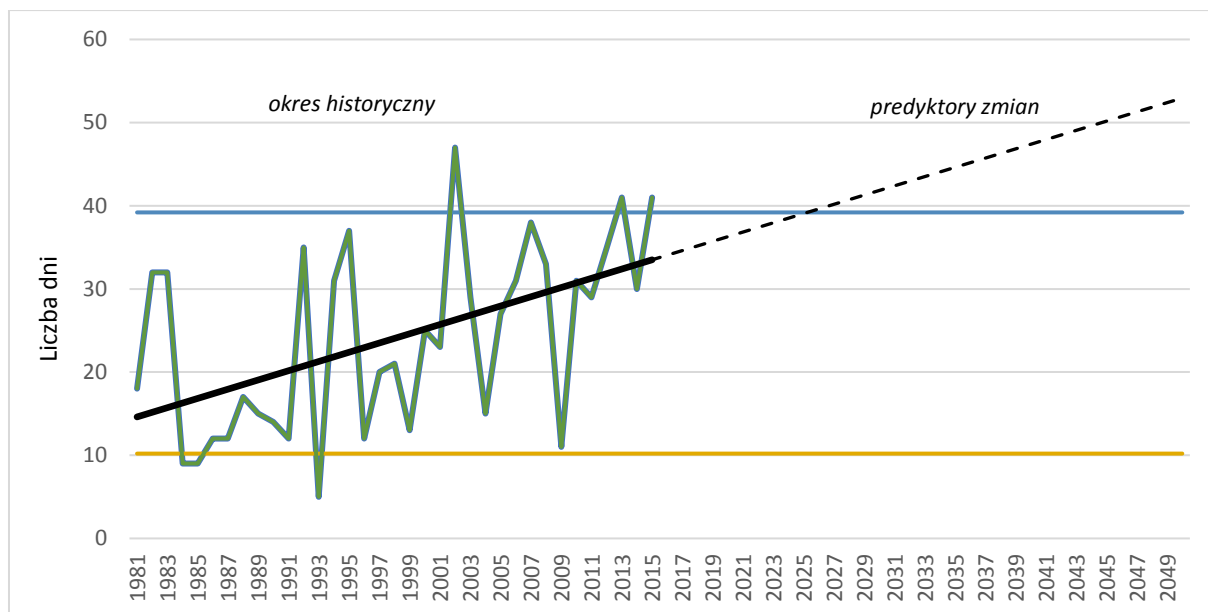


Rysunek 13. Najdłuższy okres bez opadu w okresie historycznym (zielona linia) oraz w okresie prognozowanym do 2050 roku dla scenariusza umiarkowanej (RCP4.5 - pomarańczowy kwadrat) i wysokiej emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5 - szary trójkąt).

Okresy bezopadowe z wysoką temperaturą

Analizę długotrwałych okresów bezopadowych poszerzono o temperaturę maksymalną powietrza >25°C. Najdłuższy okres spełniający oba warunki wystąpił w roku 2002 i wynosił 47 dni (Rysunek 14). W latach 1981-2015 stwierdzono wzrost liczby dni bezopadowych z wysoką temperatura powietrza >25°C.

OPRACOWANIE PLANÓW ADAPTACJI DO ZMIAN KLIMATU W MIASTACH POWYŻEJ 100 TYS. MIESZKAŃCÓW



Rysunek 14. Najdłuższy okres bez opadu z wysoką temperaturą powietrza w okresie historycznym (zielona linia) oraz w okresie prognozowanym do 2050 roku

7. Pochodne opadów

Powodzie nagłe/miejskie

Powodzie miejskie (nagłe) definiowane są jako nagłe zalanie i/lub podtopienie terenu w wyniku wystąpienia silnego, krótkotrwałego opadu deszczu o dużej wydajności na stosunkowo niedużym obszarze zlewni rzecznej lub zurbanizowanej zlewni miejskiej (tzw. deszczu nawalnego). Pod pojęciem opad o dużej wydajności należy rozumieć opad, najczęściej burzowy, o wysokości co najmniej 20 mm, który trwa nie dłużej niż 12 godzin (Projekt Klimat). Należy jednak pamiętać, że nie każdy deszcz nawalny musi powodować powódź, co jest uzależnione od lokalnych uwarunkowań (ukształtowania i zagospodarowania terenu, układy hydrograficznego, wydajności systemów kanalizacyjnych itp.).

