Załącznik 2

Opis głównych zagrożeń klimatycznych i ich pochodnych dla miasta Wałbrzycha

Załącznik 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) – Scenariusze koncentracji gazów cieplarnianych (RCP2.6; RCP4.5; RCP6.0 oraz RCP8.5), opisują potencjalne warunki klimatyczne w przyszłości zależne od ilości wyemitowanych gazów cieplarnianych. Nazwy są związane z wartościami wymuszenia radiacyjnego w roku 2100 względem okresu preindustrialnego (odpowiednio: +2.5 W/m^2, +4.5 W/m^2, +6.0 W/m^2, +8.5 W/m^2). Scenariusze RCP obejmują: jeden scenariusz mitygacji, o niskim poziomie wymuszenia (RCP2.6), dwa scenariusze stabilizacji (RCP4.5 i RCP6) oraz scenariusz zakładający bardzo wysoki poziom emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5).

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. Główne zagrożenia klimatyczne i ich pochodne

Jedną podstawowych cech warunków klimatycznych jest ich zmienność. Mogą one ulegać wahaniom w krótkich odstępach czasowych, a także wykazywać zmienność w okresie wieloletnim. Tendencje zmian wartości poszczególnych elementów meteorologicznych oraz częstości występowania zjawisk są źródłem informacji na temat kierunku i natężenia zmian, wskazują tym samym potencjalny kierunek w jakim elementy i zjawiska meteorologiczne mogą ulegać modyfikacji w przyszłości.

Oprócz kierunku i natężenia trendów zmian obserwowanych w okresie wieloletnim 1981-2015, ważną informację na temat możliwych przyszłych zmian uwzględnionych w opracowaniu elementów i zjawisk są projekcje zmian klimatu. Zostały one opracowane w oparciu o modele zmian klimatu nowej generacji, które w kwestii oceny przyszłych zmian klimatu wykorzystują różne scenariusze koncentracji gazów cieplarnianych. W ten sposób możliwa jest analiza porównawcza trendów określonych w oparciu o dane pomiarowo-obserwacyjne z wartościami wygenerowanymi na podstawie scenariuszy zmian klimatu. W niniejszym opracowaniu zarówno trendy zmian jak i potencjalne zmiany klimatu określone w oparciu o ich scenariusze były podstawą dla oceny prawdopodobieństwa uwzględnionych w analizie zjawisk klimatycznych.

Wałbrzych położony jest w strefie klimatu umiarkowanego przejściowego, a jego klimat jest ściśle związany z klimatem Europy i Polski. Odznacza się on znaczną zmiennością warunków pogodowych, wynikającą z napływu mas powietrza o różnych właściwościach termiczno-wilgotnościowych. Podobnie jak w przypadku całego obszaru Polski, w regionie Wałbrzycha w ciągu roku przeważają adwekcje mas powietrza polarno-morskiego z sektora zachodniego. Wałbrzych położony jest w strefie

granicznej między Przedgórzem Sudeckim a Sudetami, według klasyfikacji klimatycznej Sudetów A. Schmucka (1969) leży w granicach Regionu Wałbrzyskiego. Z tego względu charakteryzuje się on nieco niższą temperaturą powietrza i większymi sumami opadów atmosferycznymi w porównaniu do nizinnej części Dolnego Śląska.

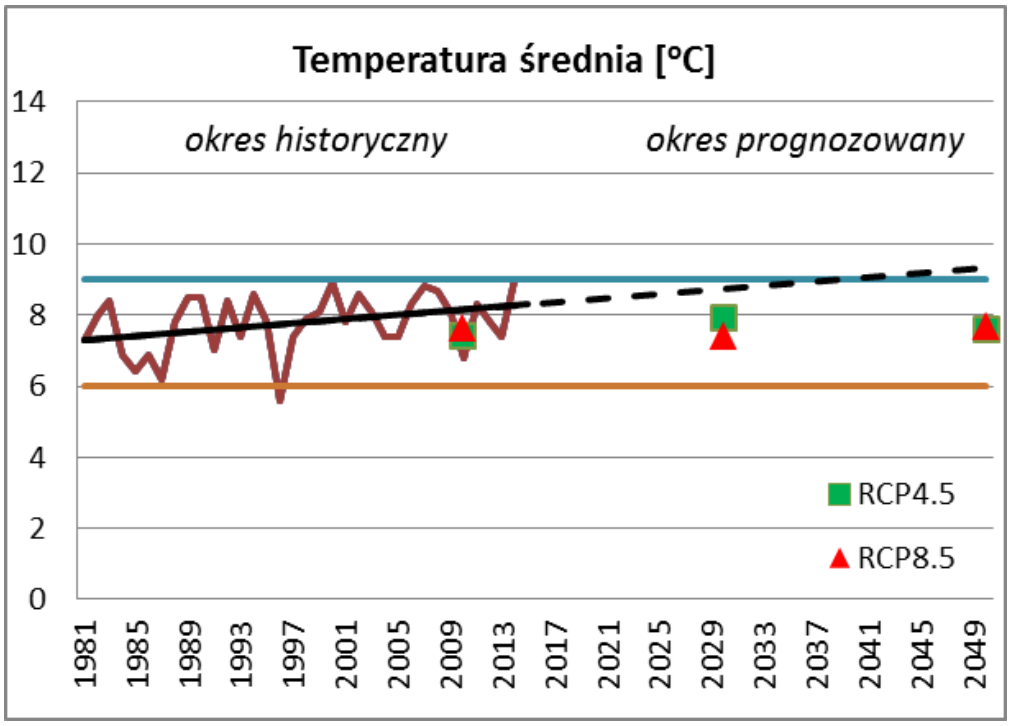
Podobnie jak inne obszary zurbanizowane, Wałbrzych charakteryzuje się występowaniem lokalnej modyfikacji klimatu, spowodowanej przez zmianę właściwości fizycznych powierzchni czynnej, związanej ze sposobem zagospodarowania i użytkowania terenów miejskich. Zwiększenie areału powierzchni sztucznych kosztem naturalnych znajduje odzwierciedlenie w zmianie bilansu promieniowania i bilansu cieplnego, a także bilansu wodnego. W konsekwencji obserwowana jest modyfikacja wartości temperatury powierza, sum opadów atmosferycznych, zachmurzenia oraz przepływu powietrza pomiędzy miastem a obszarem pozamiejskim.

