



Wczujmy się
w klimat!

www.44mpa.pl

Plan Adaptacji Miasta Krakowa 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

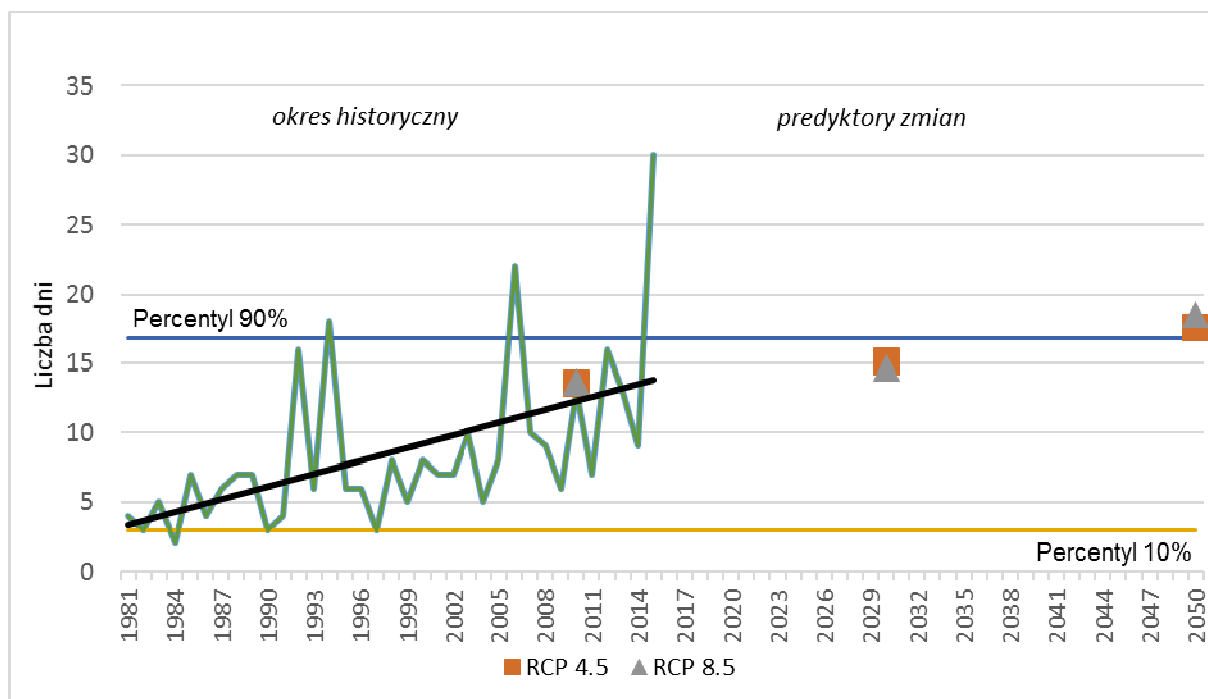
W związku z postępującym ociepleniem klimatu średnia roczna temperatura powietrza wzrasta (Kraków – Balice 8,6°C; Kraków – Obserwatorium 9,1°C). W całym XX w. temperatura roczna wzrosła w Krakowie o 1,5°C (Piotrowicz 2007). Wysoka temperatura powietrza w Krakowie występuje coraz częściej i utrzymuje się przez dłuższy okres czasu. Absolutne maksimum¹ zanotowano w dniu 8 sierpnia 2013 roku na obu stacjach, 37,3°C na stacji synoptycznej, a 38,3°C na stacji klimatologicznej. Najcieplejszym miesiącem był sierpień 1992 roku, kiedy temperatura maksymalna powietrza² wynosiła średnio 29,5°C na stacji synoptycznej i 30,2°C na stacji klimatologicznej oraz lato 1992 roku z sezonową temperaturą maksymalną powietrza średnio odpowiednio: 26,6°C, 27,6°C.

Dla liczby dni z temperaturą maksymalną $\geq 30^{\circ}\text{C}$ w roku prognozuje się wystąpienie trendu wzrostowego, silniejszego w latach 2046-2055 dla RCP8.5. Wyniki wiązki EURO-CORDEX ukazują wzrost średnio od 13,6 dni w dziesięcioleciu 2006-2015 do średnio 14,9 dnia w dziesięcioleciu 2026-2035 i do średnio 17,6 dnia dla scenariusza RCP4.5 i 18,5 dnia dla scenariusza RCP8.5 w dziesięcioleciu 2046-2055 (Rysunek 1). W okresie 1981-2015 również stwierdzono istotny statystycznie ($p=0,00076$) wzrost liczby dni z temperaturą maksymalną powietrza $\geq 30^{\circ}\text{C}$ (dni upalne).

¹ Absolutne maksimum - najwyższa temperatura powietrza zmierzona kiedykolwiek w danym miejscu lub na danym obszarze

² Temperatura maksymalna powietrza – obliczona z wartości dobowych maksymalnych temperatury powietrza

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



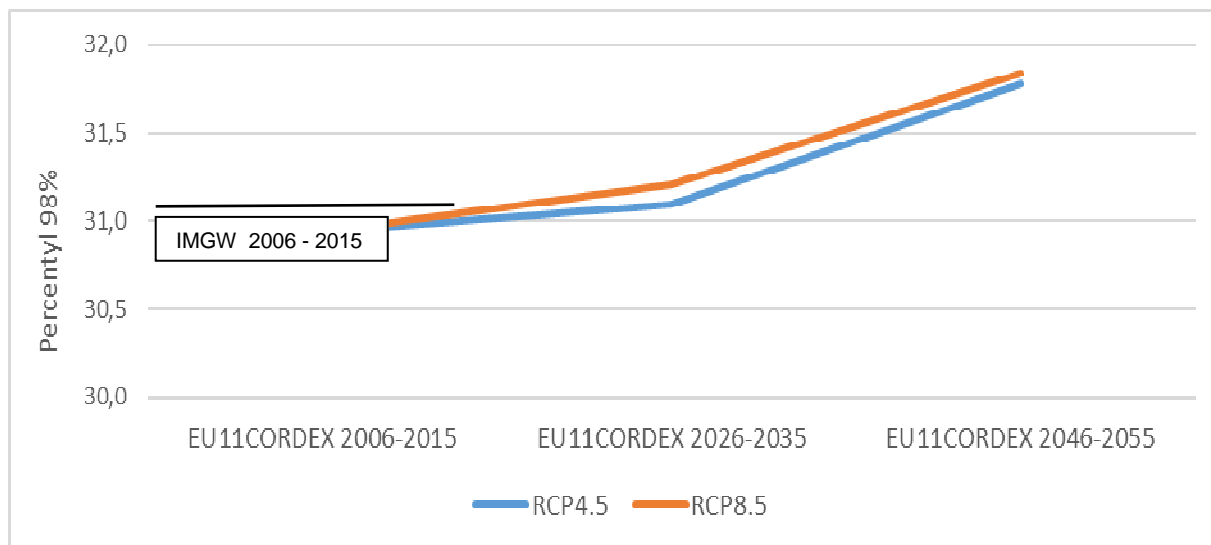
Rysunek 1. Liczba dni z temperaturą maksymalną $\geq 30^{\circ}\text{C}$ w roku

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)

W odniesieniu do percentyla 98%³ 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 $30,9^{\circ}\text{C}$ w dziesięcioleciu 2006-2015 poprzez średnio $31,2^{\circ}\text{C}$ w latach 2026-2035 do średnio $31,8^{\circ}\text{C}$ w okresie 2046-2055 (Rysunek 2). 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.

³ METODA STATYSTYCZNA ZASTOSOWANA DO WYDZIELENIA WARTOŚCI SKRAJNYCH TEMPERATURY MAKSYMALNEJ. PERCENTYL 98% TEMPERATURY MAKSYMALNEJ TO WARTOŚĆ, POWYŻEJ KTÓREJ ZNAJDUJE SIĘ 2% WARTOŚCI TEMPERATURY MAKSYMALNEJ W BADANYM PRZEDZIALE CZASU.

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



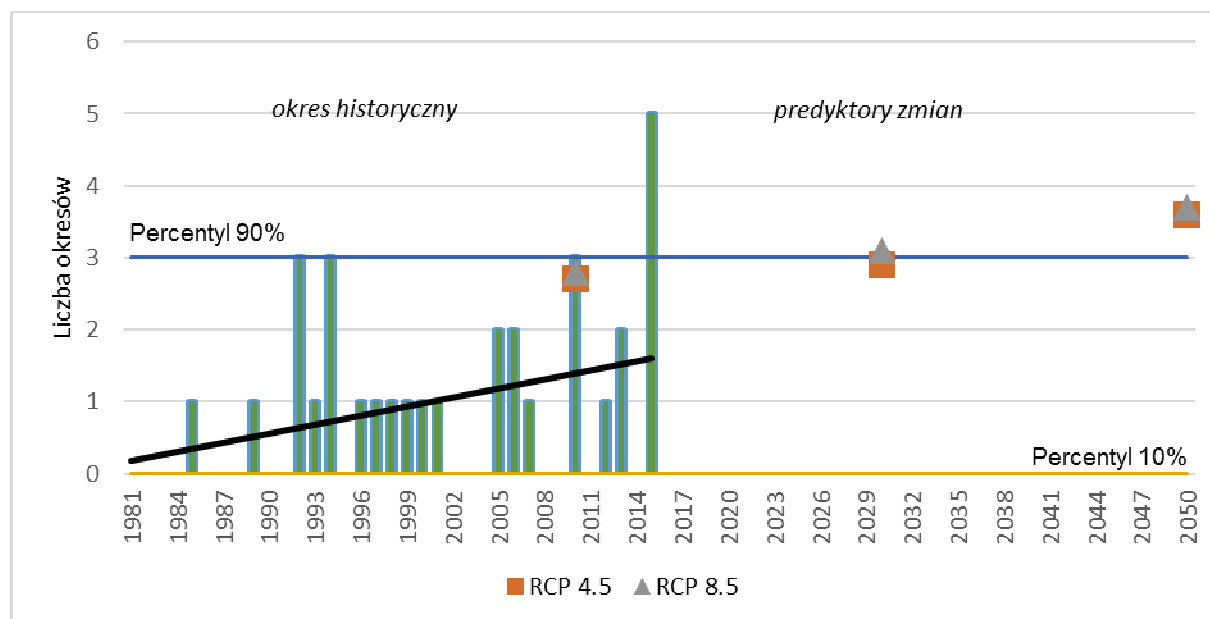
Rysunek 2. Percentyl 98% temperatury maksymalnej dobowej w roku

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

W związku ze wzrostem średniej rocznej temperatury powietrza wzrasta również liczba fal upałów (min. 3 dni $\geq 30^{\circ}\text{C}$). Według raportu IPCC (2015) fale upałów będą częstsze i będą dłużej trwały. Stanowią zagrożenie dla zdrowia i życia ludzi, wpływając też na negatywnie na turystykę, rolnictwo czy gospodarkę. Mogą być poważnym problemem, potęgowanym dodatkowo wskutek procesów urbanizacyjnych.

Wyniki wiązki EURO-CORDEX uzyskane dla obu scenariuszy dla liczby okresów o długości przynajmniej 3 dni z temperaturą maksymalną $\geq 30^{\circ}\text{C}$ w roku prognozują trend wzrostowy i bardzo dużą zgodność obliczeń dla obu scenariuszy. Liczba okresów zwiększa się od 2,8 w dziesięcioleciu 2006-2015, poprzez średnio 3,0 w latach 2026-2035 do średnio 3,7 w latach 2046-2055 (Rysunek 3). W okresie 1981-2015 również stwierdzono istotny statystycznie ($p=0,03$) wzrost liczby fal upałów.