W powyższych materiałach odnotowano w latach 1970-2010 dla obszaru miasta Tarnowa kilka przypadków wystąpienia opadów nawalnych (należy tutaj zwrócić uwagę, że w bazie danych w niektórych przypadkach podano dobowe sumy opadów, gdy nie udało się ustalić konkretnego czasu trwania opadu), z których żaden nie spowodował jednak wystąpienia powodzi miejskiej.

lp	Data opadu	Wysokość opadu [mm]	Czas trwania opadu [min]
1.	8.05.1972	50	211
2.	30.07.1972	54,6	38
3.	17.09.1984	33,8	15
4.	29.07.2000	90,7	1440
5.	28.07.2004	60,40	1440
6.	3.06.2006	59,0	1440
7.	22.06.2006	60,0	1440
8.	30.06.2006	40,9	1440
9.	9.07.2007	37,6	120
10.	11.05.2009	41,8	1440
11.	26.06.2009	68,5	1440
12.	22.08.2009	65,2	1440

OPRACOWANIE PLANÓW ADAPTACJI DO ZMIAN KLIMATU W MIASTACH POWYŻEJ 100 TYS. MIESZKAŃCÓW

13.	16.05.2010	81,0	1440
14.	17.05.2010	56,9	1440
15.	01.06.2010	59,2	1440
16.	27.07.2010	54,3	1440
17.	3.08.2010	18,0	30

Tabela 1. Nawalne opady zanotowane na posterunkach opadowych w rejonie Tarnowa (1971-2010)

Opady nawalne, które spowodowały powódzie miejskie wystąpiły w Tarnowie:

- 17.09.1984r. – deszcz trwał bardzo krótko- ok. 15 min, spowodował potoki wody na ulicach, największe zagrożenie od strony Starego Wątku.
- 22.06.2006r. – gwałtowna burza z intensywnymi opadami sparaliżowała miasto, zalanych zostało wiele ulic, a główne zagrożenie pochodziło od Wątku.

W tym dniu w miejscowości Ryglice, Zalasowa (pow. Tarnów) doszło do oberwania chmury, której skutkiem były liczne uszkodzenia infrastruktury komunalnej i zalane domostwa.

- 9.07.2007r. – ulewny deszcz, który trwał 120 min spowodował podtopienie domów, ulic, uszkodzenie dróg.

W miejscowości Skrzyszów (okolica Tarnowa) wystąpił ulewny deszcz, który spowodował podtopienia domostw i upraw rolnych.

- 26.06.2009r. – burza z intensywnym opadem deszczu spowodowała wiele szkód. Ulice Tarnowa zamieniły się w rzeki, wylały potoki: Wątok, Strusinka, rzeka Biała. Uszkodzonych zostało kilka mostów, jeden został zniszczony, zalane zostały piwnice, domy, kościoł. Podobna sytuacja miała miejsce w Skrzyszowie, Lisiej Górze. Oberwanie chmury w miejscowościach Koszyce Małe i Koszyce Duże, spowodowało podtopienie domostw.
- 22.08.2009r. - ulewny deszcz spowodował podtopienie gospodarstw, uszkodzenie dróg, mostów, linii energetycznych w Tarnowie oraz okolicy.
- 16.05.2010r.- w rejonie Skrzyszowa wystąpił ulewny deszcz, który spowodował podtopienie domów oraz konieczność ewakuacji dwóch rodzin.

Również w kolejnych latach występowały intensywne opady deszczu z gwałtownymi burzami, które doprowadziły do zalania ulic i podtopień (19.07.2011, 03.05.2013, 11.06.2013, 23.09.2014, 25.09.2015 w ciągu 60min spadło 60mm deszczu, a w kolejnych godzinach suma opadu wzrosła do 84 mm. W wyniku tak intensywnych opadów wiele ulic znalazło się pod wodą, w której utknęły samochody, a z jednego z autobusów strażacy ewakuowali pasażerów. Przez całą noc wypompowywali wodę z blisko 40 posesji.

29.06.2017r. przez miasto przeszła gwałtowna burza, której skutkami były połamane drzewa, zalane ulice, zerwane dachy. W Koszycach Małych od uderzenia pioruna zapalił się las. W pobliskich miejscowościach Gromniki, Świąbodziń i Lichwie wiatr pozrywał dachy. Do szpitala trafiło 6 osób poszkodowanych wyniku burzy. W wielu miejscowościach nie było prądu.

- Na podstawie powyższego należy ocenić, że zagrożenie wystąpieniem powodziąmi nagłymi na obszarze Miasta Tarnowa jest wysokie. Opady mogące powodować powódzie nagłe/miejskie w rejonie Tarnowa, są zjawiskiem dość częstym. Dużym problemem w mieście jest brak kanalizacji deszczowej. System kanalizacji ogólnospławnej nie jest w stanie przyjąć tak dużej ilości wody. Duży stopień uszczelnienie i brak zbiorników retencyjnych powodują szybką koncentrację wód opadowych systemach kanalizacyjnych i ciekach powierzchniowych.