Podstawą opracowania były dane pomiarowo-obserwacyjne ze stacji meteorologicznej IMGW-PIB w Szczawnie-Zdroju z okresu 1981-2015. Stacja położona jest na ul. Spacerowej (50˚48'24"N; 16˚14'28"E) na wysokości 430 m n.p.m. Pomiary meteorologiczne na terenie stacji są prowadzone od 7 lutego 1948 r., natomiast od 1 stycznia 2006 r. funkcjonuje również stacja automatyczna.

Przyszłe warunki klimatyczne dla regionu Wałbrzycha określono na podstawie scenariuszy koncentracji gazów cieplarnianych RCP4.5 oraz RCP8.5. Oszacowania są oparte na wiązce symulacji z regionalnych modeli klimatycznych dla różnych warunków brzegowych i początkowych z modeli globalnych, wyniki symulacji klimatycznych pochodzą z bazy projektu EURO-CORDEX. Wartości określają średnie warunki dla trzech dekad: 2006-2015, 2026-2035 oraz 2046-2055, oznaczone jako 2010, 2030 i 2050.

2.1. Zagrożenia termiczne

Jedną z najważniejszych cech zmian klimatu w latach 1981-2015 jest wyraźny, istotny statystycznie trend rosnący temperatury powietrza. Dotyczy on zarówno temperatury średniej jak i wartości temperatury maksymalnej i minimalnej, a także percentyla 98 temperatury maksymalnej. W przypadku średniej rocznej temperatury jej średnia wartość dla okresu wieloletniego wyniosła 7,8^{o}C (rys. 1). Tempo wzrostu w latach 1981-2015 wyniosło ok. 0,2^{o}C/10 lat, zatem przyjmując że trend ten będzie w przyszłości nadal się utrzymywał, średnia wartość temperatury może w 2050 r. dodatkowo wzrosnąć o ponad 0,8^{o}C. Jest to szczególnie istotne w kontekście potencjalnego wzrostu intensywności i częstości występowania sytuacji pogodowych odznaczających się stresem gorąca, które często charakteryzują się negatywnym wpływem na uwzględnione sektory i komponenty miasta. W świetle scenariuszy zmian klimatu średnia temperatura powietrza w Wałbrzychu w2015 r. może wzrosnąć o 0,9-1,2^{o}C.

