Załącznik nr 2

Opis głównych zagrożeń klimatycznych i ich pochodnych dla Miasta

1. Definicje

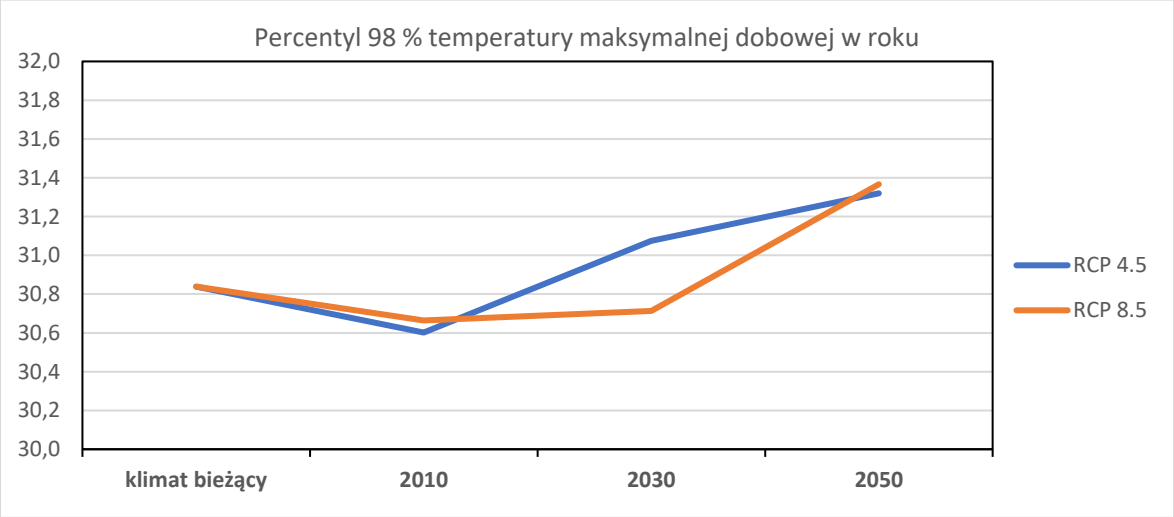
EURO-CORDEX (Euro Coordinated Regional Climate) - Projekt przedstawiający symulacje klimatyczne przy zastosowaniu najnowszych dostępnych projekcji klimatycznych wg. 5 Raportu Oceny Międzyrządowego Panelu ds. Zmian Klimatu (AR5 IPCC) z roku 2013.

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 CO_2, oraz osiągnięcie wymuszenia radiacyjnego na określonym przez dany scenariusz poziomie.

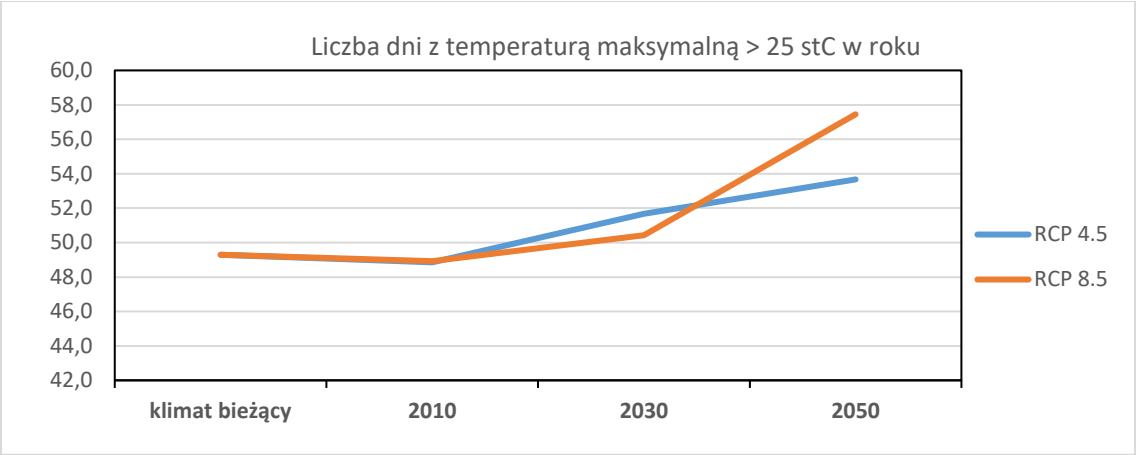
Istotność statystyczna - prawdopodobieństwo, z jakim można przyjąć, że zależności pomiędzy wartościami zmiennych w próbie badanej mogą być jedynie wynikiem błędu losowego. Próg istotności przyjęto na poziomie 0,05. Im istotność jest mniejsza niż 0,05 tym jest mniejsze niż 5% prawdopodobieństwo błędu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

2. Upały, temperatura maksymalna

Zgodnie z poniższymi wykresami odnotowano trend rosnący dla dwóch wskaźników: percentyl 98%, liczba dni z temperaturą maksymalną powyżej 25°C. Dla klimatu bieżącego percentyl 98% wynosi około 30,8°C, zaś w roku 2050 może osiągnąć wartość 31,3°C, przy czym dla scenariusza RCP 8.5 minimalnie wyższą. W odniesieniu do liczby dni z temperaturą maksymalną > 25°C, trend wzrostowy bardziej zauważalny odnotowano dla scenariusza mniej korzystnego – RCP 8.5, wg którego liczba dni do 2050 roku wzrośnie z 49 do 57. Scenariusz umiarkowany – RCP 4.5 wskazuje na mniej gwałtowny wzrost (około 54 dni w roku 2050).

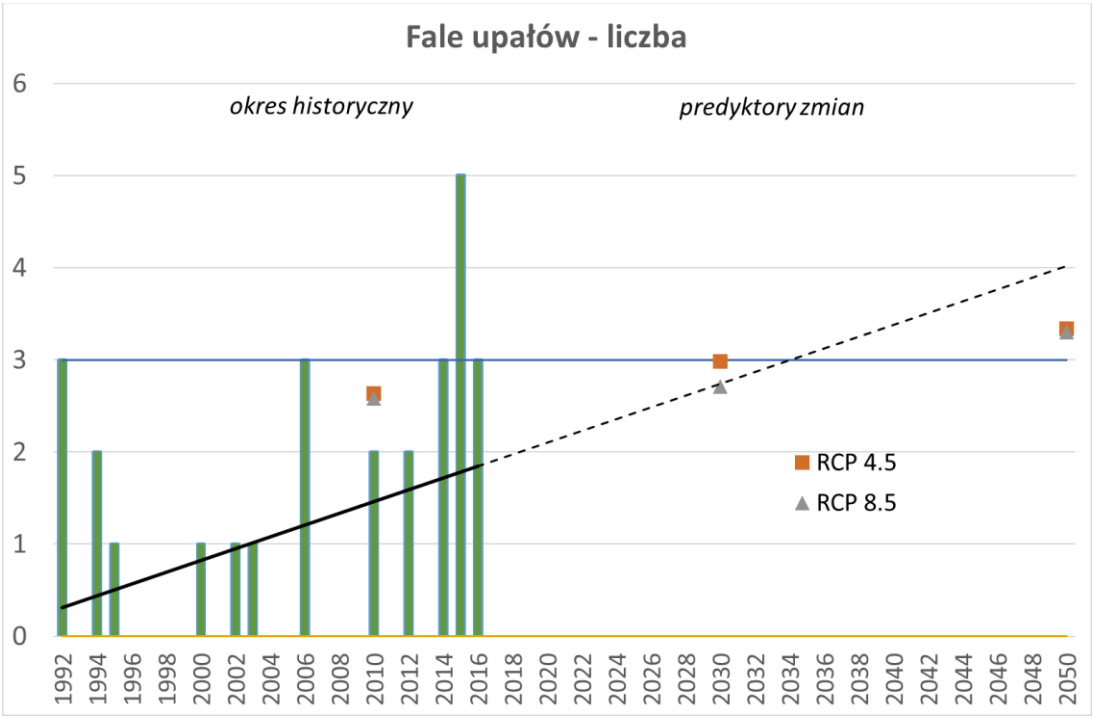


Rysunek 1. Percentyl 98% temperatury maksymalnej dobowej w roku
Dla scenariusza umiarkowanej (RCP4.5 – niebieska linia) i wysokiej emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5 – pomarańczowa linia)

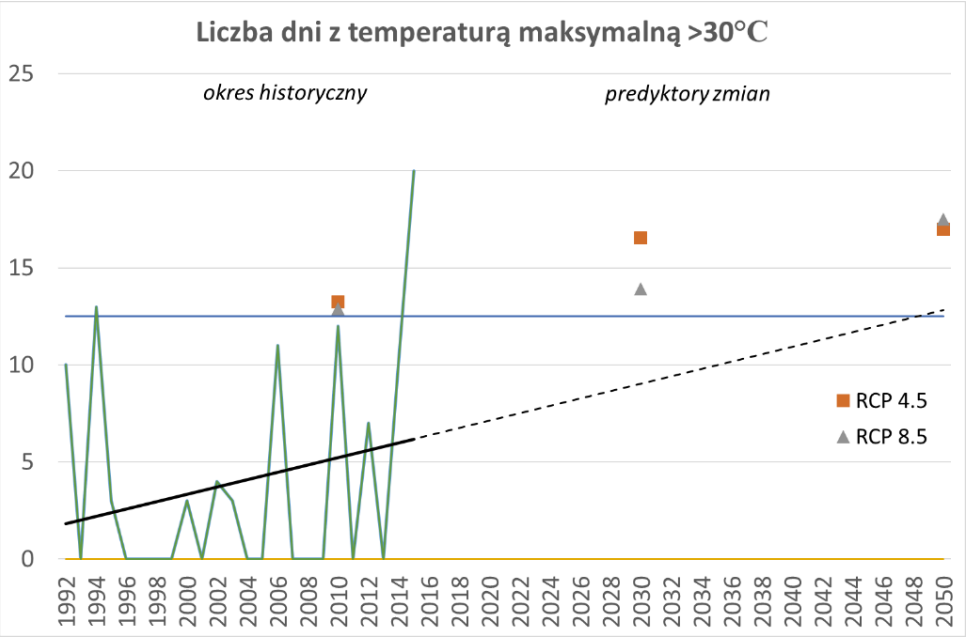


Rysunek 2. Liczba dni z temperaturą maksymalną > 25 stC w roku
Dla scenariusza umiarkowanej (RCP4.5 – niebieska linia) i wysokiej emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5 – pomarańczowa linia)

Prognozowane zmiany klimatu wskazują, że intensywność lub częstość występowania zjawiska fal upałów może stać się krytyczna w ciągu najbliższych kilku lat (w perspektywie do 2030). Zgodnie z poniższymi wykresami odnotowano trend rosnący dla takich wskaźników jak: liczba okresów o długości minimum 3 dni z temperaturą powyżej 30°C oraz liczba dni z temperaturą maksymalną powyżej 30°C. Zarówno prognoza liniowa na podstawie danych historycznych, jak i scenariusze klimatyczne dla obu wskaźników wskazują na wzrost i przekroczenie wartości krytycznych. Liczba dni upalnych w roku może wzrosnąć z około 13 dni (klimat bieżący) do około 17 dni (w roku 2050). W okresie 1992-2016 również stwierdzono wzrost liczby fal upałów.