- **Powódzie od strony rzek**

Podstawowymi aktami prawnymi regulującymi zasady postępowania w zakresie określenia zagrożenia i ryzyka powodziowego oraz przeciwdziałania ich negatywnym skutkom, są Dyrektywa 2007/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2007 r. w sprawie oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim (tzw. Dyrektywa Powodziowa) oraz implementująca ją do prawodawstwa polskiego ustawa z dnia 18 lipca 2001 r. Prawo wodne (tekst jednolity: Dz.U. 2015 poz. 469 z późniejszymi zmianami). W myśl powyższych przepisów dla Regionów Wodnych i obszarów dorzeczy opracowane zostały:

- a) Wstępna ocena ryzyka powodziowego (WORP), której celem jest wyznaczenie obszarów narażonych na niebezpieczeństwo powodzi, czyli obszarów, na których istnieje znaczące ryzyko powodziowe lub na których wystąpienie dużego ryzyka jest prawdopodobne,
- b) Mapy zagrożenia powodziowego, przedstawiające zasięgi obszarów, na których prawdopodobieństwo wystąpienia powodzi jest niskie i wynosi raz na 500 lat lub na których istnieje prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia ekstremalnego, a także obszarów szczególnego zagrożenia powodzią oraz obszarów obejmujących tereny narażone na zalanie w przypadku zniszczenia lub uszkodzenia wału przeciwpowodziowego,
- c) Mapy ryzyka powodziowego, przedstawiające potencjalne negatywne skutki związane z powodzią dla obszarów przedstawionych na mapach zagrożenia powodziowego.
- d) Plan zarządzania ryzykiem powodziowym dla Regionu Wodnego Górnej Wisły (PZRP), którego celem jest przedstawienie programu działań kluczowych (wysokopriorytetowych), zmierzających do zmniejszenia występującego zagrożenia powodziowego na obszarze wszystkich ONNP wskazanych we Wstępnej ocenie ryzyka powodziowego.

W ramach WORP na obszarze Miasta Tarnowa wyznaczono obszary narażone na niebezpieczeństwo powodzi (zidentyfikowano wystąpienia powodzi historycznych z możliwością wystąpienia powodzi prawdopodobnych), w związku z czym opracowano dla tego obszaru mapy zagrożenia i mapy ryzyka powodziowego.

Według wspomnianych map strefy zalewowe dla wody o prawdopodobieństwie wystąpienia $p=1\%$ (tzw. woda stuletnia) zawierają się w międzywałach rz. Bałej, a na odcinkach nieobwałowanych zagrażają terenom mniejszej wartości (tereny zielone, ogródki działkowe).

Wyznaczone zasięgi są generalnie zbieżne z wariantem zero PZRP (wariant, w którym modele hydrauliczne zaktualizowane zostały o inwestycje przeciwpowodziowe wykonane w okresie od opublikowania MZP/MRP, a opracowaniem PZRP).

Wały przeciwpowodziowe (II klasa budowli hydrotechnicznych) występują po obu stronach rzeki Białej wały przeciwpowodziowe posiadają wraz z wałem cofkowym potoku Wątok. W scenariuszu awarii lub zniszczenia wału przeciwpowodziowego znaczna część terenów położonych wzdłuż rzeki Białej jest zagrożona zalaniem. Okoliczni mieszkańcy będą ponosić straty związane ze skutkami powodzi zarówno materialne, gospodarcze, a także spowodowane przez zanieczyszczenia naniesione przez wezbrane wody. Część domów w wyniku zalania może ulec zniszczeniu. Szczególne zagrożenie dotyczy terenów mieszkalnych położonych przy ul. Koszyckiej oraz dolina zalewowa przy ul. Krakowskiej oraz terenów przemysłowych Grupy Azoty położonych w widłach Dunajca i Białej.

Obecnie duże zagrożenie powodziowe niesie za sobą również potok Wątok, szczególnie na terenach położonych bezpośrednio powyżej ujścia do rzeki Białej. Tereny zagrożone to również obszar ogródków działkowych położonych pomiędzy torami kolejowymi a ujściowym odcinkiem potoku - to ulice przy ujściu Strusinki: ul. Grunwaldzka, ul. Do Huty, potok Strusinka: ul. Tuchowska (cmentarz przy ul.

Tuchowskiej), ul. Wodna, ul. Ostrogskich, ul. Zamkowa, ul. Zgody, rejon mostu kolejowego – ul. Spytki z Melsztyna, al. Tarnowskich.

Tereny zagrożone powodzią położone są wzdłuż ulic: Kalinowej, ul. Konnej, Kwiatkowskiego, ul. Miodowej, ul. Równej, ul. Buczka, ul. Pustaki, Krakowskiej, ul. Mieszka I jak również tereny położone na północ: ul. Kępińskiego, Daleka, Nad Białą oraz w kierunku zachodnim ulica Langiewicz. Potok Małochlebówka zwany też Mrozówką powoduje podmywanie krawędzi drogi.