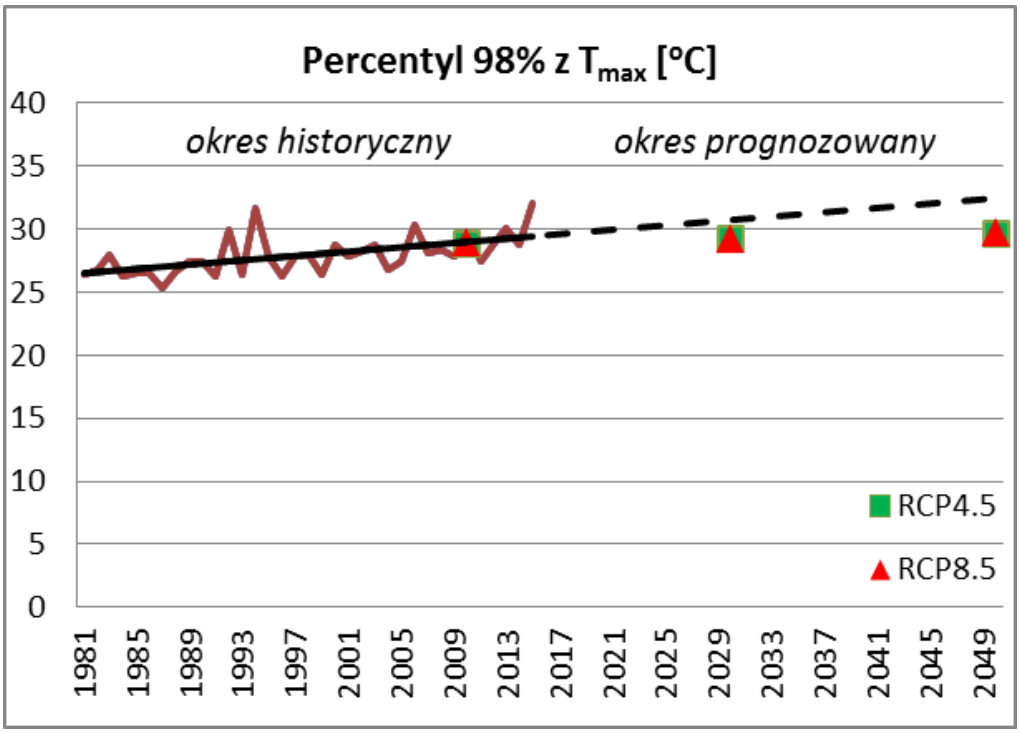


Rys. 1. Przebieg średnich rocznych wartości i trend zmian temperatury powietrza w latach 1981-2015 oraz prognozowane wartości do 2050 r. wg scenariuszy zmian klimatu RCP4.5 i RCP8.5

TEMPERATRA MAKSYMALNA

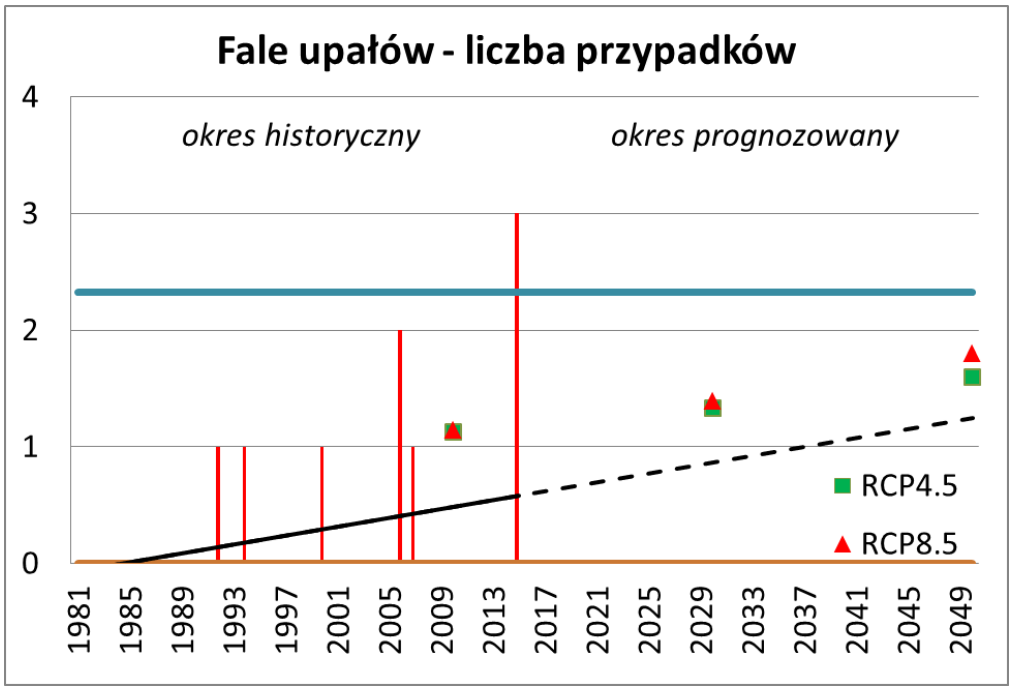
Podstawowym wskaźnikiem informującym o ekstremalnych, gorących sytuacjach pogodowych jest temperatura maksymalna. W latach 1981-2015 jej wzrost był jeszcze intensywniejszy niż w przypadku temperatury średniej i wyniósł ponad 0,5°C/10 lat. W ten sposób, przy utrzymaniu się dotychczasowego trendu, średnia wielkość temperatury maksymalnej w 2050 r. wzrosłaby o niemal 2°C. Oprócz temperatury maksymalnej wyraźnym trendem rosnącym odznacza się również jej percentyl 98, będący wielkością powyżej której mieści się 2% obserwowanych wartości temperatury maksymalnej. W tym przypadku wzrost ten jest jeszcze wyraźniejszy i wynosi ponad 0,8°C/10 lat. W kontekście przyszłych zmian omawianego wskaźnika prognozowany jest jego dalszy wzrost w horyzoncie czasowym do 2030 i 2050 r (rys 2).