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



Rysunek 3. Liczba okresów o długości przynajmniej 3 dni z temperaturą maksymalną $\geq 30^{\circ}\text{C}$ 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)

3. Chłody

Ujemne temperatury w Krakowie mogą występować od października aż do maja. Minimalna temperatura powietrza może dochodzić do -30°C . Absolutne minimum⁴ zanotowano 13 stycznia 1987 roku $-29,9^{\circ}\text{C}$ na stacji synoptycznej, natomiast 14 stycznia 1987 $-26,1^{\circ}\text{C}$ na stacji klimatologicznej. Najzimniejszym miesiącem był styczeń 1987 roku, kiedy temperatura minimalna powietrza⁵ wynosiła średnio $-14,8^{\circ}\text{C}$ (Kraków–Balice), $-13,3^{\circ}\text{C}$ (Kraków – Obserwatorium) oraz zima 1985 z temperaturą minimalną powietrza średnio $-9,5^{\circ}\text{C}$ (Kraków – Balice) i $-8,1^{\circ}\text{C}$ (Kraków – Obserwatorium).

Zdecydowanie większą zmiennością warunków termicznych charakteryzuje się chłodna połowa roku, niż ciepła. Występowaniu dużych różnic temperatury sprzyjają warunki ze słabym wiatrem lub ciszą atmosferyczną. Największe różnice temperatury powietrza w Krakowie związane są z występowaniem silnej inwersji termicznej. Tworzeniu się takich warunków sprzyja występowanie w Tatrach wiatru halnego⁶.

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 ($p=0,52$).

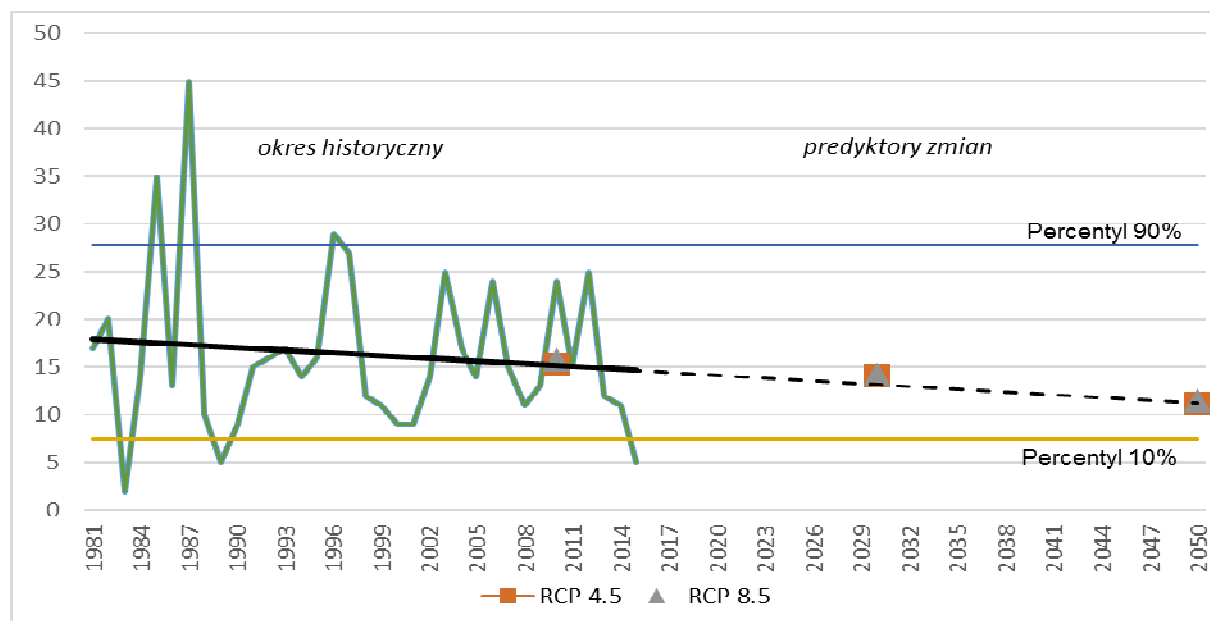
Wartości indeksu liczby dni z temperaturą minimalną $\leq -10^{\circ}\text{C}$ w roku obliczone na podstawie wyników wiązki EURO-CORDEX maleją przeciętnie od 15,6 dni w okresie 2006-2015 poprzez średnio 14,2 dni w latach 2026-2035 do średnio 11,3 dni w dziesięcioleciu 2046-2055 (Rysunek 4). Wartości uzyskane na podstawie EURO-CORDEX dla klimatu bieżącego oraz obserwacji różnią się nieznacznie. Prognozowana liczba dni z temperaturą minimalną równą lub poniżej -10°C ulegnie zmniejszeniu.

⁴ Absolutne minimum - najniższa temperatura powietrza zmierzona kiedykolwiek w danym miejscu lub na danym obszarze

⁵ Temperatura minimalna powietrza - obliczona z wartości dobowych minimalnych temperatury powietrza

⁶ Bokwa A., *Wieloletnie zmiany struktury mezoklimatu miasta na przykładzie Krakowa*, 2010, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ, Kraków, 258.

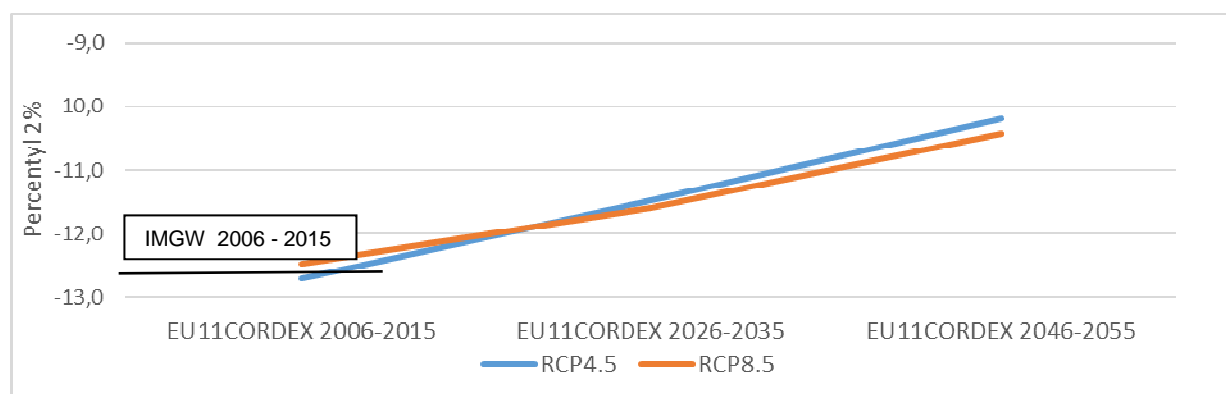
OPRACOWANIE PLANÓW ADAPTACJI DO ZMIAN KLIMATU W MIASTACH POWYŻEJ 100 TYS. MIESZKAŃCÓW



Rysunek 4 Liczba dni z temperaturą minimalną ≤ -10°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)

Wartości wskaźnika dla percentyla 2%⁷ temperatury minimalnej dobowej w roku na podstawie wiązki EURO-CORDEX wskazują na istnienie trendu wzrostowego temperatury minimalnej oraz wysoką zgodność uzyskanych wyników dla obu scenariuszy. Percentyl 2% temperatury minimalnej dobowej wzrasta od średnio -12,6°C w dziesięcioleciu 2006-2015 poprzez średnio -11,6°C w latach 2026-2035 i do średnio -10,3°C w okresie 2046-2055 (Rysunek 5). Wartości wskaźnika obliczone dla klimatu bieżącego są zbliżone do obserwowanych. Prognozowany jest wzrost wartości temperatury minimalnej okresu zimowego.



Rysunek 5 Percentyl 2% temperatury minimalnej dobowej w roku

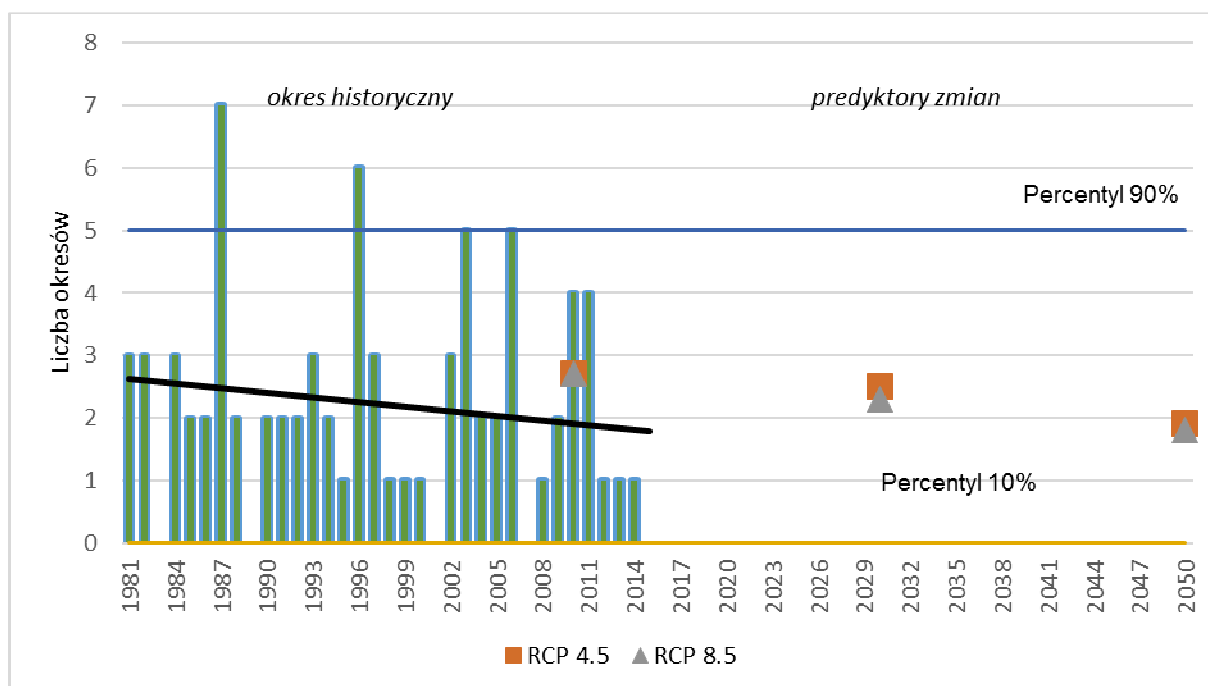
Dla scenariusza umiarkowanej (RCP4.5 – niebieska linia) i wysokiej emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5 – pomarańczowa linia)

⁷ 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

Według IPCC (2015) z roku na rok maleje liczba fal chłodu, jednak występują dalej, a temperatura powietrza w nich osiąga nawet do -20°C . W przypadku liczby okresów o długości przynajmniej 3 dni z temperaturą minimalną $\leq -10^{\circ}\text{C}$ 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 2,7 okresu w dziesięcioleciu 2006-2015, poprzez średnio 2,4 okresu w latach 2026-2035 do średnio 1,9 okresu w latach 2046-2055 (Rysunek 6). W wieloletnim okresie 1981-2015 stwierdzono trend malejący, który jest jednak nieistotny statystycznie ($p=0,40$).