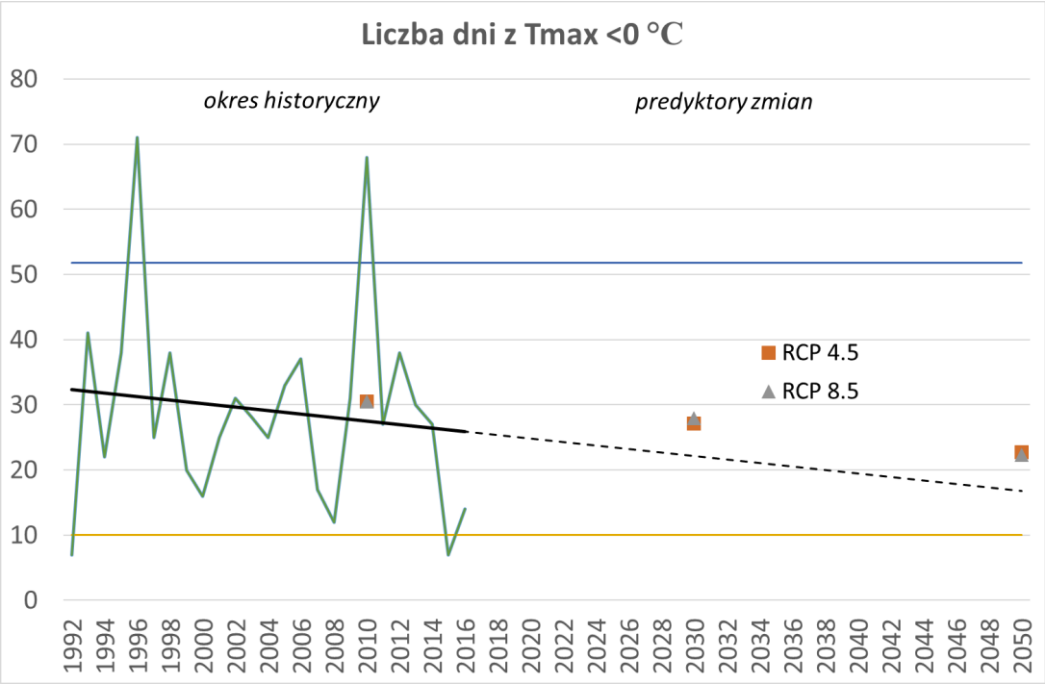
Rysunek 3. Scenariusze klimatyczne na tle danych historycznych dla wskaźnika „Liczba okresów o długości min. 3 dni z temperaturą powyżej 30°C
Dla scenariusza umiarkowanej (RCP4.5 – niebieska linia) i wysokiej emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5 – pomarańczowa linia)



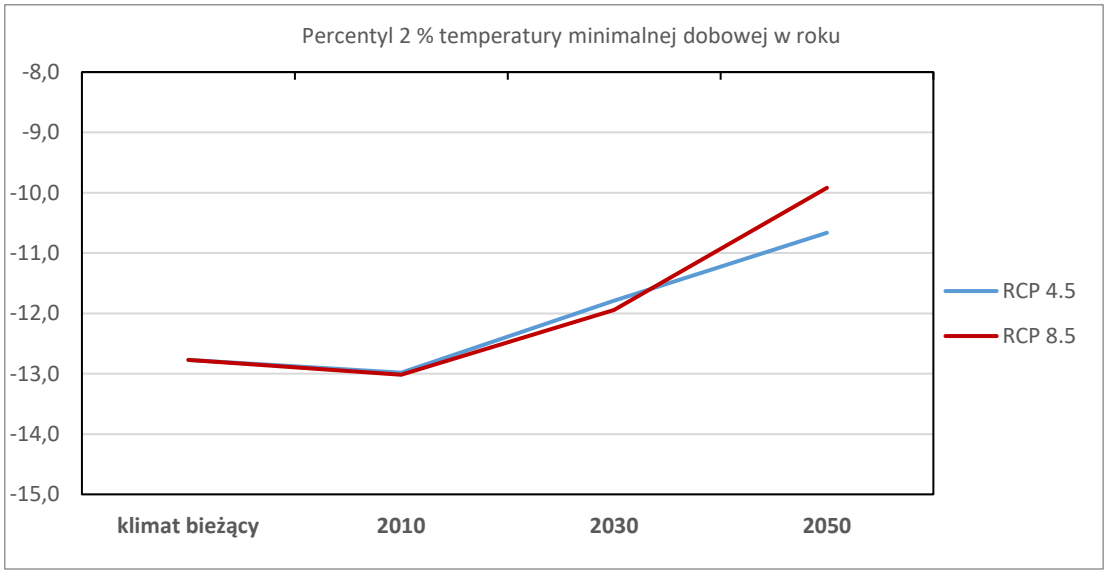
Rysunek 4. Liczba okresów o długości przynajmniej 3 dni z temperaturą maksymalną ≥30°C w roku
W okresie historycznym (zielona linia) oraz w okresie prognozowanym do 2050 roku dla scenariusza umiarkowanej (RCP4.5 - pomarańczowy kwadrat) i wysokiej emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5 - szary trójkąt)

3. Chłody

Prognozowane zmiany klimatu wskazują na małe prawdopodobieństwo, że intensywność i częstość występowania zjawiska stanie się krytyczna w perspektywie do 2050. Zgodnie z poniższymi wykresami odnotowano trend malejący dla wskaźnika klimatycznego liczba dni z temperaturą maksymalną poniżej 0°C, a także odnotowano wzrost wartości percentyla 2%. Wyniki dla obu scenariuszy klimatycznych są zbieżne i wskazują na spadek liczby dni z temperaturą maksymalną poniżej zera z około 30 do około 22 dni w ciągu roku w perspektywie do 2050 (rysunek 5). Wartość percentyla 2% temperatury minimalnej dobowej w roku według scenariusza umiarkowanego wzrośnie z -13°C do około -10.8°C w 2050r., zaś dla scenariusza mniej korzystnego do około -9.9°C (rysunek 6). Wartości wskaźnika obliczone dla klimatu bieżącego są zbliżone do obserwowanych. Prognozowany jest wzrost wartości temperatury minimalnej okresu zimowego



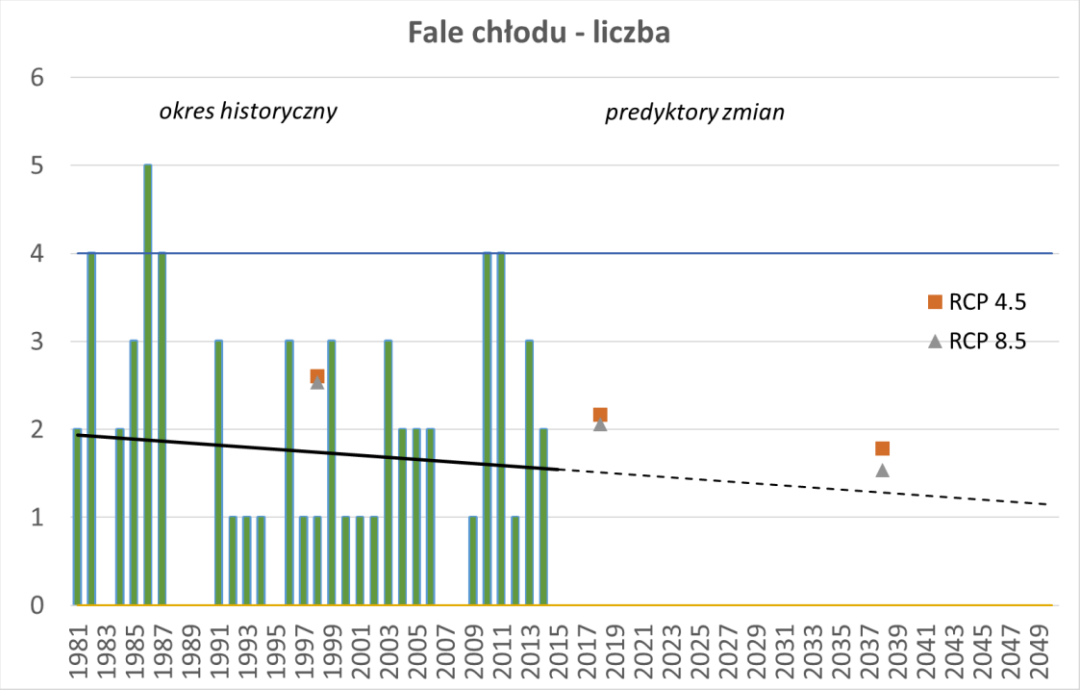
Rysunek 5 Liczba dni z temperaturą maksymalną ≤0°C w roku
W okresie historycznym (zielona linia) oraz w okresie prognozowanym do 2050 roku dla scenariusza umiarkowanej (RCP4.5 - pomarańczowy kwadrat) i wysokiej emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5 - szary trójkąt)