Rosnąca tendencja temperatury maksymalnej powietrza znajdują również odzwierciedlenie w przebiegu i trendach wskaźników i zjawisk związanych z oddziaływaniem stresu gorąca. Należą do nich np. liczba fal upałów oraz liczba dni upalnych (T_{max} >30°C). W przypadku pierwszego ze wspomnianych wskaźników fale upałów występują w sytuacji, kiedy co najmniej trzy kolejne dni odznaczają się temperaturą maksymalną przekraczającą 30°C. Pomimo tego, że w Wałbrzychu ich częstość występowania nie jest duża (9 przypadków w latach 1981-2015), to najwięcej ich przypadków odnotowano w ostatniej dekadzie rozpatrywanego okresu (2 przypadki w 2006 r. oraz 3 przypadki w 2015 r.) przy ich całkowitym braku w pierwszych 10 latach. Tendencja rosnąca fal upałów została również stwierdzona w ramach projekcji zmian klimatu do 2050 r., zarówno wg scenariusza RCP4.5, jak i RCP8.5 (rys3).

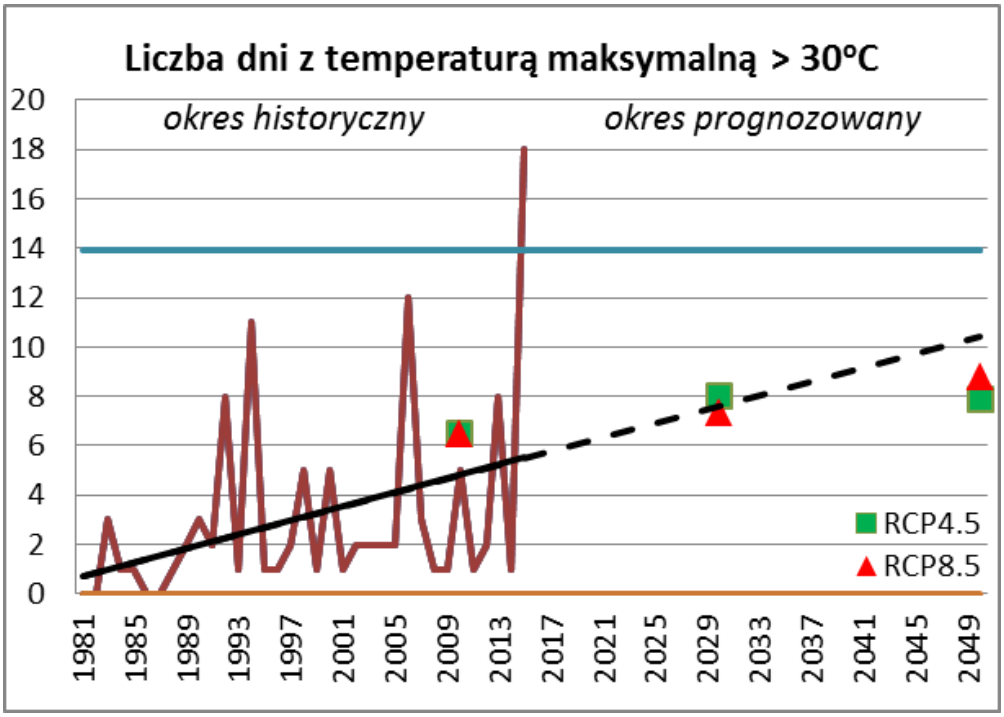


Rys. 2. Przebieg średnich rocznych wartości i trend zmian percentyla 98 temperatury maksymalnej w latach 1981-2015 oraz prognozowane wartości do 2050 r. wg scenariuszy zmian klimatu RCP4.5 i RCP8.5

W porównaniu do tendencji zmian temperatury średniej i maksymalnej jeszcze większym wzrostem w okresie 1981-2015 odznacza się wskaźnik dni upalnych, przedstawiający częstość występowania dni z temperaturą maksymalną powietrza przekraczającą 30^{o}C (rys. 4). Średnia liczba dni upalnych w roku w Wałbrzychu w latach 1981-2015 zwiększyła się średnio o ok. 5, co odpowiada wzrostowi ok. 1 dnia/7 lat. Podobnie jak w przypadku fal upałów, do takiej intensywności trendu przyczyniła się niewątpliwie znaczna liczba dni upalnych w latach 2006 (12) oraz przede wszystkim 2015 r. (18). Uwzględniając tendencję zmian omawianego wskaźnika w latach 1981-2015 można stwierdzić, że przy dotychczasowym tempie zwiększania się częstości występowania tego rodzaju sytuacji pogodowych ich frekwencja w 2050 r. może wzrosnąć dodatkowo o 4-5 dni. Trend wzrostowy jest również prognozowany w kontekście scenariuszy zmian klimatu, przy czym scenariusz RCP8.5, będący bardziej „pesymistycznym", sugeruje ciągły wzrost do 2050 r. (nawet o ponad 2 dni), natomiast wg scenariusza RCP4.5 liczba dni upalnych do 2030 r. wzrośnie, a następnie będzie utrzymywała się na stałym poziomie lub lekko zmaleje.