Na podstawie scenariuszy klimatycznych prognozowany jest nieznaczny spadek liczby fal chłodu wyrażonych jako okresy o długości przynajmniej 3 dni z temperaturą minimalną $\leq -10^{\circ}\text{C}$.



Rysunek 6 Liczba okresów o długości przynajmniej 3 dni z temperaturą minimalną $\leq -10^{\circ}\text{C}$ 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)

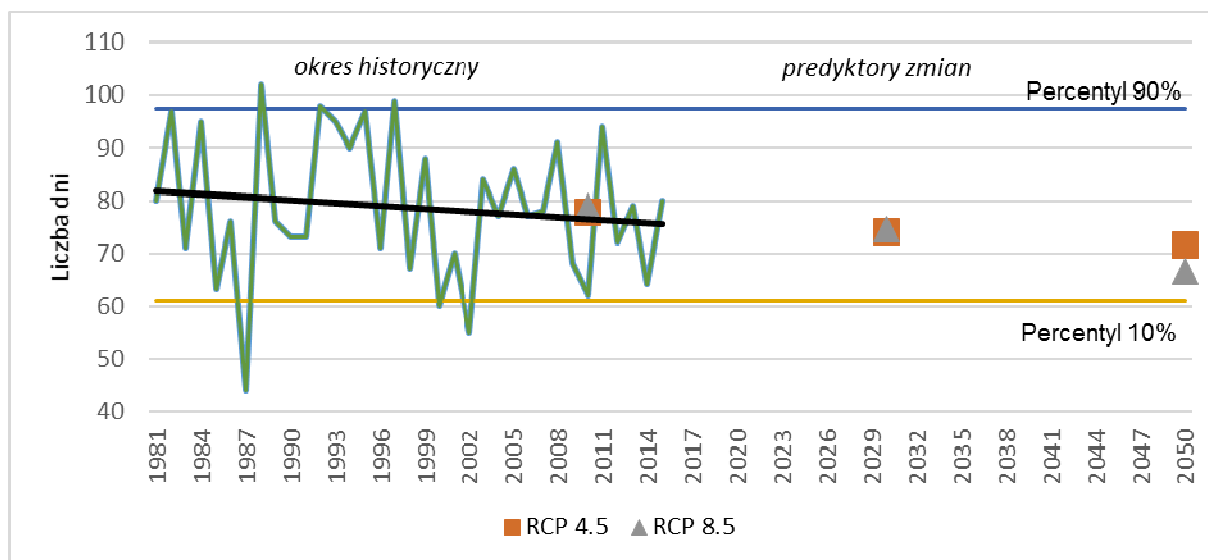
4. Średnie warunki termiczne

Przejście temperatury przez 0°C

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

Wartości 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).

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

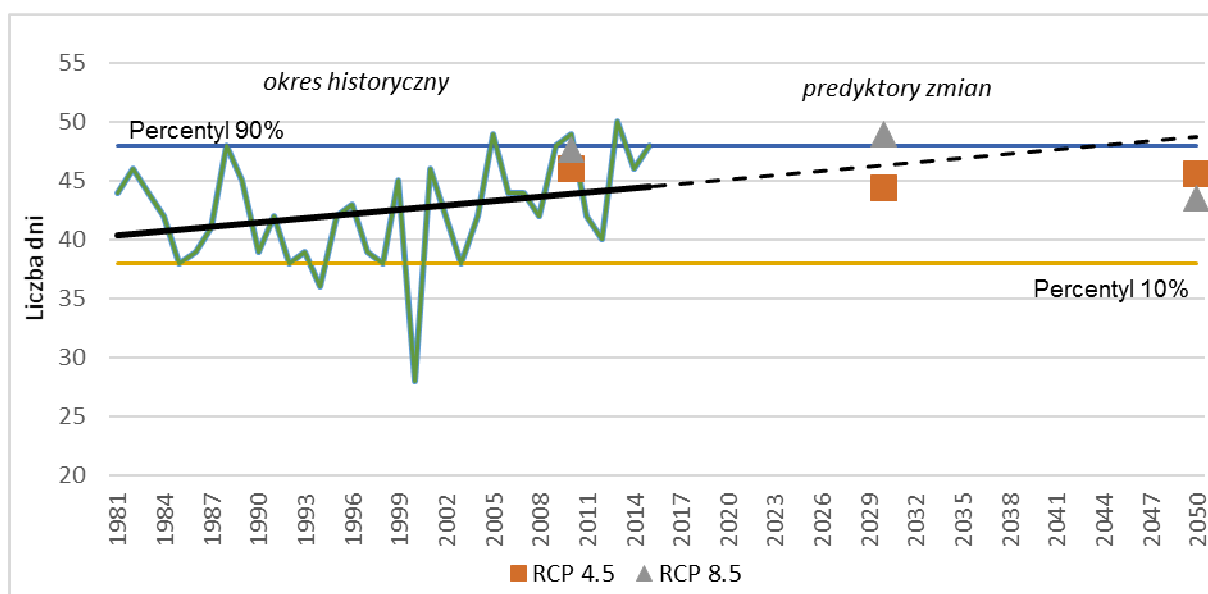


Rysunek 7 Liczba dni z przejściem temperatury powietrza przez 0°C w roku

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)

Liczba dni z T_{sr} -5 do 2,5 i opadem

Występowanie liczby dni z T_{sr} -5 do 2,5 i opadem atmosferycznym może przyczyniać się do powstania gołoledzi. Liczba dni z opadem atmosferycznym przy temperaturze powietrza od -5°C do 2,5°C liczba dni zmienia się od średnio 46,8 dnia w okresie 2006-2015 poprzez średnio 46,7 dnia w dziesięcioleciu 2026-2035 do średnio 44,6 dnia w latach 2046-2055 (Rysunek 8). Do 2050 nie prognozuje się spadku ani wzrostu liczby dni z temperaturą powietrza od -5°C do 2,5°C i opadem atmosferycznym.



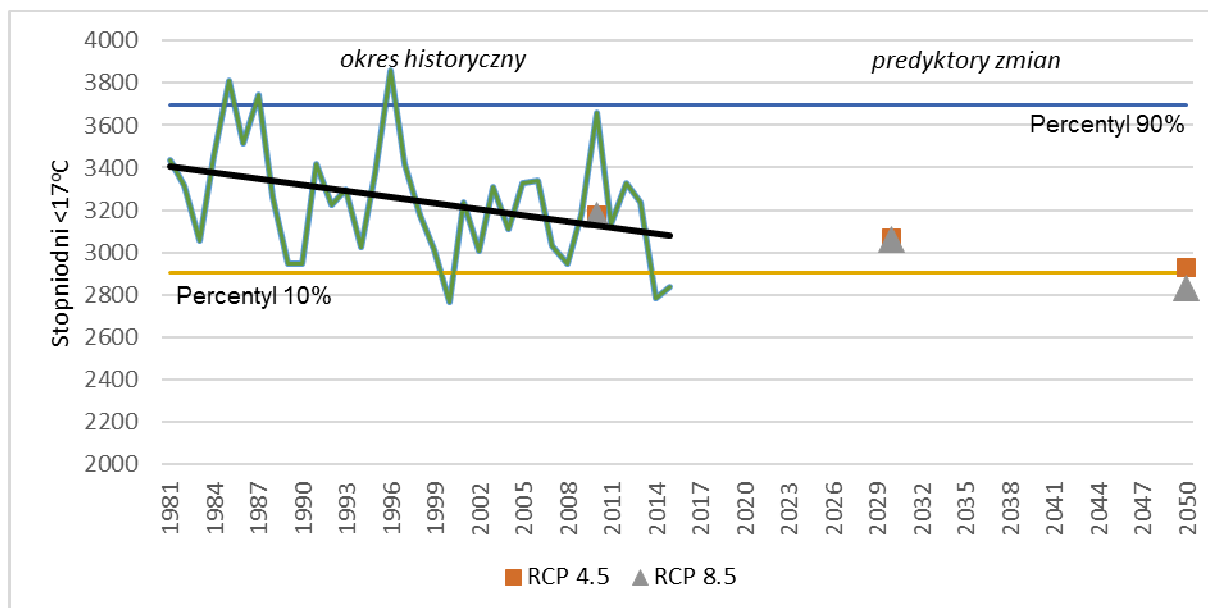
Rysunek 8 Liczba dni z opadem atmosferycznym przy temperaturze powietrza od -5 do 2,5°C

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)

Stopniodni dla temperatury średniodobowej <17°C

Miarą, która wiąże się z interpretacją występowania okresów chłódów (wymagających ogrzewania) są to tzw. dni grzewcze opisywane wskaźnikiem stopniodni<17⁸ obliczonym jako roczna suma różnic pomiędzy 17°C, a temperaturami średnimi dobowymi niższymi od 17°C oraz liczba dni z temperaturą poniżej 15°C⁹. Przyjęcie temperatury poniżej 15°C lepiej opisuje zapotrzebowanie na energię na ogrzewanie. Eliminuje bowiem z liczby stopniodni wartości obliczone dla dni pierwszych (wrzesień) i ostatnich (czerwiec) miesięcy sezonu grzewczego oraz miesięcy poza sezonem grzewczym, w którym nie ogrzewa się mieszkań. Wskaźniki te odzwierciedlają również pośrednio potencjalne powiązanie ze wskaźnikami jakości powietrza związanymi ze wzrostem emisji pierwotnej pyłu zimą (emisja ze spalania paliw stałych do celów grzewczych) oraz wtórnej ozonu (temperatura sprzyjająca powstawaniu ozonu) – patrz rozdział związany z koncentracją zanieczyszczeń powietrza. Warto zaznaczyć, że w przypadku dni upalnych, efektem ubocznym ich występowania może być intensyfikacja Miejskiej Wyspy Ciepła ze względu np. na emisje ciepła z klimatyzatorów w obszarach biurowych przy słabym przewietrzaniu miasta.

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 3 178,2 w okresie 2006-2015 poprzez średnio 3 067,2 w dziesięcioleciu 2026-2035 do średnio 2 880,9 w okresie 2046-2055 (Rysunek 9). W okresie 1981-2015 nastąpił istotny statystycznie ($p=0,04$) spadek wartości wskaźnika stopniodni <17°C. Prognozowane jest znaczące zmniejszenie się wartości indeksu stopniodni dla temperatury średniodobowej <17°C.