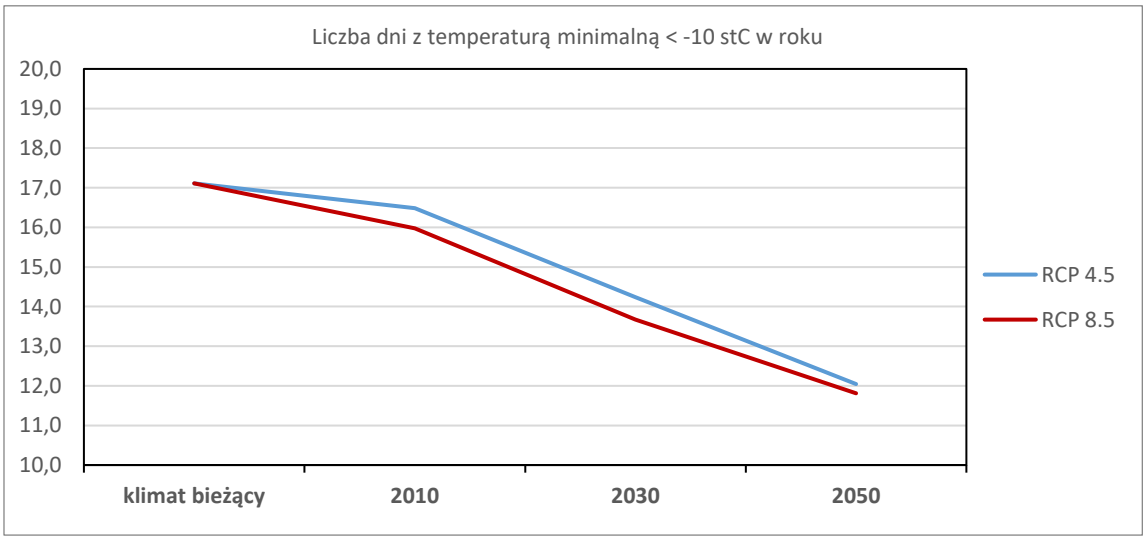
Rysunek 6 Percentyl 2% temperatury minimalnej dobowej w roku
Dla scenariusza umiarkowanej (RCP4.5 – niebieska linia) i wysokiej emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5 – czerwona linia)

Prognozowane zmiany klimatu wskazują na małe prawdopodobieństwo, że intensywność i częstość występowania zjawiska stanie się krytyczna w perspektywie do 2050. Zgodnie z poniższymi wykresami odnotowano trend malejący dla wskaźników: liczba okresów z temperaturą minimalną poniżej -10°C (rysunek 7) oraz liczba dni z temperaturą minimalną niższą niż -10°C zarówno w odniesieniu do danych

historycznych, jak i scenariuszy klimatycznych. Prognozuje się, iż liczba dni z temperaturą poniżej -10°C zmniejszy się z 17 do około 12 w roku 2050 (Rysunek 8).



Rysunek 7 Liczba okresów o długości przynajmniej 3 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)

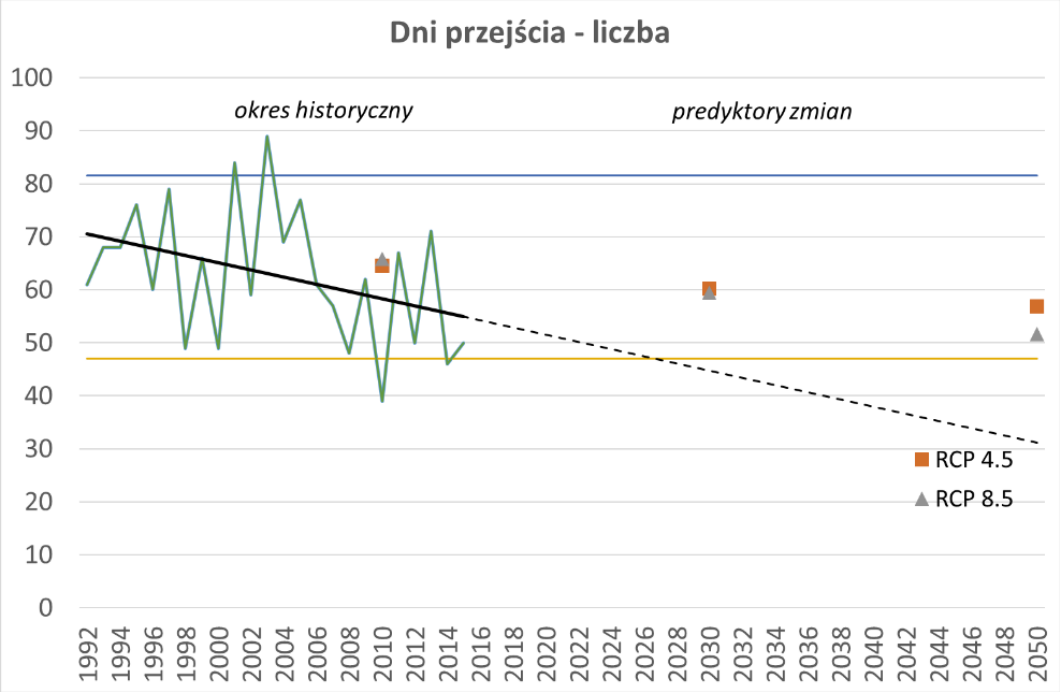


Rysunek 8 Liczba dni z temperaturą minimalną <-10°C w roku

4. Przymrozki

Prognozowane zmiany klimatu wskazują na małe prawdopodobieństwo, że intensywność i częstość występowania zjawiska stanie się krytyczna w perspektywie do 2050. Zgodnie z poniższym wykresem odnotowano trend malejący dla wskaźnika: liczba dni z przejściem temperatury przez 0°C. W zależności od scenariusza, do 2050 roku liczba dni z przejściem temperatury przez zero zmniejszy się o około 8 dni

(scenariusz umiarkowany RCP 4.5) do około 14 dni, przy scenariuszu bardziej niekorzystnym - RCP 8.5. (rysunek 9).

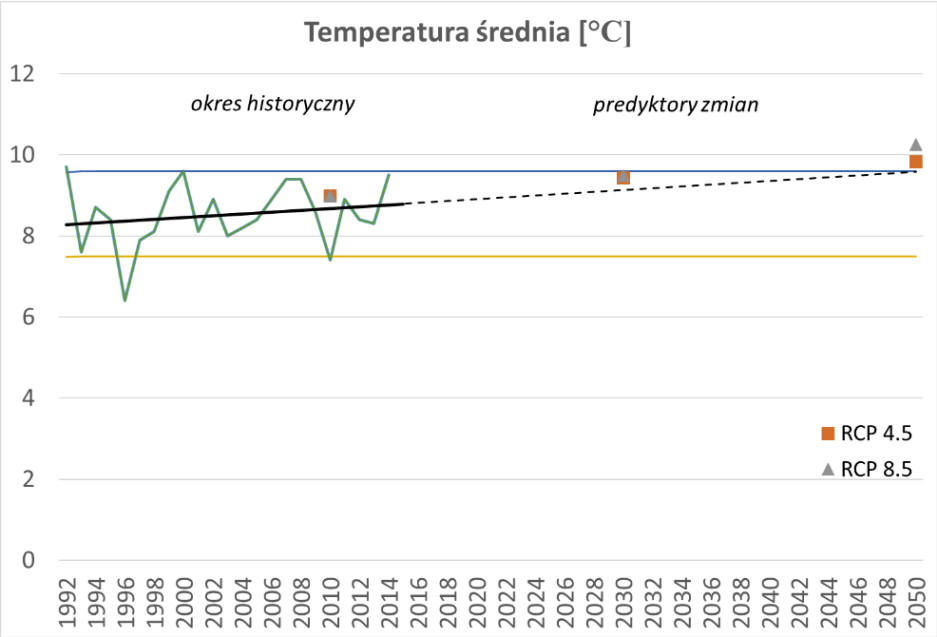


Rysunek 9 Liczba dni z przejściem temperatury powietrza przez 0°C w roku
W okresie historycznym (zielona linia) oraz w okresie prognozowanym do 2050 roku dla scenariusza umiarkowanej (RCP4.5 - pomarańczowy kwadrat) i wysokiej emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5 - szary trójkąt)

5. Średnie warunki termiczne

Średnia roczna wartość temperatury – intensywność Miejskiej Wyspy Ciepła (MWC)

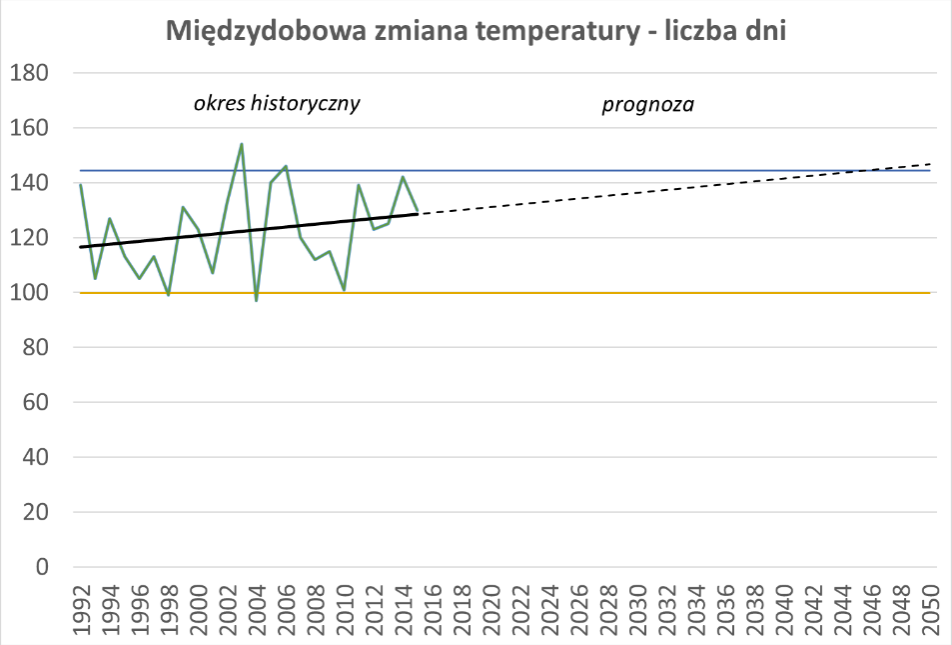
Prognozowane zmiany klimatu wskazują, że intensywność lub częstość występowania zjawiska może stać się krytyczna w ciągu najbliższych kilku lat (w perspektywie do 2030). W analogii do fal upałów (częstsze i dłuższe) oraz zgodnie z poniższym wykresem (trend rosnący wartości średniej temperatury powietrza) można spodziewać się, że zjawisko miejskiej wyspy ciepła będzie się nasilać (rysunek 10).