Rys. 3. Przebieg i trend zmian liczby fal upałów w latach 1981-2015 oraz prognozowane wartości do 2050 r. wg scenariuszy zmian klimatu RCP4.5 i RCP8.5



Rys. 4. Przebieg i trend zmian częstości występowania dni upalnych (T_{max} >30°C) w latach 1981-2015 oraz prognozowane wartości do 2050 r. wg scenariuszy zmian klimatu RCP4.5 i RCP8.5

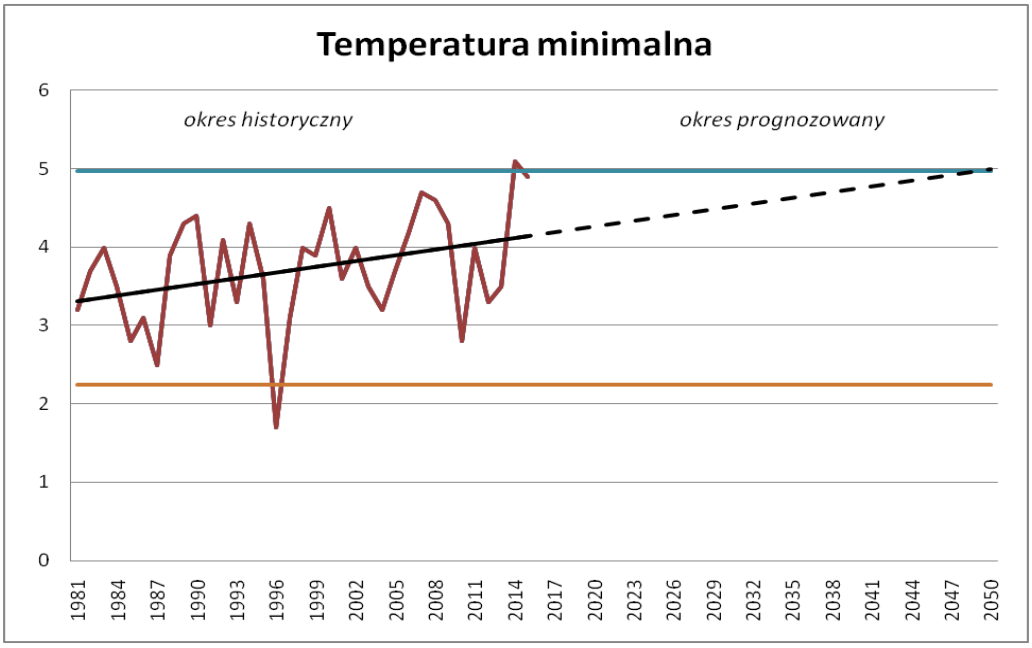
Z upalną pogodą związany jest również wskaźnik stopniodni CDD>27, będący sumą odchyleń wartości temperatury powietrza od wartości 27^{o}C dla poszczególnych terminów obserwacyjnych. Podobnie jak w przypadku dni upalnych, odznacza się on tendencją wzrostową, istotną statystycznie. W latach 1981-2015 liczba stopniodni zwiększyła się o ok. 7, co odpowiada wzrostowi o wielkości ponad 2 stopniodni/10 lat. Analogicznie do fal upałów oraz dni upalnych największe wartości wskaźnika stwierdzono w czasie upalnych okresów w latach 2006 i 2015, a także w lecie 1994 r. Można przypuszczać, że jeśli dotychczasowy trend nie ulegnie zmianie to średnia roczna liczba stopniodni w 2050 r. zwiększy się o kolejne 7-8. Tendencja wzrostowa, choć odznaczająca się mniejszym natężeniem, jest również obserwowana w kontekście scenariuszy zmian klimatu.

Przedstawione analizy dotyczące trendów zmian wskaźników opisujących warunki pogodowe odznaczające się stresem gorąca pokazują, że odznaczają się one wyraźnymi trendami rosnącymi, istotnymi statystycznie, przy równoczesnym prognozowanym dalszym wzroście w kolejnych latach. Uwzględniając również fakt dalszej rozbudowy miasta, a także przedstawione wyżej tendencje wzrostu sytuacji pogodowych ze stresem gorąca można stwierdzić, że istotnym zagrożeniem termicznym na terenie Wałbrzycha będzie również zjawisko miejskiej wyspy ciepła. Obecnie może być ona obserwowana w centrum miasta oraz na obszarze dwóch dzielnic (Piaskowa Góra, Podzamek) zlokalizowanych w północnej części miasta. Na podstawie przeprowadzonych analiz ocenia się, że w czasie sytuacji pogodowych sprzyjających występowaniu miejskiej wyspy ciepła średnia dobowa temperatura wymienionych wyżej obszarów może być nieco ponad 1^{o}C wyższa w stosunku do terenów otwartych. Średnie różnice pod względem temperatury minimalnej powietrza mogą osiągać jeszcze większe wartości i zawierają się w przedziale 0,8-1,6^{o}C, przy czym najmniejsze różnice są obserwowane w przypadku zabudowy luźnej.