Przyjmując wezbrania Dunajca, Białej, potoku Wątok, Strusinka oraz Małochlebówka z roku 1997 i 2010 największe wystąpienie rzek z brzegów występuję na rzece Białej oraz potoku Wątok. W przypadku przerwania wałów Białej istnieje niebezpieczeństwo podtopienia osiedli mieszkaniowych zlokalizowanych w najbliższej odległości od koryta rzeki. Zagrożenie ze strony Strusinki i Małochlebówki jest relatywnie mniejsze i obejmuje głównie część śródmieścia oraz wschodnią część osiedle Gumniska, osiedle Zielone, Rzędzin.

Podsumowując powyższe analizy, zagrożenia i ryzyko powodziowe występujące na obszarze Miasta Tarnowa należy ocenić jako średnie, choć bezpieczeństwo miasta w głównej mierze zależy od stanu infrastruktury przeciwpowodziowej. Należy zaznaczyć, że postępujące zmiany klimatu oraz wzrost zagospodarowania przestrzennego mogą w przyszłości prowadzić do wzrostu poziomów zagrożenia i ryzyka powodziowego w Tarnowie.

8. Zanieczyszczenia powietrza

Przeprowadzono analizę poziomów stężeń w zakresie wybranych wskaźników dla trzech zanieczyszczeń:

- ozonu troposferycznego,
- pyłu PM₁₀,
- pyłu PM_{2,5},

wyniki analizowano w odniesieniu do wartości kryterialnych określonych w obowiązujących przepisach prawnych.

Podstawę przeprowadzonych analiz stanowiły wyniki pomiarów jakości powietrza prowadzone w latach 2006-2016 w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska (PMŚ), udostępniane na stronie internetowej Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska (GIOŚ).

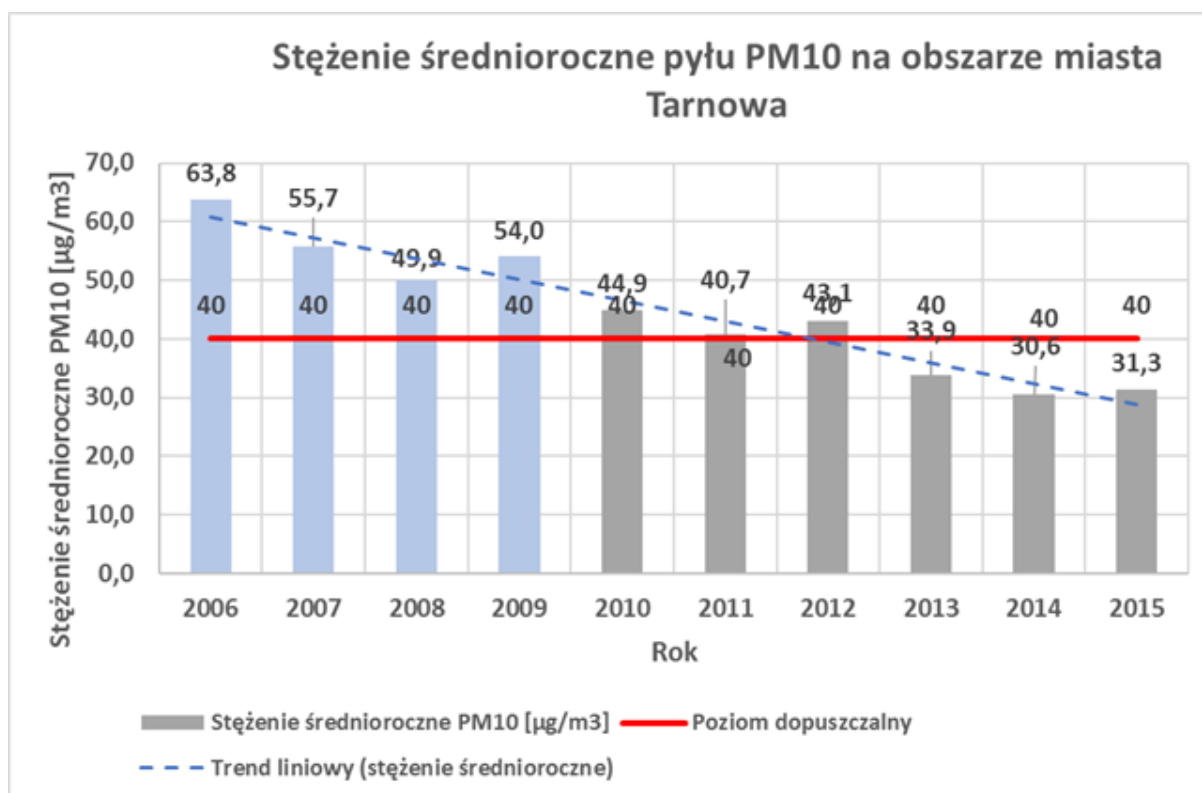
Zgodnie z założeniami metodycznymi, podstawę analiz poziomów stężeń zanieczyszczeń powietrza prowadzonych w ramach projektu MPA stanowią **wyłącznie** wyniki pomiarów ze stacji pomiarowych tła miejskiego, ponieważ wyniki z tych stacji pomiarowych, zlokalizowanych przy dużych skupiskach zabudowy mieszkalnej, są najbardziej reprezentatywne dla określenia poziomów stężeń zanieczyszczeń oddziałujących na mieszkańców miasta.