Rysunek 9. 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)

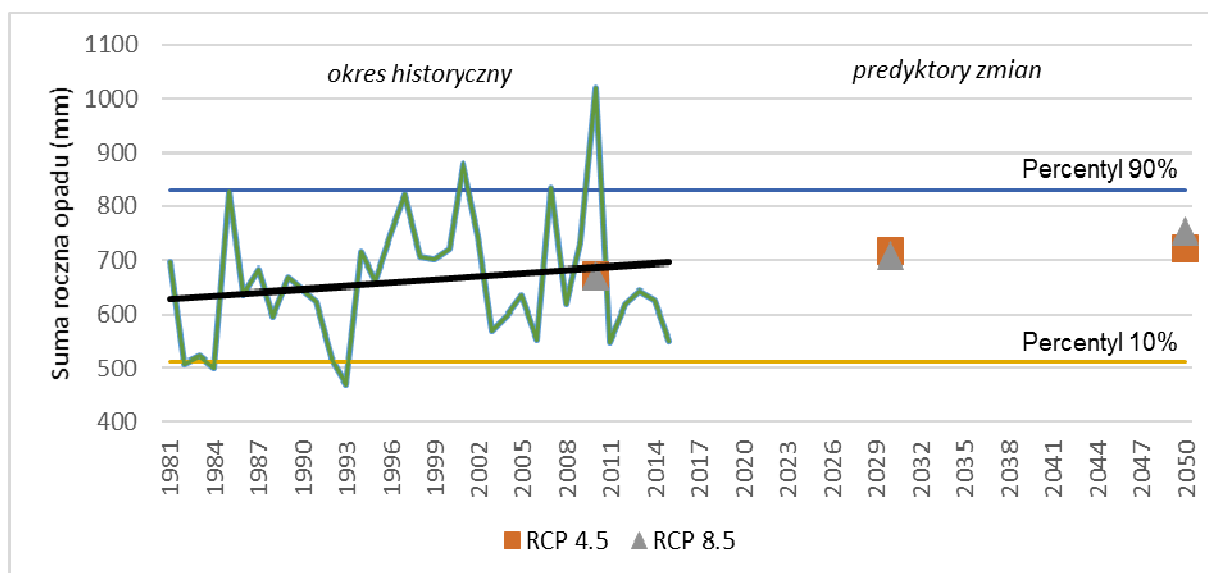
⁸ Przyjmowane są następujące wskaźniki: Polska <17; Wielka Brytania <18,5; Dania, Szwecja <17; Grecja <14; Portugalia 12 -18 (Dopke 2008)

⁹ Dopke J., 2008, Obliczanie miesięcznej liczby stopniodni grzania

5. Dni z opadem

Suma roczna opadu

Położenie Krakowa oraz cyrkulacja atmosfery sprawiają, że występują tutaj korzystne warunki opadowe. Przejawia się to wyższymi sumami opadów w mieście. W Krakowie występują obfite opady kilkudniowe, charakterystyczne dla Karpat i ich przedpola, związane z spiętrzaniem się wilgotnych mas powietrza napływających z sektora północnego, które są najczęściej przyczyną powodzi w dorzeczu górnej Wisły. Południowa i zachodnia część miasta otrzymuje znacznie więcej opadów niż część północna i wschodnia pozostająca w cieniu opadowym¹⁰. Wyniki wiązki EURO-CORDEX dla sumy rocznej opadu wskazują na istnienie trendu wzrostowego, szczególnie widocznego w dziesięcioleciu 2046-2055 dla scenariusza RCP8.5. Suma roczna opadu atmosferycznego zmienia się od średnio 670,2 mm w dziesięcioleciu 2006-2015 poprzez średnio 713 mm w latach 2026-2035 do średnio 737,5 mm w okresie 2046-2055 (Rysunek 10). W okresie 1981-2015 stwierdzono wzrost rocznej sumy opadu atmosferycznego, ale nie jest to wzrost istotny statystycznie ($p=0,32$).



Rysunek 10. 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

W ostatnich latach obserwuje się wzrost zagrożeń wywołanych ekstremalnymi zjawiskami meteorologicznymi, takimi jak intensywne kilkudniowe opady deszczu o charakterze rozlewnym oraz krótkotrwałe deszcze ulewne i nawałne powodujące wezbrania i powodzie lokalne.

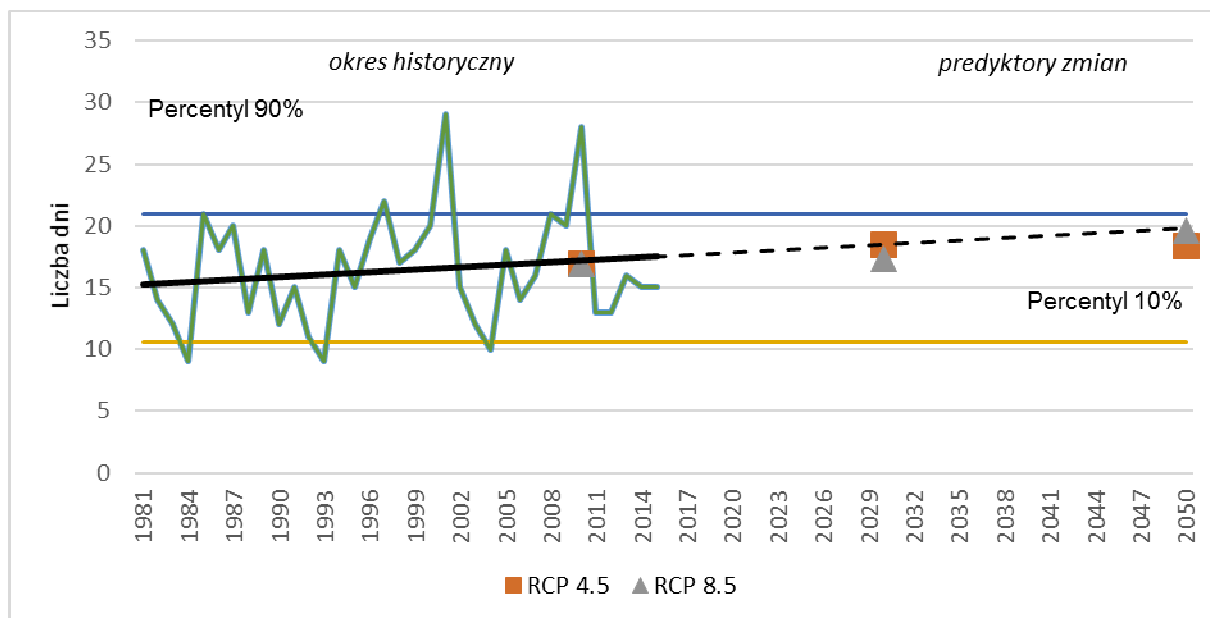
Zagrożenia związane z opadem ekstremalnym w Krakowie zostały opisane następującymi wskaźnikami:

¹⁰ Olechnowicz-Bobrowska B., Skowera B., Wojkowski J., Ziernicka-Wojtaszek A., 2005, *Warunki opadowe na stacji agrometeorologicznej w Garlicy Murowanej*, Acta Agrophysica, 6 (2): 455-463.

Bokwa A., *Wieloletnie zmiany struktury mezoklimatu miasta na przykładzie Krakowa*, 2010, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ, Kraków, 258.

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

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 16,9 dni w dziesięcioleciu 2006-2015 poprzez średnio 17,9 dni w okresie 2026-2035 do średnio 19 dni w latach 2045-2055 (Rysunek 11). W okresie 1981-2015 wystąpił nieistotny statystycznie ($p=0,41$) wzrost liczby dni z opadem >10 mm/d w roku.

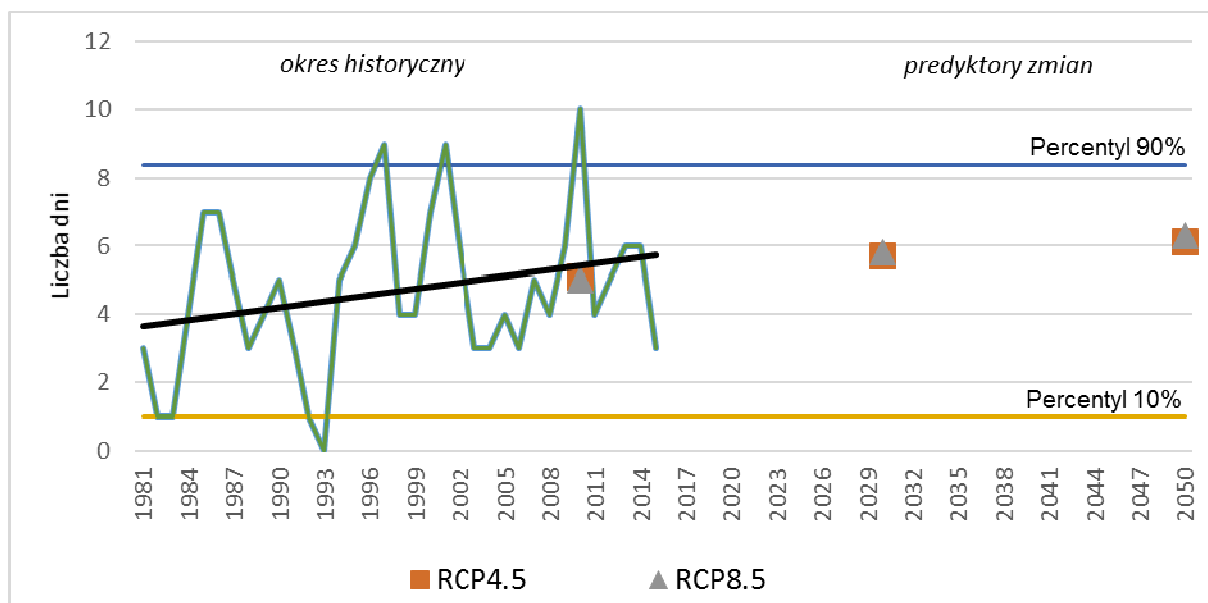


Rysunek 11. Liczba dni z opadem atmosferycznym >10 mm/d

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)

W okresie 1981-2015 nastąpił wzrost liczby dni z opadem >20 mm/d w roku, jest on jednak nieistotny statystycznie ($p=0,12$). Wyniki EURO-CORDEX wykazują trend wzrostowy, gdzie wartości wskaźnika zmieniają się od średnio 5,1 dni w dziesięcioleciu 2006-2015 poprzez średnio 5,8 dnia w okresie 2026-2035 do średnio 6,2 dnia w latach 2046-2055 (Rysunek 12) i są zbliżone do tych obliczonych na podstawie obserwacji.

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

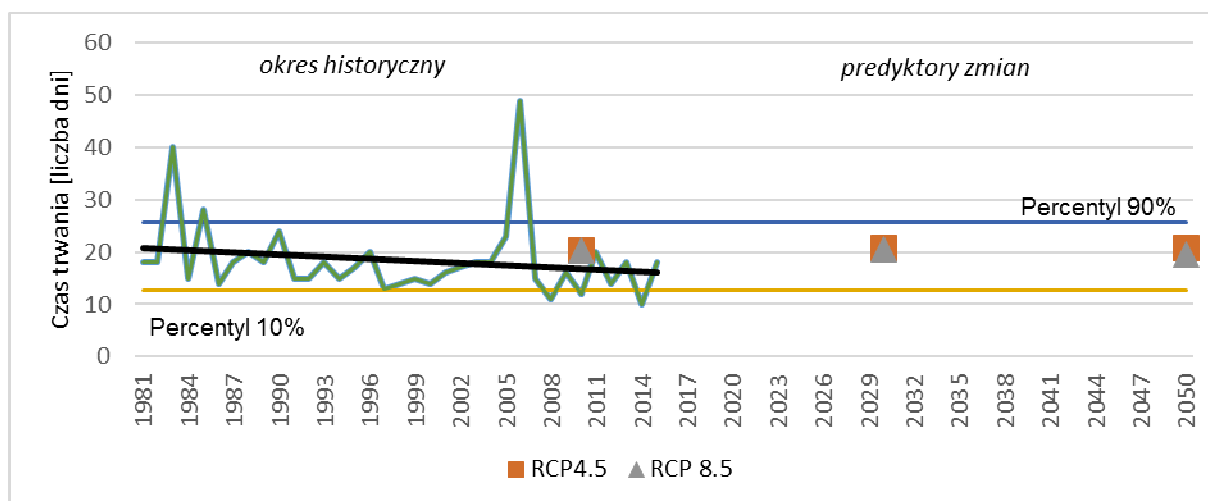


Rysunek 12. Liczba dni z opadem atmosferycznym >20 mm/d

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)

6. Dni bezopadowe

Występowanie dni bezopadowych może wiązać się z ryzykiem wystąpienia suszy w mieście. W przypadku najdłuższego okresu bez opadu w roku różnice są nieznaczne i wskazują na trend stały. Najdłuższy okres bez opadu zmienia się średnio od 20,3 dni w dziesięcioleciu 2006-2015 poprzez średnio 20,6 dnia w latach 2026-2035 do średnio 20,2 dnia w dziesięcioleciu 2046-2055 (Rysunek 13). W okresie 1981-2015 trend nie występuje. Tendencja tego wskaźnika nie jest istotna statystycznie ($p=0,45$). Prognozowana długość najdłuższego okresu bezopadowego nie wykazuje znaczących zmian w horyzoncie do roku 2050.