Rysunek 10. Wartość temperatury średniorocznej
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)

Międzydobowa zmiana temperatury

Przypadki **międzydobowej zmiany temperatury powietrza powyżej 10°C** występują w Bydgoszczy najczęściej od IV do VIII. Prognoza zmian linii trendu wskazuje, że intensywność lub częstość występowania zjawiska może stać się krytyczna w ciągu 10-30 lat (w perspektywie roku 2030 i 2030-2050). Zgodnie z poniższym wykresem suma dni z międzydobową zmianą temperatury większą niż 10°C, odnotowano nieznaczny trend rosnący. (rysunek 11).



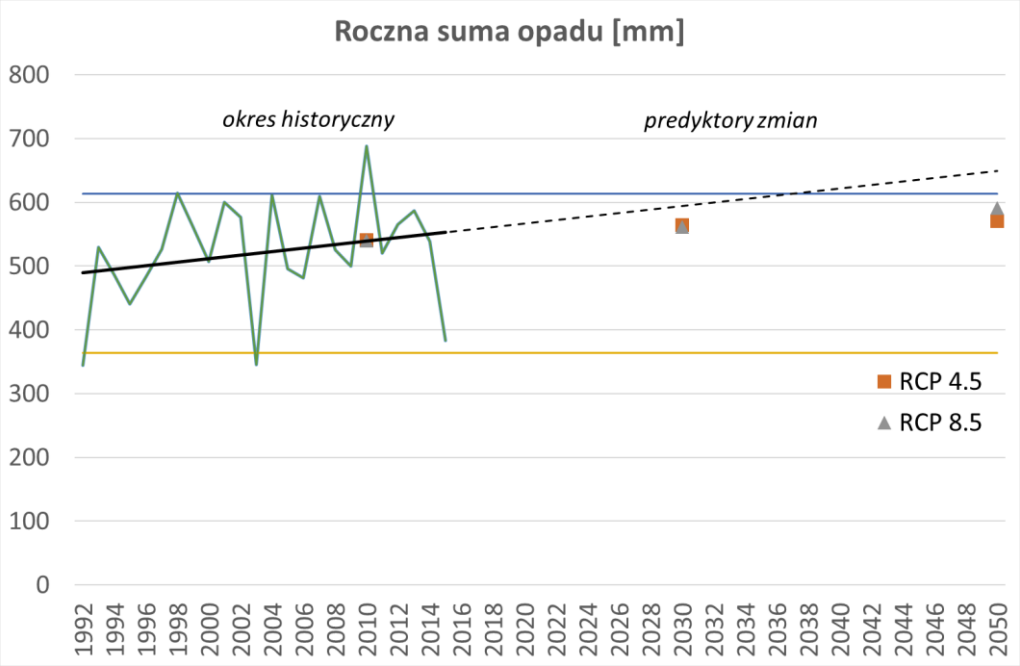
Rysunek 11. Liczba dni z międzydobową zmianą temperatury powietrza
W okresie historycznym (zielona linia) oraz w okresie prognozowanym do 2050 roku

6. Dni z opadem

Zagrożenia związane z dniami wilgotnymi w Bydgoszczy zostały opisane następującymi wskaźnikami:

Suma roczna opadu

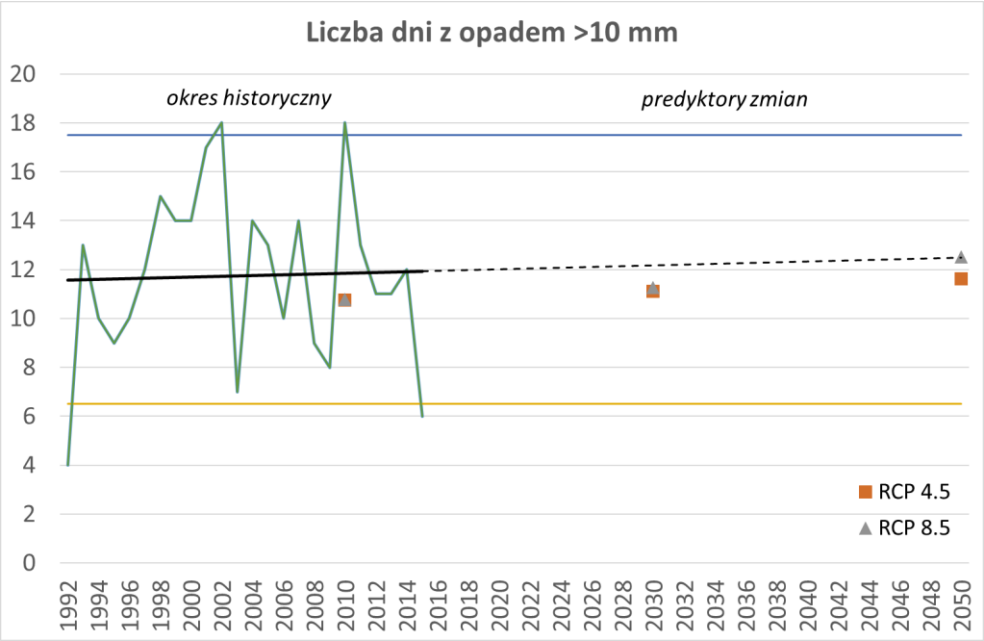
Prognozowane zmiany klimatu wskazują, że intensywność lub częstość występowania zjawiska może stać się krytyczna w perspektywie do 2030. Zgodnie z poniższym wykresem odnotowano trend rosnący dla wskaźnika roczna suma opadu (rysunek 12). Również analiza danych historycznych wskazuje na rosnący trend rocznej sumy opadów w mieście.



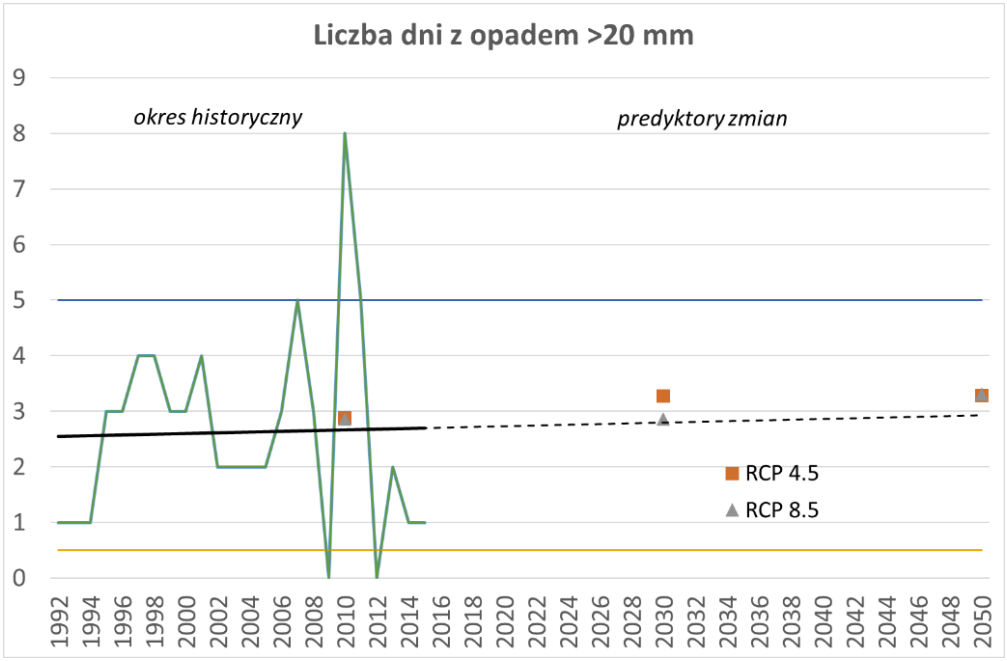
Rysunek 12. Suma roczna opadu atmosferycznego
W okresie historycznym (zielona linia) oraz w okresie prognozowanym do 2050 roku dla scenariusza umiarkowanej (RCP4.5 - pomarańczowy kwadrat) i wysokiej emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5 - szary trójkąt)

Opad ekstremalny

Zgodnie z poniższymi wykresami odnotowano nieznaczny trend rosnący dla wskaźników: liczba dni z opadem > 10 mm (rysunek 13) oraz liczba dni z opadem > 20 mm (rysunek 14). Analiza danych historycznych wskazuje, że średnia roczna liczba dni z opadem > 10 mm w okresie lat 1992-2016 kształtowała się na poziomie około 12 dni, liczba dni z opadem powyżej 20mm średnio około 3 dni, a powyżej 30mm, czyli z opadem silnym 1 dzień.