Analizę stężeń pyłu PM₁₀ w powietrzu przeprowadzono w oparciu o dane pomiarowe za lata 2010-2015 ze stacji pomiarowej zlokalizowanej w Tarnowie przy ul. Bitwy pod Studziankami oraz w Krakowie przy ul. Prądnickiej w latach 2006-2009. W przypadku Tarnowa dla oceny analiz stężeń pyłu PM₁₀ w powietrzu w latach 2006-2011 nie było innej możliwości wyboru stacji niż stacje zlokalizowane na terenie Krakowa, równocześnie żadna ze stacji na terenie Krakowa nie prowadziła pomiarów w całym okresie, stąd konieczność połączenia wyników z dwóch stacji w Krakowie oraz stacji w Tarnowie.

Na rys. 15 (*Rysunek 15*) przedstawiono zmienność stężenia średniego rocznego w okresie lat 2006-2015 w odniesieniu do wartości dopuszczalnej określonej w obowiązujących przepisach prawnych na poziomie 40 µg/m³. Jak wynika z wykresu, w latach 2006-2012 poziomy stężeń średniorocznych na terenie Tarnowa znacznie przewyższały wartość dopuszczalną, natomiast w latach 2013-2015 sytuacja

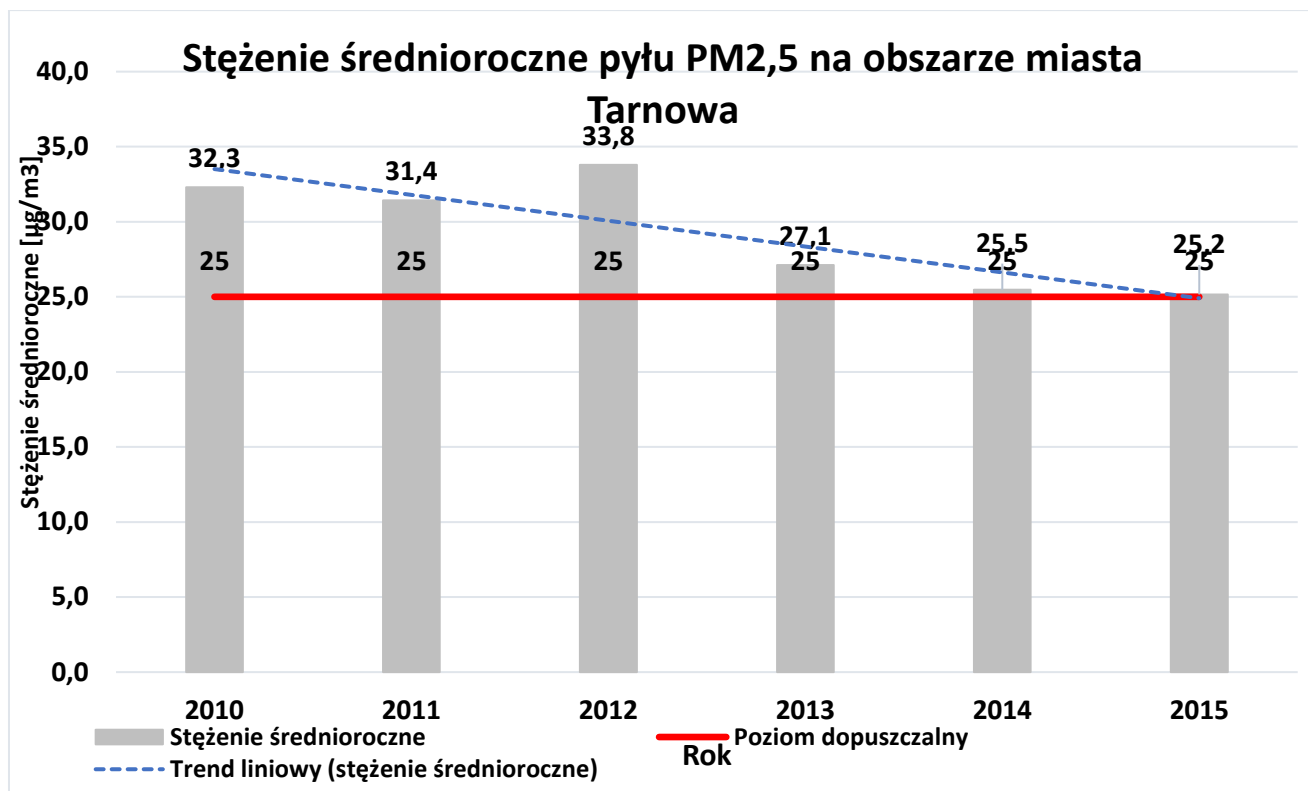
OPRACOWANIE PLANÓW ADAPTACJI DO ZMIAN KLIMATU W MIASTACH POWYŻEJ 100 TYS. MIESZKAŃCÓW