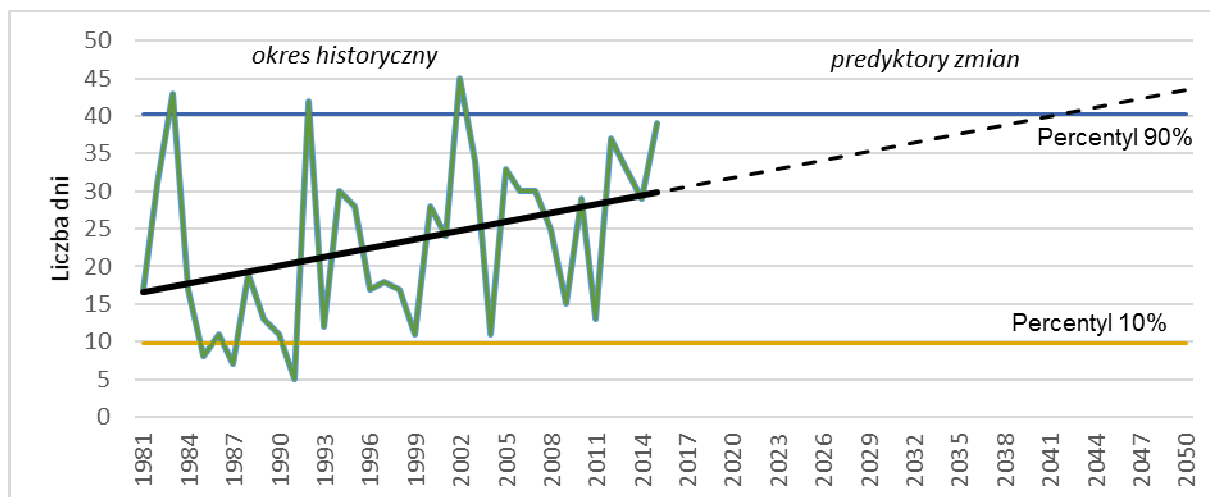


Rysunek 13 Najdłuższy okres bez opadu

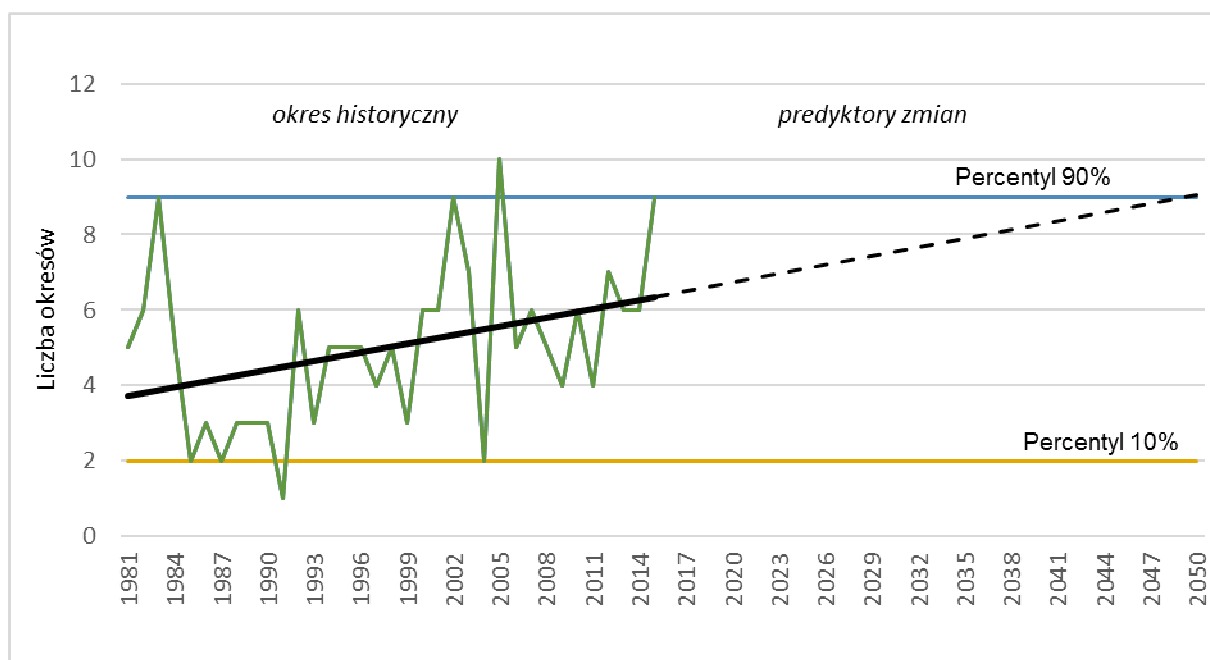
W okresie historycznym (zielona linia) oraz w okresie prognozowanym do 2050 roku dla scenariusza umiarkowanej (RCP4.5 - pomarańczowy kwadrat) i wysokiej emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5 - szary trójkąt)

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

Oprócz długotrwałych okresów bezopadowych przedstawionych na Rycinie 13 przeprowadzono ponadto analizę sytuacji występowania dni bez opadu wraz z temperaturą maksymalną $>25^{\circ}\text{C}$ (także pojedynczych) z całego danego roku, a nie tylko w długotrwałych okresach. Najwięcej takich dni wystąpiło w roku 2002 (45 dni - Rysunek 14). Dane historyczne wykazują wyraźny, istotny statystycznie ($p=0,04$) trend rosnący dla liczby dni bez opadu z wysoką temperaturą powietrza $>25^{\circ}\text{C}$.



Rysunek 14 Liczba dni bez opadu z wysoką temperaturą powietrza $>25^{\circ}\text{C}$ (suma dla danego roku) W okresie historycznym (zielona linia)



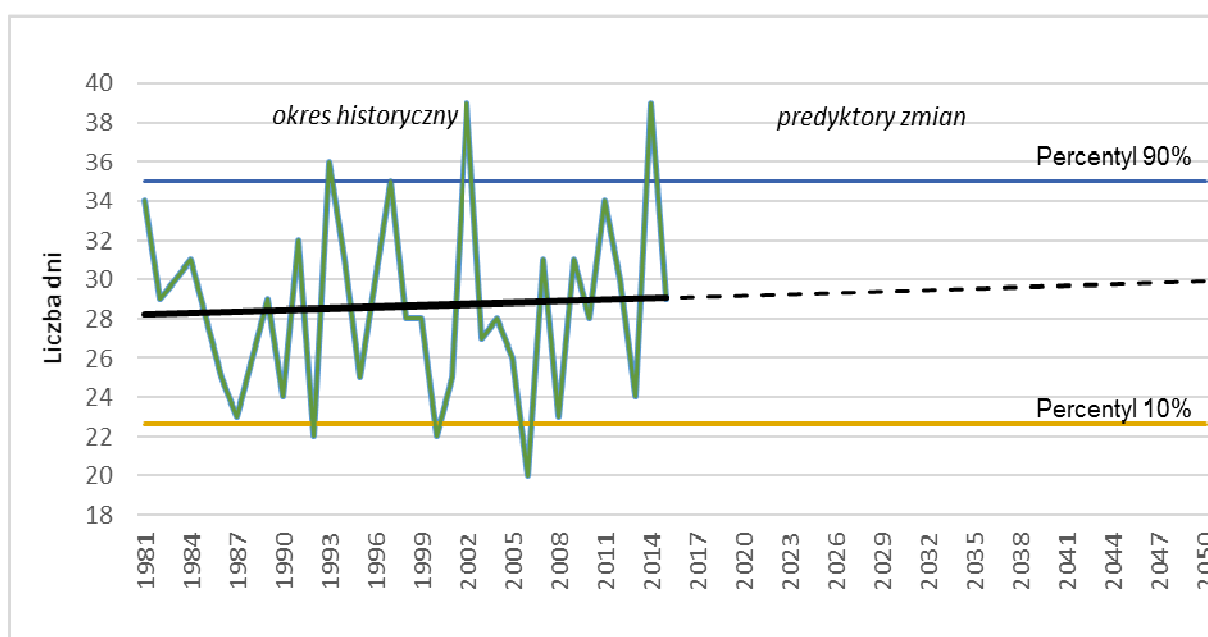
Rysunek 15. Liczba okresów (min. 3 dni) bez opadu z wysoką temperaturą powietrza $>25^{\circ}\text{C}$

Najwięcej takich okresów wystąpiło w 2005 roku (10) (Rysunek 15). Dane historyczne wykazują wyraźny, istotny statystycznie ($p=0,03$) trend rosnący liczby okresów (min. 3 dni) bezopadowych z wysoką temperaturą powietrza $>25^{\circ}\text{C}$ (Rysunek 15).

7. Burze

Silne burze, często połączone z porywistym wiatrem i intensywnymi opadami mogą powodować znaczne straty i zagrożenia w postaci pożarów, uszkodzonych drzew, budynków, duże utrudnienia komunikacyjne, uszkodzenia urządzeń elektrycznych i obiektów energetycznych, itp.

W latach 1981-2015 średnia roczna liczba dni z burzą w Krakowie wynosiła 29. Najbardziej burzowe były lata 2002 i 2014 – 39 dni z burzą, najmniej przypadków wystąpienia tego zjawiska (20) zanotowano w roku 2006. Burze mogą występować przez cały rok, jednak od grudnia do marca zjawisko jest incydentalne, a maksimum przypada od czerwca do września. Analizy historyczne (1981-2015) nie wykazały istotnych zmian statystycznych w częstotliwości występowania burz w Krakowie ($p=0,92$). Zjawisku burzy często towarzyszy opad gradu, jednak zalicza się on do zjawisk lokalnych, bardzo trudnych do prognozowania (**Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.**).



Rysunek 16 Liczba dni z burzą

W okresie historycznym (zielona linia) oraz w okresie prognozowanym do 2050 roku

8. 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, układu hydrograficznego, wydajności systemów kanalizacyjnych itp.).

W latach 1971-2010 na obszarze miasta i jego okolic odnotowano 26 przypadków wystąpienia opadów nawalnych (Tabela 1) (należy tutaj zwrócić uwagę, że w bazie danych w niektórych

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

przypadkach podano dobowe sumy opadów, gdy nie udało się ustalić konkretnego czasu trwania opadu oraz opady o wysokości mniejszej niż 20 mm, jeżeli wiadomo, że spowodowały wystąpienie FF¹¹), z których 9 spowodowało wystąpienia powodzi miejskiej na terenie Krakowa (wyróżnione).