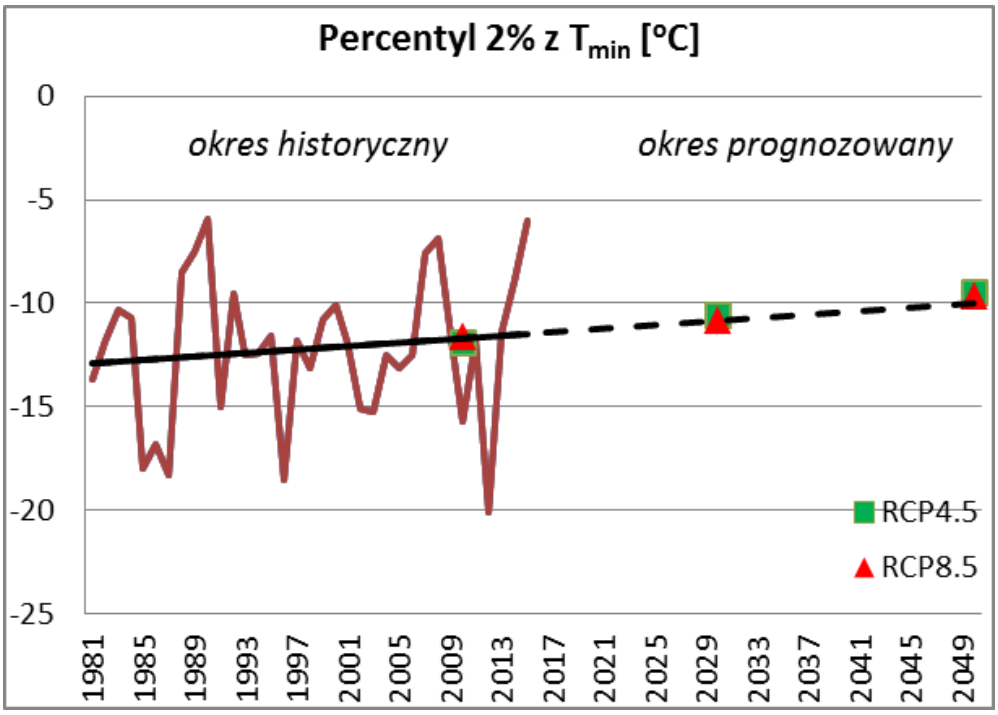
TEMPERATURA MINIMALNA

Rosnący trend temperatury powietrza jest obserwowany również w przypadku temperatury minimalnej oraz wskaźników definiujących typy pogody związane ze stresem chłodu. W większości przypadków są dla nich obserwowane trendy sugerujące złagodzenie warunków termicznych.

Przebieg średnich rocznych wartości temperatury minimalnej powietrza w latach 1981-2015 odznacza się wyraźnym trendem rosnącym, istotnym statystycznie (rys. 5). W omawianym okresie średnia wartość temperatury minimalnej zwiększyła się o ponad 0,8^{o}C, co odpowiada wzrostowi ponad 0,2^{o}C/10 lat. Dla uwzględnionego w opracowaniu okresu wieloletniego średnia roczna wartość temperatury minimalnej wyniosła 3,7^{o}C, jednakże przy utrzymaniu dotychczasowego trendu może w 2050 r. osiągnąć nawet 5^{o}C. Trend rosnący, choć bez istotności statystycznej, jest notowany również dla percentyla 2 temperatury minimalnej, który jest wartością poniżej której lokuje się 2% stwierdzonych wartości temperatury minimalnej. Wartość ta, obliczona na podstawie danych pomiarowych, wyniosła -12,2^{o}C i przy podobnym wzroście w kolejnych latach może w 2050 r. osiągnąć wartość niemal 2,2^{o}C wyższą. Podobny wzrost jest prognozowany w oparciu o projekcje klimatyczne scenariuszy RCP4.5 i RCP8.5. Zgodnie z prognozami wartość percentyla 2 w 2050 r. może osiągnąć -9,5^{o}C (RCP4.5) lub -9,6^{o}C (RCP8.5)(rys. 6). Uwzględniając fakt dość znacznego, istotnego statystycznie wzrostu temperatury minimalnej, można przypuszczać, że w najbliższym czasie wpływ wyraźnego wzrostu wartości tego wskaźnika na sektory i komponenty miasta może być dość znaczący.