się nieco polepszyła, ponieważ poziomy stężenie nie przekraczały wartości dopuszczalnej. Jednak jest to nadal istotny problem wymagający podejmowania działań. Występujące przekroczenia wartości normatywnej wynikały z dużej ilości dni mroźnych w trakcie okresu grzewczego w tamtych latach. Linia trendu wskazuje na spadek stężenia średniego rocznego pyłu PM10 w kolejnych latach, przy czym bardzo istotny wpływ na jej przebieg ma znacząco wyższa wartość stężenia średniego rocznego oznaczona w roku 2006 w porównaniu do wyników pomiarów prowadzonych w kolejnych latach.



Rysunek 15. Pył zawieszony PM10- wartość stężeń średniorocznych

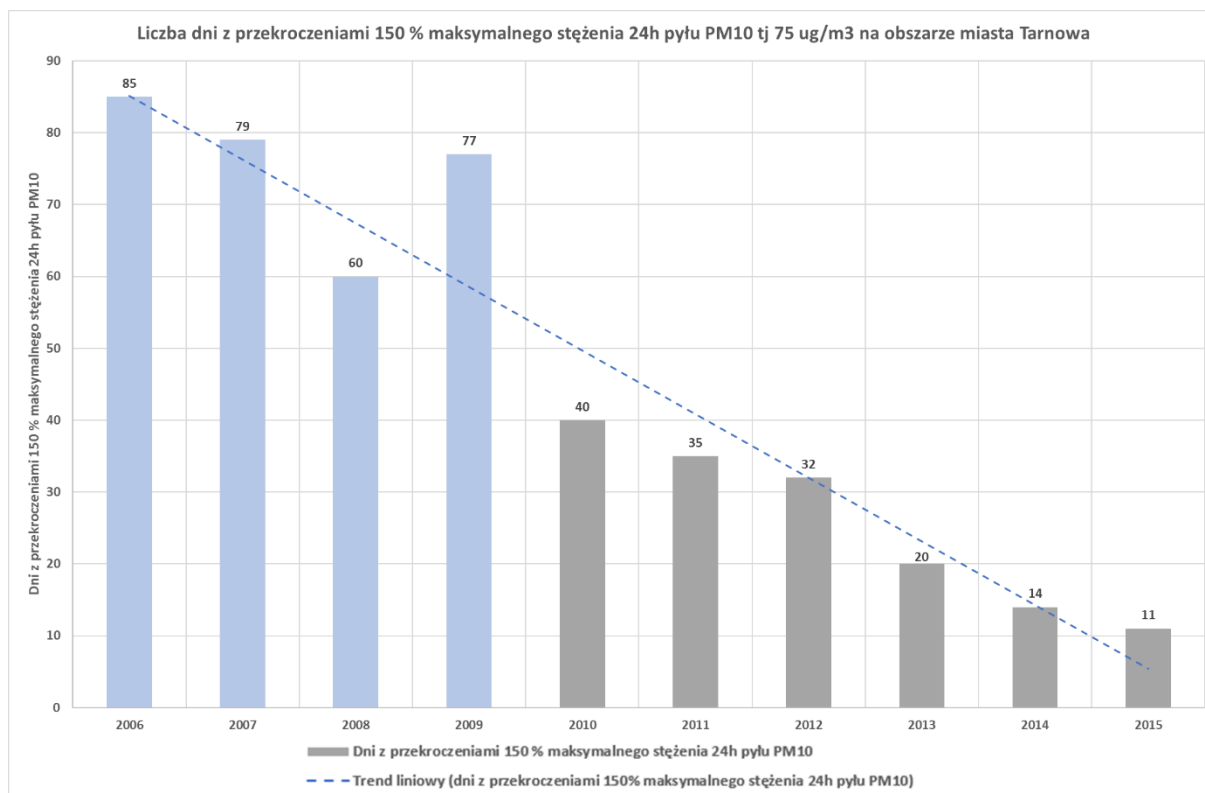
Na rys. 16 (**Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.**) przedstawiono zmienność stężenia średniego rocznego w okresie lat 2010-2015 w odniesieniu do wartości dopuszczalnej określonej w obowiązujących przepisach prawnych na poziomie 25 µg/m³. Jak wynika z przedstawionego wykresu dopuszczalne poziomy stężenie średniorocznych w latach 2010-2015 przekraczały poziom dopuszczalny, przy czym wartość przekroczenia w roku 2015 była minimalna. Najwyższe stężenia pyłu PM2,5 występują w okresie zimowym, zaś przekroczenie poziomu dopuszczalnego może być przyczyną znacząco negatywnego oddziaływania na zdrowie ludzi. Linia trendu wskazuje na spadek stężenia średniego rocznego pyłu PM2,5 w kolejnych latach.