Rysunek 13. 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)

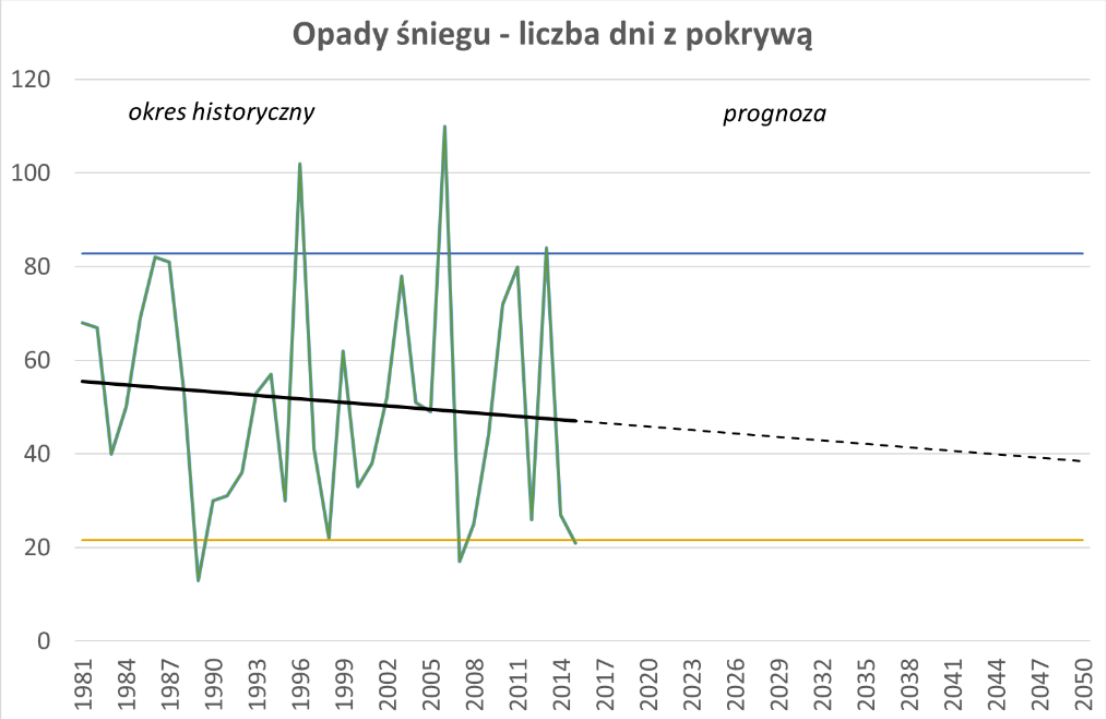


Rysunek 14. Liczba dni z opadem atmosferycznym >20 mm/d
W okresie historycznym (zielona linia) oraz w okresie prognozowanym do 2050 roku dla scenariusza umiarkowanej (RCP4.5 - pomarańczowy kwadrat) i wysokiej emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5 - szary trójkąt)

Opady śniegu

Średnia roczna liczba dni z pokrywą śnieżną w Bydgoszczy w okresie 1981-2015 (dane ze stacji synoptycznej w Toruniu) wynosiła ok. 51 dni. Najwięcej dni ze śniegiem zanotowano w 1996 i 2006 roku - odpowiednio 102 i 110 dni. Prognoza zmian linii trendu wskazuje na małe prawdopodobieństwo, że intensywność i częstość występowania zjawiska stanie się krytyczna (korzystna) w perspektywie do

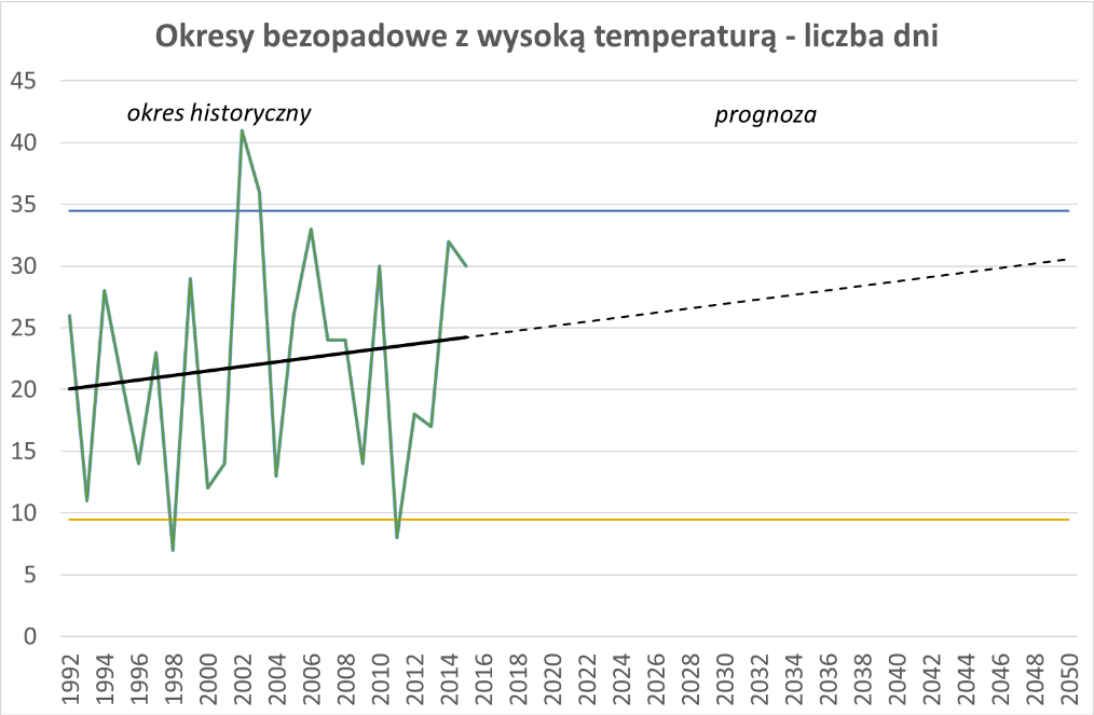
2050. Zgodnie z poniższym wykresem odnotowano trend malejący dla wskaźnika: liczba dni z pokrywą śniegu w okresie X-V. (rysunek 15).



Rysunek 15 Liczba dni z opadem śniegu
W okresie historycznym (zielona linia) oraz w okresie prognozowanym do 2050 roku

7. Dni bezopadowe

Analizę długotrwałych okresów bezopadowych poszerzono o temperaturę maksymalną powietrza >25°C. Najdłuższy okres spełniający oba warunki wystąpił w roku 2002 i wynosił 41 dni (rysunek 16), a dane historyczne wykazują wyraźny trend rosnący.



Rysunek 16 Najdłuższy okres bez opadu z wysoką temperatura powietrza
W okresie historycznym (zielona linia) oraz w okresie prognozowanym do 2050 roku

8. Susza

W ocenie suszy hydrologicznej wykorzystano wskaźnik standaryzowany odpływu SRI (ang. Standardized Runoff Index - Shukla, Wood, 2008). Wskaźnik charakteryzuje wilgotnościowe warunki hydrologiczne w zlewni na podstawie wielkości odpływu ze zlewni w różnych okresach akumulacji (transformacji) opadu w odpływ (1, 3, 6, 9 lub 12-miesięczne), które pozwalają uchwycić zmienności wynikające z charakteru zlewni, czy prowadzonej w niej gospodarki wodnej – im dłuższy okres akumulacji, tym współczynnik odpływu SRI jest bardziej zbliżony do współczynnika opadu (SPI).

Wskaźnik SRI może być wykorzystany do oceny podatności regionalnej na występowanie suszy hydrologicznej, co uzyskuje się odpowiednio klasyfikując wskaźnik SRI wykorzystując przedziały wartości dla standaryzowanego wskaźnika opadu (SPI).

Dla obszaru miasta Bydgoszcz przeprowadzono taką procedurę dla posterunków wodowskazowych Smukała oraz Toruń przyjmując 1, 6 i 12-miesięczne okresy akumulacji.

Tabela 1. Charakterystyka wielolecia 1981-2015 na podstawie wskaźnika SRI

Wartość SRI	Klasyfikacja okresu	Udział miesięcy w wieloleciu 1981-2015 [%]											
		Smukała						Toruń					
		SRI 1		SRI 6		SRI 12		SRI 1		SRI 6		SRI 12	
		li.	%	li.	%	li.	%	li.	%	li.	%	li.	%
≥ 2,0	ekstremalnie mokry	14	3,3	16	3,8	20	4,8	10	2,4	12	2,9	24	5,7
1,5 ≤ SRI < 2,0	bardzo mokry	21	5,0	26	6,2	22	5,2	11	2,6	8	1,9	6	1,4
1,0 ≤ SRI < 1,5	umiarkowanie mokry	25	5,9	21	5,0	22	5,2	25	5,9	26	6,2	22	5,3

-1,0 ≤ SRI < 1,0	bliski warunkom normalnym	299	71,2	282	67,1	266	63,4	301	71,7	310	73,8	281	66,9
-1,5 ≤ SRI < -1,0	umiarkowanie suchy	46	11,0	46	11,0	45	10,7	60	14,3	44	10,5	73	17,4
-2,0 ≤ SRI < -1,5	bardzo suchy	11	2,6	27	6,4	40	9,5	13	3,1	17	4,0	14	3,3
SRI < -2,0	ekstremalnie suchy	4	1,0	2	0,5	5	1,2	0	0	3	0,7	0	0

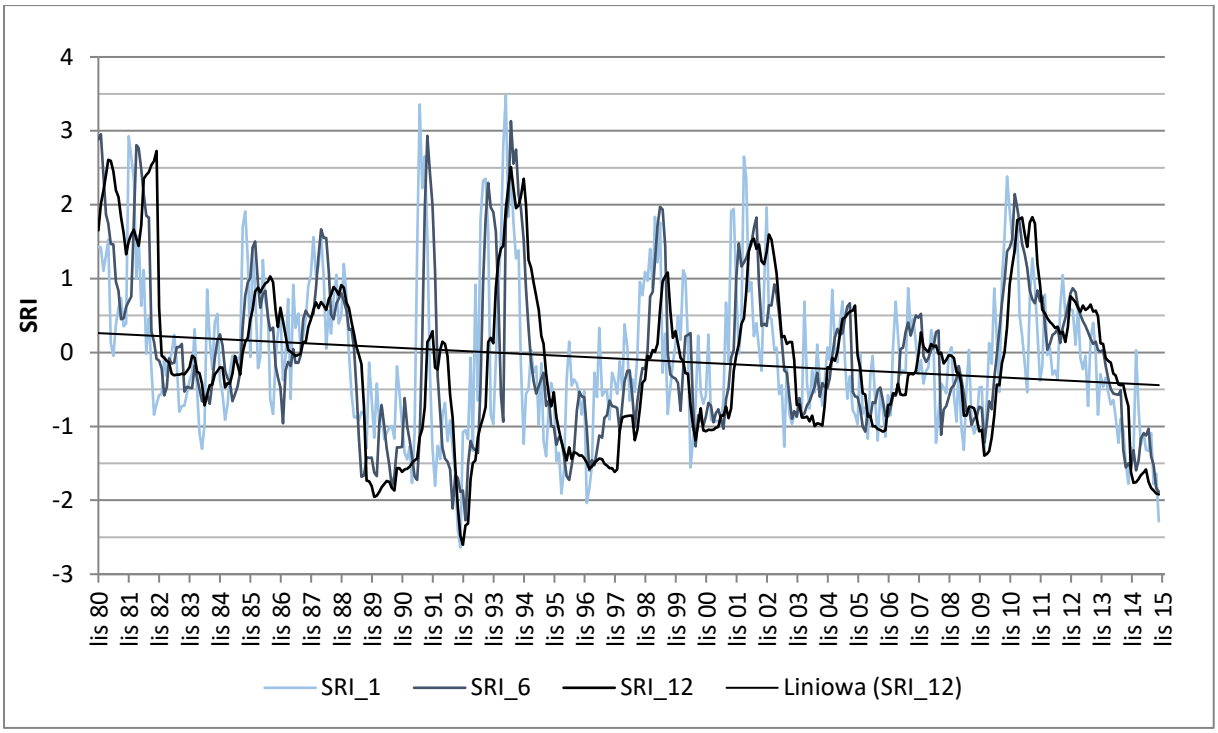
W analizowanym wieloleciu przeważały okresy bliskie warunkom normalnym. Na wodowskazie Smukała wartości SRI dla warunków normalnych stanowiły 63-71%, zaś na wodowskazie Toruń około 70%. W odniesieniu do rocznego okresu akumulacji w analizowanym wieloleciu okresów ekstremalnie suchych na Wiśle na posterunków wodowskazowym Toruń nie odnotowano, natomiast na rzece Brdzie, dla posterunku Smukała okresy ekstremalnie suche obejmowały 1,2% wszystkich analizowanych (okres ekstremalnie suchy dotyczył roku 1992 i 2015).