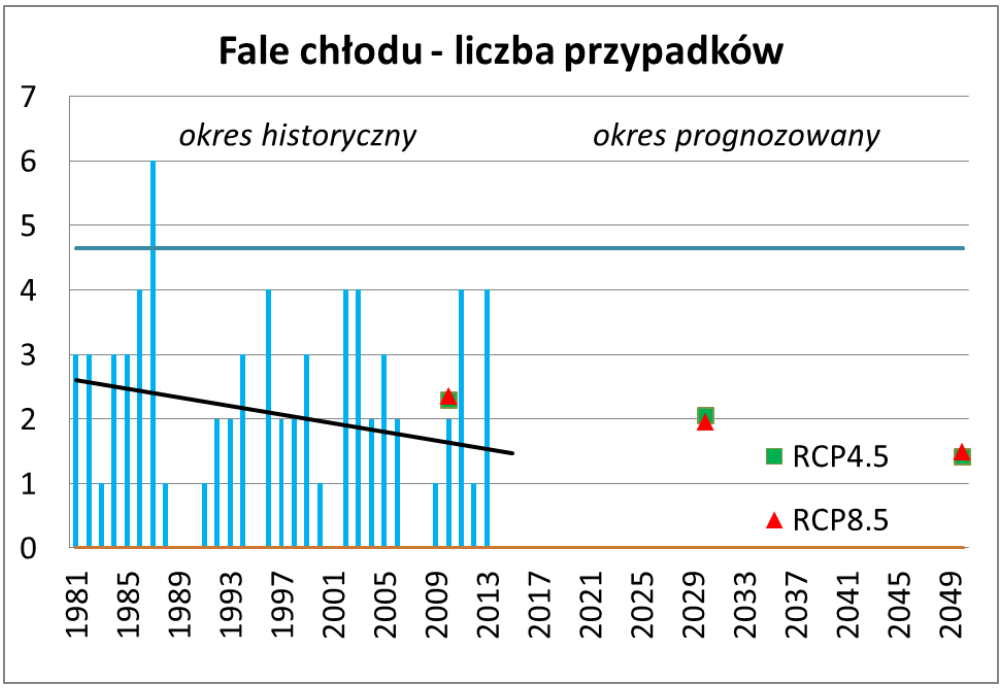
Rys. 5. Przebieg średnich rocznych wartości i trend zmian temperatury minimalnej powietrza w latach 1981-2015 oraz prognozowane wartości do 2050 r. wg scenariuszy zmian klimatu RCP4.5 i RCP8.5



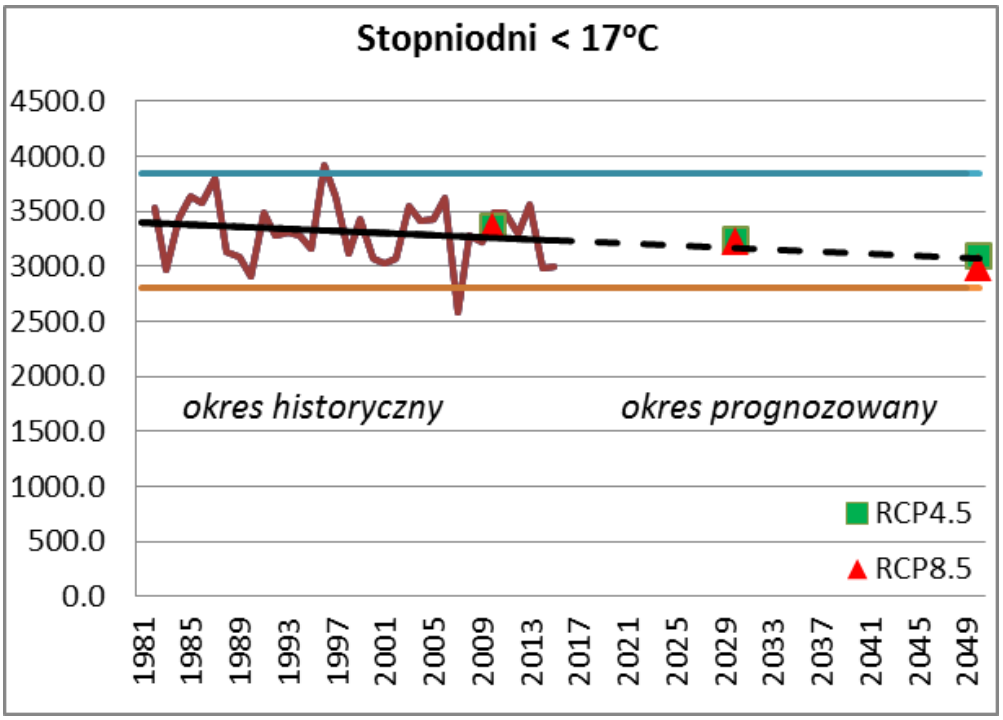
Rys. 6. Przebieg średnich rocznych wartości i trend zmian percentyla 2 temperatury minimalnej w latach 1981-2015 oraz prognozowane wartości do 2050 r. wg scenariuszy zmian klimatu RCP4.5 i RCP8.5