Rysunek 16. Pył zawieszony PM_{2,5} – wartości stężeń średniorocznych

Na rys. 17 (Rysunek 17) przedstawiono częstość występowania przekroczeń wartości granicznej określonej na poziomie 75 µg/m³ dla stężeń dobowych pyłu PM₁₀. Jak wynika z przedstawionego wykresu ilość dni z epizodami wysokich stężeń pyłu PM₁₀ na terenie miasta Tarnowa najwyższa była w latach 2006 i 2009 i wynosiła około 3 miesięcy. W latach 2013-2015 ilość dni z bardzo złą jakością powietrza nie przekraczała 3 tygodni w ciągu roku, co w znacznym stopniu było skutkiem krótszych i łagodniejszych okresów zimowych. Linia trendu wskazuje na spadek ilości dni w ciągu roku z przekroczeniem wartości granicznej dla stwierdzania występowania epizodów wysokich stężeń pyłu PM₁₀, przy czym istotny wpływ na przebieg linii trendu posiada znacząco większa ilość dni z przekroczeniami w roku 2006 (stanowiącego początek okresu objętego analizą) w porównaniu do kolejnych lat oraz znacząco mniejsza ilość dni z przekroczeniami w latach 2013-2015, tj. końcowych lat okresu objętego analizą.

OPRACOWANIE PLANÓW ADAPTACJI DO ZMIAN KLIMATU W MIASTACH POWYŻEJ 100 TYS. MIESZKAŃCÓW



Rysunek 17. Pył zawieszony PM10 – liczba dni z epizodami wysokich maksymalnych średniodobowych stężeń pyłu PM10

Przeprowadzono analizę poziomów stężeń w zakresie wybranych wskaźników dla trzech zanieczyszczeń: ozonu troposferycznego, pyłu PM10 oraz pyłu PM2,5, wyniki analizowano w odniesieniu do wartości kryterialnych określonych w obowiązujących przepisach prawnych.

Analizy przeprowadzone dla wybranych wskaźników pyłu PM10 wykazały, że w całym analizowanym okresie czasu wartości maksymalnych stężeń średnich dobowych znacznie przekraczały poziom dopuszczalny określone zgodnie z obowiązującymi przepisami prawnymi. Ponadto liczba dni z przekroczeniami maksymalnych stężeń średnich dobowych w całym okresie przekraczała poziom dopuszczalny 35 dni w roku kalendarzowym. Wartości stężeń średniorocznych natomiast przekraczały poziom normatywny w ciągu 2 lat w analizowanym okresie 10-lecia. W przypadku każdego z ww. trzech wskaźników stwierdzono trend malejący, przy czym bardzo istotny wpływ na przebieg linii trendu miały poziomy stężeń oraz liczba dni z przekroczeniami stwierdzone w roku 2006 (stanowiącym początek okresu analiz), znacząco wyższe od wyników stężeń w większości kolejnych lat. Istotny wpływ na wartości analizowanych wskaźników określonych dla pyłu PM10 posiadały długość sezonu zimowego, ilość dni z występowaniem temperatury minimalnej oraz wartości temperatur minimalnych – im dłuższy oraz bardziej mroźny sezon zimowy tym wyższe były wartości oznaczonych wskaźników pyłu PM10. Równocześnie scenariusze klimatyczne do roku 2030 (wg klimada.mos.gov.pl) wskazują na możliwość spadku w kolejnych latach liczby dni z temperaturą minimalną powietrza, co może skutkować spadkiem stężeń pyłu PM10.