Warto zwrócić uwagę na fakt, iż okresy umiarkowanie suche i bardzo suche, na podstawie standaryzowanego wskaźnika odpływu SRI12 dla przekroju wodowskazowego Smukała, obejmują łącznie ponad 20% analizowanego wielolecia, przy czym stosunek okresów umiarkowanie suchych i bardzo suchych jest zbliżony (po około 10% okresów wielolecia).

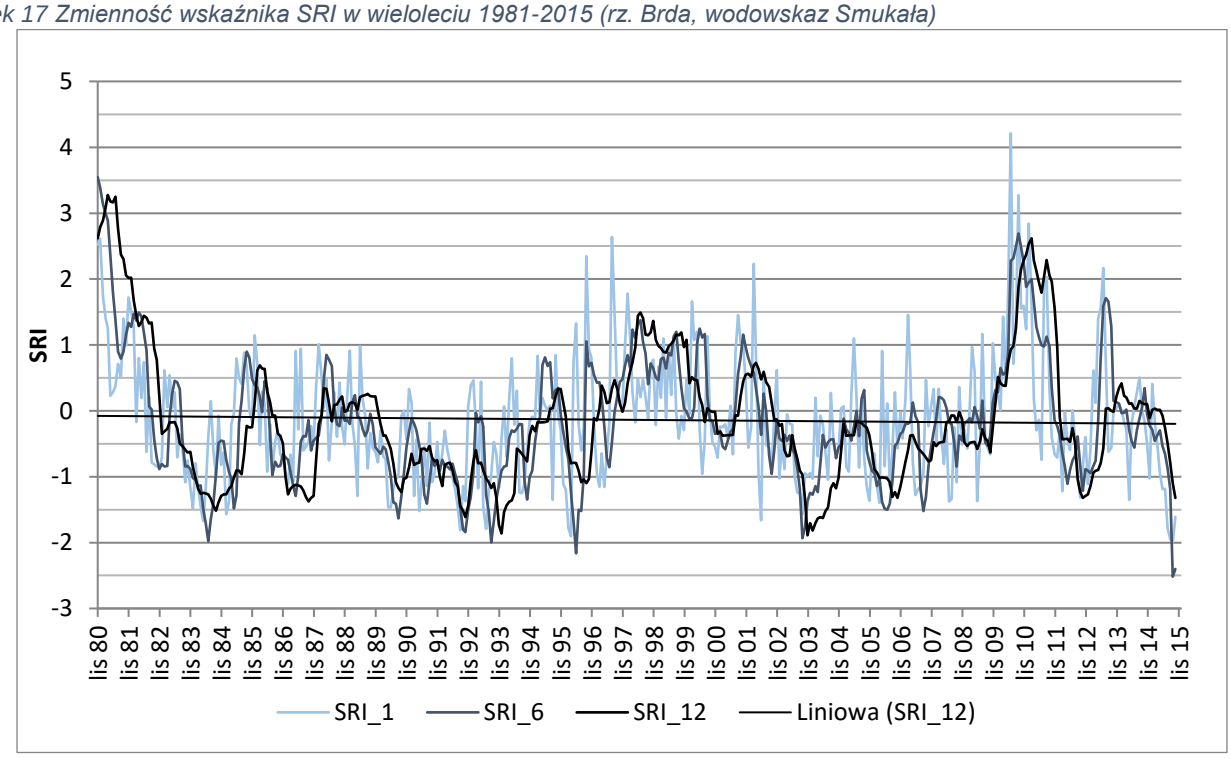
Na rzece Wiśle, na przekroju wodowskazowym Toruń, okresy umiarkowanie suche i bardzo suche również łącznie obejmują ponad 20%, przy czym okresy umiarkowanie suche dotyczą 17% analizowanego wielolecia.

Okresy mokre w zlewni rzeki Brdy dotyczyły około 15% wielolecia (okresy ekstremalnie mokre odnotowano w latach 1982 oraz 1994) zaś w przypadku rzeki Wisły obejmowały około 12,5% analizowanego czasu (lata ekstremalnie mokre to 1980 i 2010).

Zmienność współczynnika SRI na przestrzeni wielolecia 1981-2015 przedstawiono także na poniższych wykresach.



Rysunek 17 Zmienność wskaźnika SRI w wieloleciu 1981-2015 (rz. Brda, wodowskaz Smukała)



Rysunek 18 Zmienność wskaźnika SRI w wieloleciu 1981-2015 (rz. Wisła, wodowskaz Toruń)

Dla obu wodowskazów zanotowano trend malejący wartości współczynnika SRI, przy czym dla wodowskazu Smukała tendencja jest wyraźna, co oznacza, iż zasób wód w regionie wyraźnie maleje, a więc można spodziewać się, iż zjawisko suszy będzie występowało coraz częściej.

9. Pochodne opadów (powodzie, osuwiska)

Powodzie miejskie (nagłe)

Na podstawie udostępnionych materiałów dla obszaru miasta i jego okolic w latach 1970-2010 odnotowano 2 przypadki wystąpienia opadów nawalnych (należy tutaj zwrócić uwagę, że w bazie danych opadów nagłych w niektórych przypadkach podano dobowe sumy opadów, gdy nie udało się ustalić konkretnego czasu trwania opadu), z których żaden nie spowodował wystąpienia powodzi miejskiej.

Dodatkowo na podstawie danych z miejskich stacji meteorologicznych w Bydgoszczy przeanalizowano dane z okresu 2010-2016. We wskazanym okresie odnotowano 10 przypadków opadów nawalnych.

Tabela 2. Nawalne opady zanotowane w Bydgoszczy w latach 1970-20161

Lp.	Data opadu	Wysokość opadu [mm]	Czas trwania opadu [min]	Stacja
1	22.06.1975	51,0	155	Bydgoszcz-IMUZ
2	17.07.2001	54,0	1440 (doba)	Bydgoszcz
3	30.05.2010	20,0	370	Bydgoszcz-Śródmieście
4	**23.06.2010**	**39,4**	**90**	Bydgoszcz-Śródmieście
5	28.07.2010	41,0	685	Bydgoszcz-Śródmieście
6	25.06.2013	25,2	720	Bydgoszcz-Śródmieście
8	**19.07.2015**	**41,8**	**70**	Bydgoszcz-Śródmieście
9	17.06.2016	34,6	720	Bydgoszcz-Śródmieście
10	14.07.2016	36,2	1440	Bydgoszcz-Śródmieście
11	15.07.2016	20,2	720	Bydgoszcz-Śródmieście
12	27.07.2016	18,0	180	Bydgoszcz-Śródmieście
13	5.10.2016	21,6	600	Bydgoszcz-Śródmieście

Opady nawalne w mieście Bydgoszczy, pomimo, iż nie skutkowały wystąpieniem powodzi miejskiej, to w wielu przypadkach spowodowały lokalne podtopienia i zalania ulic, skutkujące dużymi utrudnieniami dla mieszkańców oraz znacznymi kosztami dla służb miejskich.