Tabela 1. Nawalne opady zanotowane na posterunkach opadowych w rejonie Krakowa (1971-2010) (Rysunek17)

L.p.	Data opadu	Wysokość opadu [mm]	Czas trwania opadu [min]	Stacja opadowa
1	17.05.1985	69,0	60	Kraków-Bielany-Klasztor
2	08.08.1985	54,6	doła	Kraków-Łęg
3	14.06.1986	65,5	300	Kraków-Bielany-Klasztor
4	18.06.1986	70,9	115	Kraków-Łęg
5	14.06.1987	65,5	doła	Kraków-Balice
6	24.06.1989	79,0	doła	Kraków-Observatorium
7	22.05.1992	28,3	60	Kraków-Bielany-Klasztor
8	21.06.1992	17,5	12	Kraków-Bielany-Klasztor
9	17.07.1994	27,9	60	Kraków-Bielany-Klasztor
10	29.08.1996	47,1	doła	Kraków-Observatorium
11	05.07.1997	58,0	doła	Kraków-Balice
12	21.06.1999	54,2	doła	Kraków-Balice
13	22.08.2001	53,3	doła	Kraków-Balice
14	14.07.2002	63,1	doła	Kraków-Balice
15	31.07.2002	13,0	doła	Kraków-Observatorium
16	06.09.2007	65,1	doła	Kraków-Observatorium
17	07.09.2007	53,5	doła	Kraków-Observatorium
18	23.06.2008	13,0	30	Kraków-Balice
19	10.06.2009	8,6	doła	Kraków-Observatorium
20	23.08.2009	32,3	doła	Kraków-Balice
21	12.05.2010	17,3	doła	Kraków-Balice
22	16.05.2010	53,5	doła	Kraków-Balice
23	17.05.2010	50,9	doła	Kraków-Observatorium
24	18.07.2010	60,1	doła	Kraków-Observatorium
25	27.07.2010	65,2	doła	Kraków-Observatorium
26	06.08.2010	8,2	60	Kraków-Balice

Zanotowane powodzie FF powodowały podtopienia dróg i ulic, uszkodzenia dachów czy trakcji tramwajowej oraz straty w rolnictwie (zamulenie pól, zniszczenie upraw). W 2002 roku uszkodzona została część Sukiennic, a w 2010 roku załża tunel szybkiego tramwaju.

¹¹ Flash flood (ang.) – powódź błyskawiczna

Również w kolejnych latach miały miejsce zdarzenia tego typu. W 2011 roku powódzie miejskie wystąpiły w Krakowie 20 maja, 1 czerwca oraz 19 lipca. 3 sierpnia 2012 roku na stacji Kraków – Wola Justowska zanotowano w ciągu 120 minut opad wysokości 13,8 mm, co doprowadziło do zalania ulic i podtopienia piwnic. Gwałtowna burza (19,5 mm w 60 min), która przeszła 10 czerwca 2013 roku nad południową część miasta, poza powodzią miejską spowodowała również wystąpienie z brzegów Drwinki. 24 czerwca tego samego roku podobna ulewa (31,5 mm w 180 minut) dotknęła Prądnik Czerwony oraz centrum miasta. Dnia 16.08.2015 r. w Krakowie wystąpił deszcz nawalny - stacja synoptyczna I rzędu Kraków-Balice zarejestrowała wtedy dobową sumę opadów 38,7 mm, stacja klimatologiczna III rzędu Kraków-Observatorium odnotowała 74,4 mm, natomiast na stacji klimatologicznej IV rzędu Kraków-Wola Justowska suma opadów wyniosła 44,2 mm, z czego największą część stanowił opad, który wystąpił pomiędzy godziną 13:40, a 14:10 i wyniósł on 31,2 mm w ciągu 30 min. Straż pożarna otrzymała w tym dniu ok. 350 zgłoszeń. Zalane zostały m.in. tereny Tauron Arena Kraków, Opery Krakowskiej czy pogotowia ratunkowego przy ul. św. Łazarza, a także część os. Kabel, ulice: Kamieńskiego, Lea, Leszczynowa, Grodzka, Lipska, al. Pokoju, a także rondo Mogiłskie.

Zagrożenie wprost wynikające z występowania intensywnych opadów deszczu jest dodatkowo potęgowane przez lokalną specyfikę obszaru miejskiego, przede wszystkim wysoki stopień zagospodarowania i uszczelnienia powierzchni oraz niewydolny system kanalizacyjny, opierający się głównie na sieci ogólnospławnej. Część głównych kolektorów ściekowych posiada nieprawidłowy profil dna, w tym przeciwnadciśnieniowy, co na określonych odcinkach prowadzi do występowania przepływów ciśnieniowych. Większość z nich posiada ponadto zbyt małą retencję kanałową, co powoduje ich szybkie przepełnianie i zjawisko cofki do kanałów bocznych, a w dalszej kolejności wylewania ścieków opadowych na ulice miasta^[12].

Na podstawie powyższego należy ocenić, że zagrożenie powodziami nagłymi/miejskimi na obszarze miasta Krakowa jest wysokie. Silne opady mogące powodować powódzie występują tu regularnie, a w przeszłości nierzadko przynosiły w efekcie lokalne powódzie i podtopienia, powodując straty materialne oraz utrudnienia w funkcjonowaniu miasta. Newralgiczne obszary miasta stanowią:

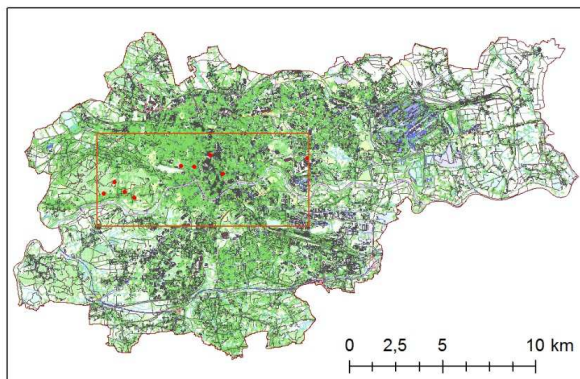
- Czyżyny (okolice Tauron Areny oraz obiektu Selgros),
- Wola Justowska (wzdłuż ul. Królowej Jadwigi, szczególnie przy skrzyżowaniu z ul. Modrzewiową),
- Prądnik Czerwony (ul. Dobrego Pasterza, ul. Jakuba Majora),
- Grębałów (ul. Karola Darwina),
- Bronowice (ul. Bronowicka w rejonie skrzyżowania z ul. Błażeja Czepca),
- Bielany (ul. Księcia Józefa),
- Podgórze i Bieżanów-Prokocim (ul. Nowosądecka, ul. Malborska, ul. Biskupińska, ul. Bieżanowska i ul. Barbary, ul. Jerzmanowskiego)
- Prądnik Biały (ul. Siewna).

Nie tylko ze względu na postępujące zmiany klimatu, lecz także zmiany zagospodarowania przestrzennego Krakowa (wzrost udziału terenów nieprzepuszczalnych) w przyszłości takie problemy mogą dotyczyć także obszarów Płaszów-Rybitwy, Dąbie, Stary Bieżanów, Wola Duchacka, czy rejonu Kombinat Metalurgicznego^[13].

¹² Koncepcja odwodnienia i poprawy bezpieczeństwa powodziowego miasta Krakowa (MGPP S.A., 2011).

¹³ Opracowanie koncepcji ograniczenia zagrożeń wynikających z braku możliwości efektywnego odprowadzania wód opadowych systemem kanalizacyjnym w Krakowie (PK WIŚ, 2015).

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



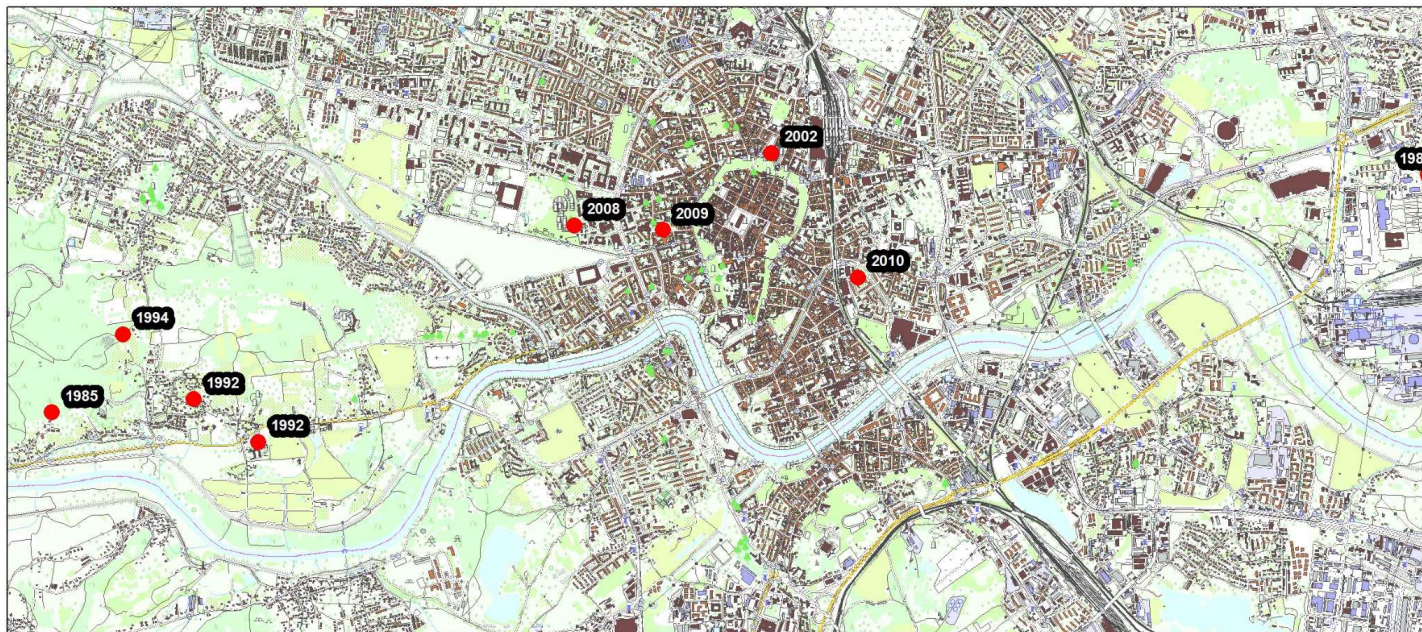
Źródło:

Projekt: KLIMAT,
"Wpływ zmian klimatu na środowisko, gospodarkę i społeczeństwo"
Zadanie nr 4: "Klęski żywiołowe a bezpieczeństwo wewnętrzne kraju"
Podzadanie nr 4.7:
"Opracowanie narzędzi wspomagających system ostrzegania
o nagłych powodziach typu Flash Flood"



Objaśnienia

- nagłe powodie Flash Flood w latach 1971-2010 (wg IMGW)
- granice administracyjne miasta Krakowa



Rysunek 17. Nagłe powodie typu FF na obszarze Krakowa w latach 1971-2010 (Projekt KLIMAT, IMGW-PL)

Powodzie od strony rzek

W ramach WORP (wstępna ocena ryzyka powodziowego) na obszarze Krakowa zidentyfikowano wystąpienie licznych powodzi historycznych, jednak zasięgi obszarów narażonych na niebezpieczeństwo powodzi (ONNP będących wynikiem WORP) wyznaczono głównie na podstawie opracowań, w których wyróżniono obszary, na których wystąpienie powodzi jest prawdopodobne. Na terenie miasta ONNP obejmują rozległe obszary wzdłuż Wisły i Rudawy na całych odcinkach tych rzek w granicach miasta, a także na ujściowych odcinkach Dłubni, Białuchy i Wilgi.