Analizy przeprowadzone dla wybranych wskaźników pyłu PM2,5 wykazały, że przez większą część analizowanego okresu czasu wartości stężeń średniorocznych przekraczały poziom dopuszczalny określony zgodnie z obowiązującymi przepisami prawnymi. Stwierdzono również wysokie wartości maksymalnych stężeń średnich dobowych, dla których brak jest określonej w obowiązujących przepisach prawnych wartości dopuszczalnej. W przypadku każdego z ww. wskaźników stwierdzono trend malejący. Podobnie jak w przypadku pyłu PM10, istotny wpływ na wartości analizowanych wskaźników określonych dla pyłu PM2,5 posiadały długość sezonu zimowego, ilość dni

OPRACOWANIE PLANÓW ADAPTACJI DO ZMIAN KLIMATU W MIASTACH POWYŻEJ 100 TYS. MIESZKAŃCÓW

z występowaniem temperatury minimalnej oraz wartości temperatur minimalnych. Scenariusze klimatyczne do roku 2030 (wg klimada.mos.gov.pl) wskazują na możliwość spadku w kolejnych latach liczby dni z temperaturą minimalną powietrza, czego skutkiem może być obniżanie się stężeń pyłu PM_{2,5}.

Analizy przeprowadzone dla wybranych wskaźników ozonu troposferycznego wykazały, że przekroczenia maksymalnej 8-godzinnej średniej kroczącej >120 µg/m³ określone z uwagi na ochronę zdrowia ludzi jedynie w 2015 roku były częstsze od dopuszczalnego poziomu 25 dni w roku kalendarzowym; wartość wskaźnika AOT40 określonego z uwagi na ochronę roślin dla sezonu wegetacyjnego w latach 2006-2015 nie przekraczała wartości normatywnej określonej w obowiązujących przepisach prawnych. Tym samym problem występowania podwyższonych stężeń ozonu troposferycznego na terenie miasta Tarnowa jest mało istotny. Trendy zmian obu wskaźników w analizowanym okresie czasu wykazywały tendencję rosnącą, przy czym istotny wpływ na jej przebieg ma znacznie wyższa niż w pozostałych latach ilość dni z przekroczeniami stwierdzona w roku 2015. Równocześnie scenariusze klimatyczne do roku 2030 (wg klimada.mos.gov.pl) wskazują na możliwość wzrostu w kolejnych latach maksymalnej temperatury powietrza, co może skutkować wzrostem stężeń ozonu troposferycznego oraz zwiększeniem częstotliwości występowania przekroczeń wartości kryterialnych określonych w przepisach prawnych.

Przeprowadzona analiza częstości występowania epizodów wysokich stężeń pod kątem możliwości wystąpienia smogu wykazała, że na terenie miasta Tarnowa występuje istotne zagrożenie powstawaniem smogu zimowego, związanego z maksymalnymi stężeniami średnimi dobowymi pyłu PM₁₀ przekraczającymi poziom 75 µg/m³. Ilość dni z przekroczeniami ww. poziomu granicznego w ostatnich 10 latach kształtowała się w granicach od około 2-4 tygodni w roku w latach z krótkim sezonem grzewczym do około 3 miesięcy w ciągu roku w przypadku lat charakteryzujących się długimi i mroźnymi sezonami zimowymi. Linia trendu wskazuje na spadek ilości dni w ciągu roku z przekroczeniem wartości granicznej dla stwierdzania występowania epizodów wysokich stężeń pyłu PM₁₀, przy czym istotny wpływ na przebieg linii trendu posiada znacząco większa ilość dni z przekroczeniami w roku 2006 (stanowiącego początek okresu objętego analizą) w porównaniu do większości kolejnych lat.

Poziomy stężenie ozonu troposferycznego na terenie miasta Tarnowa jedynie przekraczały poziom kryterialnego określonego w obowiązujących przepisach prawnych, zatem uznano, że smog letni obecnie nie stanowi istotnego zagrożenia.



**Wczujmy się
w klimat!**

www.44mpa.pl



**Institut Ochrony Środowiska
Państwowy Instytut Badawczy**
ul. Krucza 5/11D
00-548 Warszawa
tel.: 22 375 05 25
faks: 22 375 05 01
e-mail: sekretariat@ios.gov.pl
www.ios.gov.pl



**Institut Meteorologii
i Gospodarki Wodnej
Państwowy Instytut Badawczy**
ul. Podleśna 61
01-673 Warszawa
tel.: 22 569 41 00
faks: 22 834 18 01
e-mail: imgw@imgw.pl
www.imgw.pl



**Institut Ekologii Terenów
Uprzemysłowionych**
ul. Kosutha 6
40-844 Katowice
tel.: 32 254 60 31
faks: 32 254 17 17
e-mail: ietu@ietu.pl
www.ietu.pl



Arcadis Sp. z o.o.
Al. Jerozolimskie 142 B
02-305 Warszawa
tel.: 22 203 20 38
faks: 22 203 20 01
e-mail: mpa@arcadis.com
www.arcadis.com