Powodzie od strony rzek

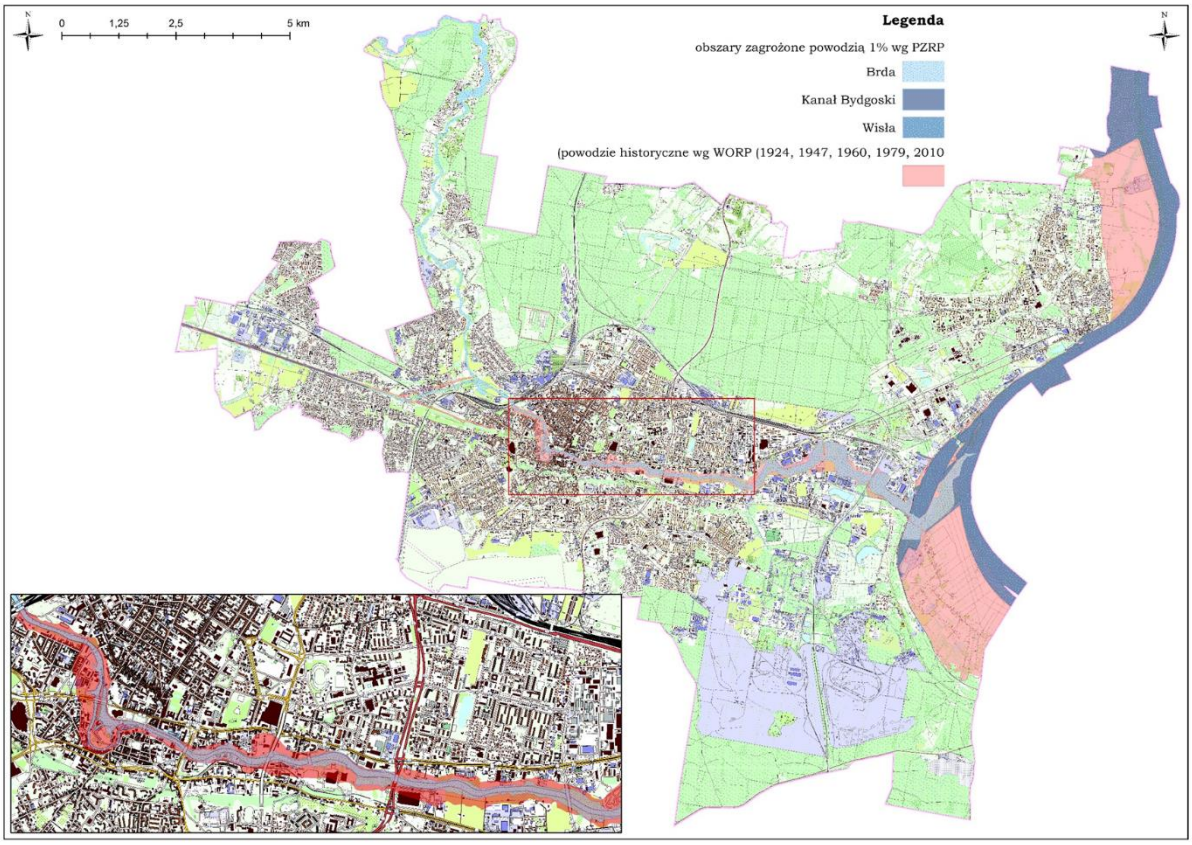
W ramach WORP dla Miasta Bydgoszcz, na podstawie powodzi historycznych, wskazano obszary narażone na niebezpieczeństwo powodzi. Największe ryzyko zidentyfikowano na odcinku ujściowym, ze względu na zagrożenie spowodowane cofką od rzeki Wisły, która utrudnia swobodny odpływ wód przez jaz Czersko Polskie.

Dla przedmiotowego obszaru opracowano mapy zagrożenia powodziowego i mapy ryzyka powodziowego, a wyznaczone na nich zasięgi dla wody o prawdopodobieństwie wystąpienia p=1% (tzw. woda stuletnia) występują w bezpośrednim sąsiedztwie rzeki Brdy oraz na odcinku ujściowym rzeki Brdy do Wisły. Według scenariusza całkowitego zniszczenia wałów, w granicach miasta zalane zostaną nadwiślańskie tereny dzielnic Łęgnowo (w tym tereny zabudowy mieszkaniowej jednorodzinnej) oraz Fordon (tereny otwarte).

W ramach PZRP dla obszaru miasta Bydgoszcz, wśród problemów wskazano brak zabezpieczeń przeciwpowodziowych na jazie Czersko Polskie przed cofką wód rzeki Brdy spowodowaną wezbraniem na Wiśle, co w konsekwencji spowoduje podniesienie się poziomu wody na Brdzie skanalizowanej i podtapianie nadbrzeżnych terenów miasta 8 km w głąb miasta oraz gospodarowanie wodą na obiektach elektrowni wodnych zlokalizowanych na Brdzie powyżej miasta (kaskada zbiorników retencyjnych, w tym zbiornik Koronowo gromadzący 82 mln m^3 wody). W PZRP dla rzeki Brdy ujęto zadania polegające na analizie wielowariantowej zabezpieczenia powodziowego Bydgoszczy, obejmującej zmianę zasad gospodarowania wodą na zbiorniku Koronowo, z uwzględnieniem zdolności przepustowej obiektów hydrowęzła bydgoskiego oraz rewitalizacji Brdy skanalizowanej wraz z przebudową obiektów Bydgoskiego Węzła Wodnego – etap II: Stopień Bydgoszcz i stopień

[1] Poz.1 i 2 pochodzi z opracowania IMGW-PiB, Projekt KLIMAT

Czersko Polskie. Na poniższym rysunku przedstawiono zasięgi wód wynikające z WORP oraz MZP/MRP dla miasta Bydgoszczy



Niezależnie od powyższych opracowań krajowych, przeanalizowane zostały również miejskie dokumenty strategiczne, w których wskazano zagrożenie powodziowe jako jeden z problemów, a są to: Program Ochrony Środowiska dla miasta Bydgoszczy na lata 2013-2016 z perspektywą do 2020 roku oraz Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego Bydgoszczy.

Ponadto zgodnie z „Oceną zagrożenia powodziowego miasta Bydgoszczy" opracowaną przez Wydział Zarządzania Kryzysowego w 2008 roku, stopnie wodne w połączeniu ze zbiornikami retencyjnymi w Mylofie i Koronowie, które przechwytują i regulują przepływ wód powodziowych rzeki Brdy, są wystarczającym zabezpieczeniem, aby zjawisko powodzi od wód z górnej części zlewni w mieście Bydgoszczy nie występowało. Nie oznacza to jednak, że miasto Bydgoszcz jest zupełnie wolne od tego zagrożenia.

Poza wspomnianym już zagrożeniem powodziowym związanym z cofką wód i brakiem możliwości odpływu wód rzeki Brdy do Wisły przez jaz walcowy, istnieje potencjalne zagrożenie od Zalewu Koronowskiego polegające na kontrolowanym zrzucie wody ze zbiornika bądź awarii zapory ziemnej.

Zalew Koronowski wyniesiony jest około 51,5 m ponad miastem Bydgoszcz i gromadzi 82 mln m^3 wody. Każda zapora ziemna ma z góry określony, projektowany maksymalny poziom piętrzenia, którego przekroczyć nie wolno. W razie pilnej potrzeby obniżenia poziomu lustra wody, maksymalny zrzut może osiągnąć 200 m^3/s, co spowoduje powstanie rozlewiska rzeki Brdy w Bydgoszczy o szerokości od 200 do 250 m zatapiając znaczne obszary miasta, w tym m.in. ujęcie wody „Czyżkówko". W przypadku awarii zapory, katastrofalna fala powodziowa dotrze do centrum miasta po około 4 godzinach powodując zatopienie terenu miasta o szerokości od 700 do 1500 m i powierzchni 3600 ha, na której mieszka około 100 tys. ludzi. Zniszczone zostaną wszystkie przeprawy przez rzekę i urządzenia hydrotechniczne, a także kilkaset zakładów pracy.

Podsumowując powyższe analizy, zagrożenie i ryzyko powodziowe od strony rzek występujące na obszarze Miasta Bydgoszcz należy ocenić jako wysokie, choć w stanie aktualnym - kontrolowane. Aby ograniczyć możliwość

wystąpienia powodzi i jej konsekwencji niezbędne jest utrzymywanie urządzeń hydrotechnicznych w dobrym stanie oraz prowadzenie stałego monitoringu na rzekach. Postępujące zmiany klimatu oraz zwiększenie intensywności zagospodarowania przestrzennego mogą w przyszłości prowadzić do najbardziej niekorzystnego scenariusza. Istnieje również możliwość łącznego oddziaływania i wzajemnego potęgowania się problemów związanych z jednoczesnym wezbraniem w ciekach powierzchniowych oraz wystąpieniem deszczy nawalnych.

Osuwiska

Trzy główne czynniki, które w warunkach polskich przyczyniają się do występowania osuwisk to budowa geologiczna i rzeźba terenu, intensywne lub długotrwałe opady deszczu, a także działalność człowieka. Podstawowymi źródłami informacji na temat osuwisk zidentyfikowanych na obszarze miasta Bydgoszczy była „Mapa zagrożenia ruchami masowymi" wykonana w 2006. Aktualnie trwają prace Państwowego Instytutu Geologicznego PIB Warszawa nad opracowaniem „Atlasu geologiczno-inżynierskiego aglomeracji Bydgoszcz dla gminy miejskiej Bydgoszcz" (w tym również dla gmin ościennych).
Charakterystyczną cechą rzeźby terenu, wynikającą z geograficznego położenia Bydgoszczy, jest występowanie systemu rozległych, równinnych poziomów tarasowych niskich i średnich, a także tarasu wysokiego (w południowej części). W granicach miasta Bydgoszczy występują obszary wysoczyznowe oraz strefy krawędziowe pradolin i dolin rzecznych. Konsekwencją takiego ukształtowania terenu jest możliwość występowania ruchów masowych ziemi w granicach miasta. Do najbardziej narażonych obszarów w Bydgoszczy, ze względu na wysokość, rozległość i nachylenie zboczy, należą:

- krawędź wysoczyzny polodowcowej zwanej Skarpą Północną, tj. rejon Myślęcinka, Zamczyska i Fordonu;
- krawędź terasy IX górnej (najwyższej) rzeki Brdy zwanej Skarpą Południową, tj. rejon Miedzynia, Jarów, Szwederowa, Wzgórza Wolności, Wyżyn, Kapuścisk, Czerska Polskiego i Łęgnowa;
- krawędzie obszarów sandrowych (XI terasa sandru Brdy), tj. rejon Osowej Góry, Opławca, Smukały i Piasków.