W związku z powyższym dla przedmiotowego obszaru opracowano również mapy zagrożenia powodziowego (MZP) i mapy ryzyka powodziowego (MRP), według których zagrożenie powodziowe w mieście jest znaczne. Woda o prawdopodobieństwie wystąpienia $p=1\%$ (tzw. woda stuletnia) generalnie mieści się w obwałowaniach, jednakże obwałowania Wisły w Krakowie jako budowle I klasy powinny charakteryzować się parametrami dla wody miarodajnej $p=0,5\%$ (dwustuletnia) oraz kontrolnej $p=0,1\%$ (tysiącletnia). Wyjątkiem jest odcinek w Śródmieściu, od Zwierzyńca do Zabłocia, gdzie miejscami wały są przelewane również wodami stuletnimi (miejscami podnoszone systemem tzw. rozbieralnych ścianek przeciwpowodziowych DPS-2000^[14]). Ostatnia powódź z 2010 roku pokazała, że obecny system zabezpieczenia przeciwpowodziowego Krakowa z trudem wytrzymuje wezbrania 100-letnie, a ewentualne pojawienie się większej powodzi byłoby dla miasta katastrofalne w skutkach (Rysunek 18).

Kolejnym, po MZP i MRP, opracowaniem uszczegóławiającym poziom zagrożenia i ryzyka powodziowego na terenie miasta jest Plan zarządzania ryzykiem powodziowym dla Regionu Wodnego Górnej Wisły (PZRP). Zgodnie z przeprowadzonymi tam analizami Kraków zakwalifikowany został do gmin o największym stopniu ryzyka powodziowego, w którym awaria wałów przeciwpowodziowych grozi zalaniem $\frac{1}{4}$ obszaru miasta, w tym szeregu obiektów cennych kulturowo, a także niebezpiecznych dla środowiska, mogących wywołać skażenia, epidemie czy katastrofy budowlane. Ponadto stwierdza się złożony mechanizm powstawania fali powodziowej na Wiśle w obrębie Krakowa, w czym istotną rolę odgrywa sytuacja synoptyczna przed i w trakcie wezbrania, w tym kierunek przemieszczania się opadu, oraz kolejność przyjmowania przez Wisłę fal wezbraniowych z poszczególnych jej dopływów. Dodatkowym zagrożeniem są opady nawalne, które w warunkach postępującej urbanizacji przyczyniają się do coraz częstszych podtopień^[15].

Opisane wyżej analizy potwierdzają liczne inne opracowania z zakresu ochrony przeciwpowodziowej, przygotowane wcześniej dla obszaru miasta Krakowa. Główne, powtarzające się wnioski płynące z tych dokumentów, które charakteryzują obecny, niewystarczający stopień przygotowania miasta na powódź, a także wyznaczają kierunki koniecznych działań, to:

- Niewystarczający i niemożliwy do znacznego rozbudowania (choć wymagający modernizacji i poprawy stanu technicznego) system biernej ochrony przeciwpowodziowej (wały),
- Konieczność zwiększenia sterowanej pojemności retencyjnej, polderowej i zbiornikowej, w bezpośredniej zlewni Wisły oraz jej dopływów powyżej Krakowa,
- Poprawa i utrzymanie dobrego stanu technicznego koryt cieków, obiektów przeciwpowodziowych oraz innych obiektów infrastrukturalnych związanych z Wisłą i jej dopływami.

Podsumowując powyższe analizy, zagrożenie i ryzyko powodziowe od strony rzek występujące na obszarze miasta Krakowa należy ocenić jako wysokie. Główne uwarunkowania powodujące taki stan

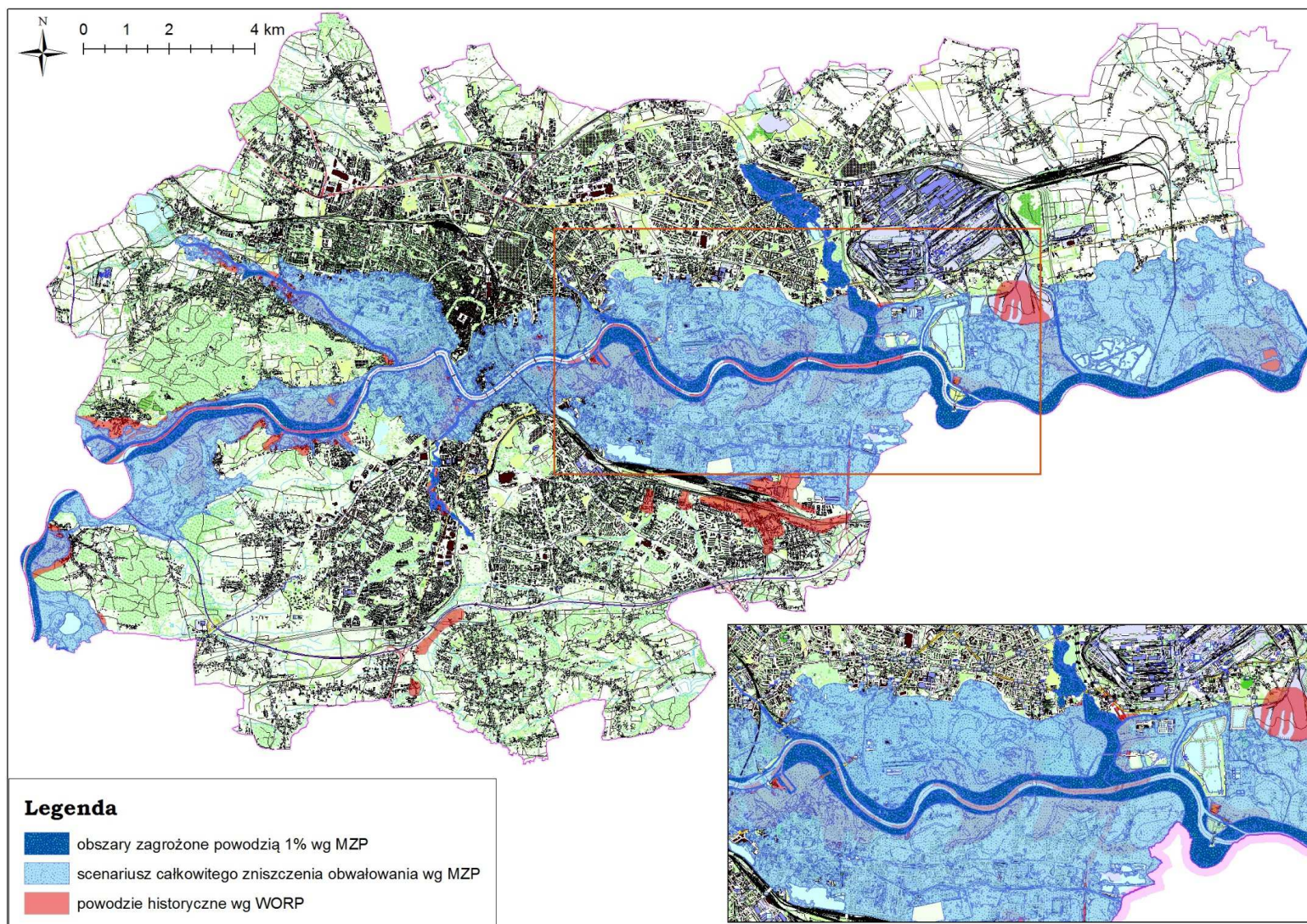
¹⁴ Analiza dokumentów dotyczących zabezpieczenia przeciwpowodziowego Miasta Krakowa wraz z rekomendacjami.

¹⁵ Plan zarządzania ryzykiem powodziowym dla regionu wodnego Górnej Wisły.

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

rzeczy, to stosunkowo duża zlewnia Wisły powyżej miasta oraz nakładanie się fal kulminacyjnych z jej licznych dopływów o górkim charakterze (powodującym m.in. szybkie kulminacje) oraz znaczny poziom zagospodarowania, który odebrał rzece jej naturalne tereny zalewowe, co nie zostało zrekompenrowane odpowiednią sztuczną pojemnością retencyjną. Sytuacji nie poprawiają parametry oraz stan techniczny istniejącego systemu biernej ochrony przeciwpowodziowej miasta.

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



Rysunek 18. Zagrożenie powodziowe na obszarze Miasta Kraków (wg WORP, MZP/MRP)

Okresy niżówkowe i niedobory wody

Niżówkę definiuje się jako okres, w którym przepływy były równe lub niższe od założonej wartości progowej przepływu, zwanej również przepływem granicznym (Zielińska 1963, Ozga-Zielińska, Brzeziński 1997; Tallaksen).

Wartości niedoborów i przypisane im prawdopodobieństwa nieosiągnięcia oraz czasy trwania wyrażone w dniach odpowiadają następującym warunkom:

- niżówka krótkotrwała – niżówki o prawdopodobieństwie nieosiągnięcia niedoboru mniejszym lub równym $D_{50\%}$ oraz czasie trwania do 30 dni,
- niżówka długotrwała – niżówki o prawdopodobieństwie nieosiągnięcia niedoboru do $D_{80\%}$ oraz czasie trwania do 90 dni,
- susza hydrologiczna umiarkowana – niżówki o prawdopodobieństwie nieosiągnięcia niedoboru do $D_{90\%}$ oraz czasie trwania do 120 dni,
- susza hydrologiczna silna – niżówki o prawdopodobieństwie nieosiągnięcia niedoboru do $D_{95\%}$ oraz czasie trwania do 180 dni,
- susza hydrologiczna ekstremalna – niżówki o prawdopodobieństwie nieosiągnięcia niedoboru wyższym niż $D_{95\%}$ oraz czasie trwania dłuższym niż 180 dni.

W wieloletniu 1981-2015 na wybranych rzekach w rejonie Krakowa zidentyfikowano różne wartości okresów niżówkowych, najwięcej na Wiśle (111-121) i Skawince (132), wyraźnie mniej na Rudawie (84) i Prądniku w Ojcowie (44), gdzie ponadto zdecydowanie przeważały niżówki powyżej 30 dni (30).

Na wszystkich wodowskazach zdecydowanie przeważają niżówki letnie, w Radziszowie stosunek ten wyniósł niespełna 2,4 niżówki letniej na pojedynczą niżówkę zimową.

Biorąc pod uwagę czas trwania oraz maksymalny deficyt wody, najdłuższa niżówka wystąpiła w latach 1989-1992 na Prądniku, trwając aż 797 dni. Minimalny przepływ zanotowany w maju 1990 roku wyniósł zaledwie $0,23 \text{ m}^3/\text{s}$, a deficyt niżówki blisko $3,4 \text{ mln m}^3$.

Najpoważniejsze niżówki w Wiśle wystąpiły w różnych latach na dwóch analizowanych wodowskazach, podobna była jednak wielkość deficytu: $223,62 \text{ mln m}^3$ na wodowskazie Smolice w latach 2003-2004 oraz $241,15 \text{ mln m}^3$ na wodowskazie Sierosławice w roku 2015. Dla porównania zbiornik Goczałkowicki, największy zbiornik retencyjny powyżej miasta, będący jednocześnie piątym pod względem pojemności rezerwuarem w Polsce, może zmagazynować maksymalnie (łącznie ze stałą rezerwą powodziową) $165,6 \text{ mln m}^3$ wody.

Ze względu na specyficzne uwarunkowania Krakowa, gdzie około 64% wody pitnej ujmowana jest ze zbiornika Dobczyce zlokalizowanego na rzece Rabie, analizę niżówek należy rozszerzyć również o ten ciek, nie ograniczając się jedynie do wybranych rzek przepływających przez miasto.

Na podstawie danych literaturowych można stwierdzić, że w obszarze górnej Raby, powyżej zbiornika Dobczyce, występuje większa intensywność niżówek letnich. Charakteryzują się one znacznymi deficytami odpływów, a także większym wyrównaniem przestrzennym. Sugeruje to silny związek występowania niżówek z okresami występowania wysokich temperatur oraz długimi okresami bezopadowymi, utrzymującymi się na większych obszarach, czego efektem jest równomierne zmniejszanie się zasobów wodnych całej zlewni. W okresach zimowych głębokie niżówki występują tylko w górnej części zlewni (Rabka, Mszana)¹⁶, nie mają zatem silnego wpływu na zasoby wodne w zbiorniku Dobczyce.

¹⁶ Niżówki w zlewni górnej Raby w latach 1971-1981, Krzysztof Raczyński, Monitoring Środowiska Przyrodniczego, Vol. 17, s. 73-81.

9. Zanieczyszczenia powietrza

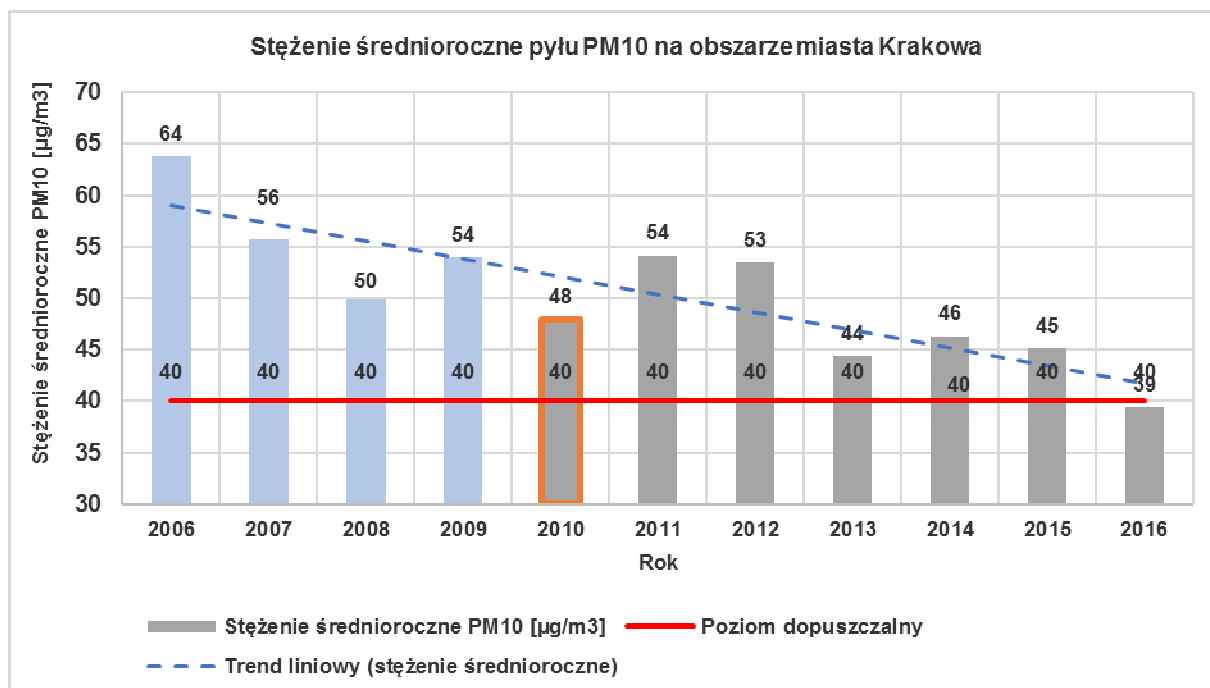
Przeprowadzono analizę poziomów stężeń dla trzech zanieczyszczeń: ozonu troposferycznego, pyłu PM10 oraz pyłu PM2,5. Wyniki analizowano w odniesieniu do wartości kryterialnych (poziomów dopuszczalnych), określonych w obowiązujących przepisach prawnych.

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).

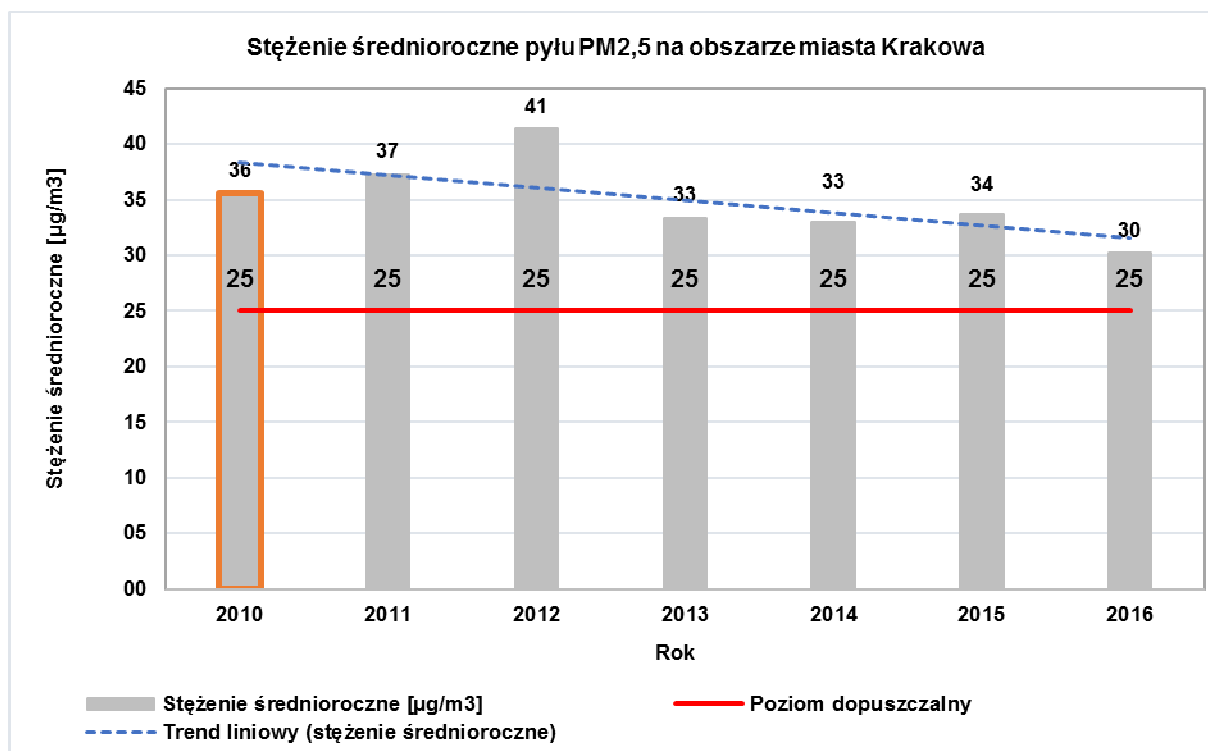
Zgodnie z założeniami metodycznymi, podstawę analiz poziomów stężeń zanieczyszczeń powietrza prowadzonych w ramach projektu MPA stanowią **wyłącznie** wyniki pomiarów ze stacji pomiarowych tła miejskiego, ponieważ wyniki z tych stacji pomiarowych, zlokalizowanych przy dużych skupiskach zabudowy mieszkalnej,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

Przeprowadzona analiza stacji pomiarowych funkcjonujących w tym okresie na terenie miasta Krakowa wykazała, że za wyjątkiem roku 2016 w poszczególnych latach w obrębie miasta równocześnie działała tylko jedna stacja tła miejskiego, na której prowadzone były pomiary stężeń zanieczyszczeń objętych analizą w ramach projektu MPA.

Analizy przeprowadzone dla pyłu PM10 wykazały, że w całym analizowanym okresie czasu wartości maksymalnych stężeń średnich dobowych znacznie przekraczały poziom dopuszczalny. W przypadku stężeń średniorocznych przekroczenia wartości dopuszczalnej stwierdzono przez cały okres analizy za wyjątkiem roku 2016. Dodatkowo liczba dni z przekroczeniami maksymalnych stężeń średnich dobowych w całym okresie znacznie przekraczała poziom dopuszczalny 35 dni w roku kalendarzowym (Rysunek 19). Także dla pyłu PM2,5 przeprowadzone analizy wykazały, że w całym analizowanym okresie czasu wartości stężeń średniorocznych przekraczały poziom dopuszczalny. Stwierdzono również wysokie wartości maksymalnych stężeń średnich dobowych (Rysunek 20).



Rysunek 19. Pył zawieszony PM10 – wartości stężeń średniorocznych



Rysunek 20. Pył zawieszony PM_{2,5} – wartości stężeń średniorocznych

Zarówno dla pyłu PM₁₀, jak i PM_{2,5}, w ciągu wybranego 10-letniego okresu stwierdzono ogólny spadek wartości stężeń średniorocznych, maksymalnych 24h oraz spadek liczby dni z przekroczeniami stężenia maksymalnego 24h (dla PM₁₀), jednak z uwagi na krótki okres analizy istotniejsza jest stwierdzona zmienność poziomów analizowanych stężeń w kolejnych latach, zależna w znacznym stopniu od długości sezonu grzewczego oraz panujących w tym okresie temperatur, szczególnie w zakresie częstości występowania oraz długości trwania fal chłodu.

Przeprowadzona analiza częstości występowania epizodów wysokich stężeń zanieczyszczeń powietrza pod kątem możliwości wystąpienia smogu zimowego wykazała, że na terenie miasta Krakowa występuje istotne zagrożenie jego powstawaniem. Jest ono, związane z maksymalnymi stężeniami średnimi dobowymi pyłu PM₁₀ przekraczającymi poziom 75 µg/m³. Liczba dni z przekroczeniami ww. poziomu granicznego w ostatnich 10 latach kształtowała się w granicach od około 1 miesiąca 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, z trendem malejącym, jednak krótki okres analizy wskazuje jedynie tendencje zmian wskaźnika.

Analizy przeprowadzone dla ozonu troposferycznego wykazały, że nie wystąpiły przekroczenia maksymalnej 8-godzinnej średniej kroczącej >120 µg/m³ ani wartości wskaźnika AOT40. Tym samym problem występowania podwyższonych stężeń ozonu troposferycznego (a także związanego z nim smogu letniego) na terenie miasta Krakowa jest obecnie mało istotny. W ciągu badanego 10-letniego okresu wartości obu wskaźników (maksymalna 8-godzinna średnia krocząca >120 µg/m³ oraz AOT40) wykazywały tendencję rosnącą, co może oznaczać pojawienie się tego rodzaju problemu w przyszłości.

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

Przeprowadzona analiza wykazała, że koncentrację zanieczyszczeń powietrza na terenie miasta Krakowa należy zaliczyć do istotnych czynników meteorologicznych oraz ich pochodnych z uwagi na występowanie przekroczeń wartości kryterialnych obu frakcji pyłów, jak również stwierdzenie istotnego zagrożenia występowania smogu zimowego.

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



**Wzujmy się
w klimat!**
www.44mpa.pl



**Instytut 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



**Instytut 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



**Instytutu Ekologii Terenów
Uprzemysłowionych**
ul. Koszutha 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.
ul. Wołoska 22a
02-675 Warszawa
tel.: 22 203 20 00
faks: 22 203 20 01
e-mail: mpa@arcadis.com
www.arcadis.com