Jak wynika z analizy warstw z zagrożeniami ruchami masowymi ziemi, na osuwiska w Bydgoszczy narażone jest w sumie 830,67 ha terenów (tj. 4,7% całkowitej powierzchni miasta). Przy czym większość terenów (64%) stanowią obszary o średnim zagrożeniu ruchami masowymi. Wysoki i niski stopień zagrożenia dotyczy odpowiednio 13% i 24% powierzchni zidentyfikowanych obszarów zagrożonych.
Na obszarach o wysokim stopniu zagrożenia ruchami masowymi (współczynnik stateczności $F<1,3$) istnieje wysokie prawdopodobieństwo powstania osuwiska. Na terenach tych w przeszłości rejestrowano ruchy masowe (osuwisko na skarpie w Łęgnowie w latach 1987-1990). Z tego też względu obszary te powinny zostać wyłączone z zabudowy. Przeanalizowano, iż w granicach strefy o wysokim stopniu zagrożenia ruchami masowymi znajduje się 60 budynków, w tym 40 budynków mieszkalnych jednorodzinnych i 16 budynków gospodarczych. Pozostałe obiekty to budynek biurowy, handlowo-usługowy, magazyn oraz budynek przepompowni.
Na obszarach o średnim stopniu zagrożenia ruchami masowymi (współczynnik stateczności $1,3<F<1,5$) istnieje małe prawdopodobieństwo powstania osuwiska, jednakże tereny te powinny podlegać znacznym ograniczeniom w zabudowie, ponieważ nieprzemyślana działalność człowieka, jak np. realizacja obiektów w koronie bez stosownych zabezpieczeń, stwarza zagrożenie dla stateczności zboczy. Średni stopień zagrożenia ruchami masowymi dotyczy większości obszarów na Skarpie Północnej i Południowej. Przeanalizowano, iż na terenach tych znajduje się 406 budynków, wśród których 228 obiektów to budynki mieszkalne jednorodzinne, 43 budynki mieszkalne wielorodzinne oraz 117 budynków gospodarczych. Wśród pozostałych obiektów znajdują się budynki turystyczne, biurowe, domy handlowe, garaże oraz budynki przepompowni i zakładu karnego.
Na obszarach o niskim stopniu zagrożenia ruchami masowymi (współczynnik stateczności $F>1,3$) bardzo mało prawdopodobne jest powstanie ruchów masowych w dużej skali. W związku z tym,

w Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego miasta Bydgoszczy, wskazano, iż możliwa jest przynajmniej częściowa ich zabudowa, pod warunkiem nie pogorszenia stateczności zboczy. Przeanalizowano, że na terenach tych znajduje się 218 budynków, z czego 113 obiektów to budynki mieszkalne.
Podsumowując powyższe analizy należy stwierdzić, iż zjawisko osuwisk, ze względu na zabudowę mieszkaniową zlokalizowaną w strefach o wysokim i średnim stopniu zagrożenia, jest ważnym w aspekcie zmieniającego się klimatu. Ruchy masowe na zboczach mogą nasilać się w przyszłości w wyniku ekstremalnych zjawisk pogodowych (np. ulewnych deszczy) i powodować straty.

10. Zanieczyszczenia powietrza

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

Podstawę przeprowadzonych analiz stanowiły wyniki pomiarów jakości powietrza prowadzone w latach 2006-2015 w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska (PMŚ), udostępniane na stronie internetowej Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska (GIOŚ).

Analizy przeprowadzone dla wybranych wskaźników pyłu PM10 wykazały, że w całym analizowanym okresie wartości maksymalnych stężeń średnich dobowych znacznie przekraczały poziomy dopuszczalne określone w obowiązujących przepisach prawnych. 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 1 roku w analizowanym okresie 10 lat (przy uwzględnieniu faktu, że ocenie podlegają tylko serie pomiarowe o wymaganej min. 75% kompletności). 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 kolejnych latach. Przebieg linii trendu został wyznaczony w oparciu o wyniki z 6 lat, kiedy kompletność serii pomiarowych w danym roku była wyższa od 75%. Istotny wpływ na wartości analizowanych wskaźników określonych dla pyłu PM10 posiadały długość sezonu zimowego, liczba 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 jedynie w 2010 roku wartość stężenia średniorocznego przekraczała poziom dopuszczalny określony w obowiązujących przepisach prawnych. 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, przy czym bardzo istotny wpływ na przebieg linii trendu w przypadku stężeń średniorocznych miała wysoka wartość stężenia stwierdzona w 2010 roku, stanowiącym początek okresu analiz, znacząco wyższa od wartości stężeń średniorocznych stwierdzanych w kolejnych latach; przebieg linii trendu został wyznaczony w oparciu o wyniki z 3 lat, kiedy kompletność serii pomiarowych w danym roku była wyższa od 75%. Podobnie jak w przypadku pyłu PM10, istotny wpływ na wartości analizowanych wskaźników określonych dla pyłu PM2,5 posiadały długość sezonu zimowego, liczba dni 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 PM2,5.

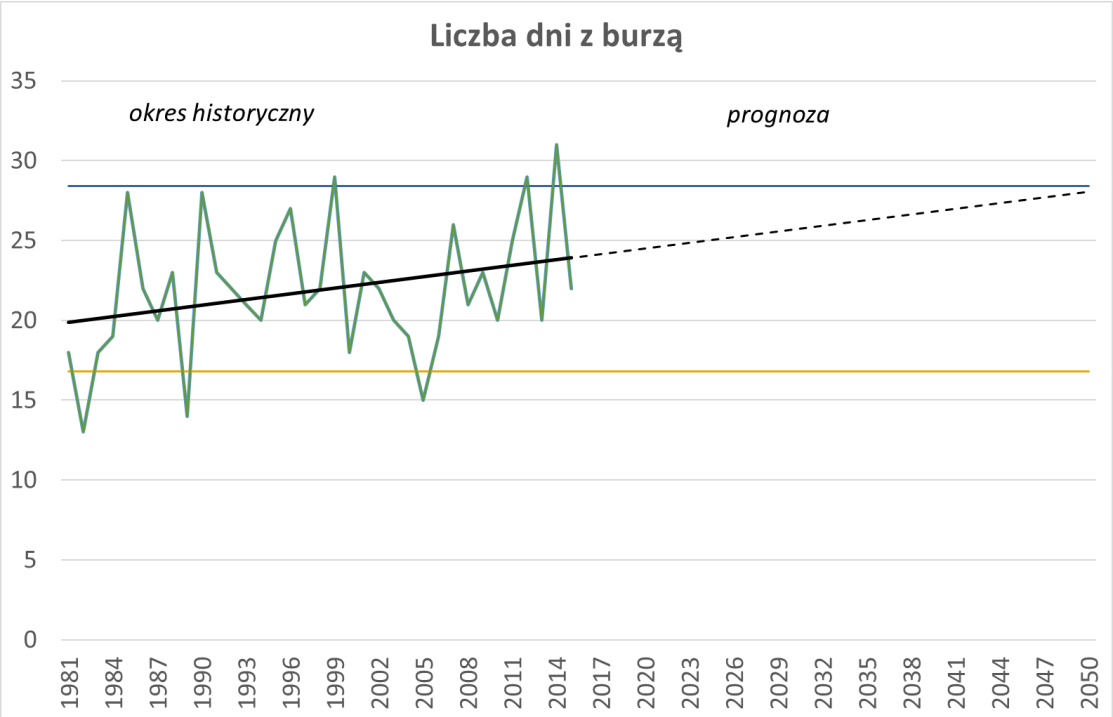
Analizy przeprowadzone dla wybranych wskaźników ozonu troposferycznego wykazały, że przekroczenia maksymalnej 8-godzinnej średniej kroczącej >120 µg/m^3 określone z uwagi na ochronę zdrowia ludzi w żadnym z lat objętych analizą nie były częstsze od dopuszczalnego poziomu 25 dni w roku kalendarzowym. Wartość wskaźnika AOT40 określonego z uwagi na ochronę roślin dla sezonu wegetacyjnego również w przypadku żadnego z lat objętych analizą nie przekraczała wartości normatywnej określonej w obowiązujących przepisach prawnych. Tym samym problem występowania podwyższonych stężeń ozonu troposferycznego na terenie miasta Bydgoszczy jest mało istotny. Trend zmian wskaźnika określonego z uwagi na ochronę zdrowia ludzi wykazuje niewielką tendencję rosnącą, natomiast w przypadku wskaźnika AOT40 stwierdzono niewielką tendencję spadkową. Równocześnie scenariusze klimatyczne do roku 2030 (wg klimada.mos.gov.pl) wskazują na możliwość wzrostu w kolejnych latach maksymalnej temperatury powietrza, co może skutkować dalszym 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 Bydgoszczy występuje istotne zagrożenie powstawaniem smogu zimowego, związanego z maksymalnymi stężeniami średnimi dobowymi pyłu PM10 przekraczającymi poziom 75 µg/m^3. Liczba dni z przekroczeniami ww. poziomu granicznego w ostatnich 10 latach kształtowała się w granicach od 2 do 3 tygodni. Wyjątek stanowił rok 2006, charakteryzujący się wyjątkowo długim i mroźnym sezonem grzewczym, w którym liczba dni z występowaniem epizodów wysokich stężeń pyłu PM10 sięgała blisko 2 miesięcy w ciągu roku. Linia trendu wskazuje na spadek ilości dni w ciągu roku z przekroczeniem wartości granicznej dla stwierdzania występowania epizodów wysokich stężeń pyłu PM10, przy czym bardzo istotny wpływ na jej przebieg posiada znacząco większa liczba dni z przekroczeniami w roku 2006 (stanowiącego początek okresu objętego analizą) w porównaniu do kolejnych lat objętych przeprowadzoną analizą.

Poziomy stężeń ozonu troposferycznego na terenie miasta Bydgoszczy nie przekraczały poziomów kryterialnych określonych w obowiązujących przepisach prawnych, zatem uznano, że smog letni obecnie nie stanowi istotnego zagrożenia.

11. Burze i wiatr

Średnia roczna liczba dni z burzą w Bydgoszczy wynosi 22 dni. Najbardziej burzowy był rok 2014 – 31 dni z burzą, najmniej przypadków wystąpienia tego zjawiska (13) zanotowano w roku 1982. Burze mogą występować przez cały rok, jednak od grudnia do marca zjawisko jest incydentalne. Burze występują przede wszystkim od maja do sierpnia (średnio powyżej 3 dni), z maksimum w czerwcu i lipcu (średnio 5-6 dni). Analizy historyczne wykazały istotny wzrost statystyczny zmian w częstotliwości występowania burz w Bydgoszczy (rysunek 19). Prognozowane zmiany klimatu wskazują, że intensywność lub częstość występowania zjawiska może stać się krytyczna w analizowanej perspektywie. Zgodnie z poniższym wykresem odnotowano trend rosnący liczby dni z burzą i towarzyszącym jej silnym wiatrem do około 28 w roku w perspektywie 2050.Na podstawie trendu liniowego prognozuje się wzrost liczby dni ze burzą do 2050 roku.



Rysunek 19 Liczba dni z burzą
W okresie historycznym (zielona linia) oraz w okresie prognozowanym do 2050 roku

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. Kossutha 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.
Aleje Jerozolimskie 142B
02-305 Warszawa
tel.: 22 203 20 00
faks: 22 203 20 01
e-mail: mpa@arcadis.com
www.arcadis.com