Wzrost wartości temperatury minimalnej powietrza powoduje również spadek częstości występowania sytuacji pogodowych związanych ze stresem zimna. Jednym ze wskaźników opisujących tego rodzaju stan pogody są fale chłodu. Wskaźnik ten uwzględnia sytuacje, w których przez co najmniej trzy kolejne dni temperatura minimalna powietrza przyjmuje wartości nie osiągające -10°C. W ciągu roku na terenie Wałbrzycha obserwowane są średnio dwie takie fale, najwięcej przypadków zanotowano w roku 1987. Występują one znacznie częściej niż np. fale gorąca, jednakże ich liczba cechuje się trendem malejącym, bez istotności statystycznej (rys. 7). Tendencję spadkową wykazują również projekcje klimatyczne opracowane w oparciu o scenariusze zmian klimatu. Zarówno scenariusz RCP4.5, jak i RCP8.5 zakłada wyraźny dalszy spadek częstości występowania tego typu sytuacji pogodowych w kolejnych dekadach. Oprócz fal chłodu trendem malejącym (bez istotności statystycznej) w latach 1981-2015 cechują się również wskaźniki dotyczące dni mroźnych (T_{max} <0°C) oraz przymrozkowych (T_{min} <0°C).

Wskaźnikiem, który w znacznym stopniu jest uzależniony od wielkości temperatury minimalnej i fal chłodu jest wskaźnik stopniodni HDD<17 będący sumą odchyleń średniej temperatury dobowej od założonej wartości progowej tj. 17°C. Charakteryzuje się on nieznaczną tendencją spadkową, nie stwierdzono jednak istotności statystycznej. Brak istotności statystycznej odnotowano również dla przebiegu liczby dni grzewczych w poszczególnych sezonach. Obecnie liczba dni grzewczych może wahać się w zakresie od 221 do 242. W ramach scenariuszy zmian klimatu dla kolejnych lat prognozowany jest nieznaczny spadek liczby stopniodni, o natężeniu porównywalnym z obserwowanym trendem dla lat 1981-2015 (rys. 8).



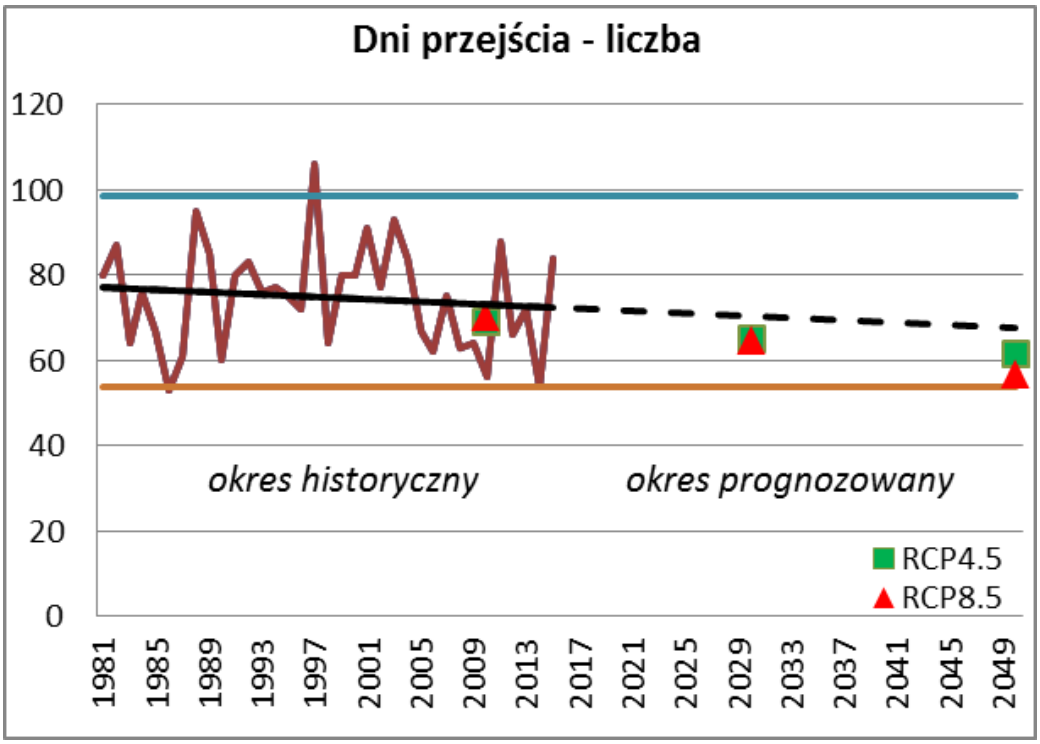
Rys. 7. Przebieg częstości występowania fal chłodu w latach 1981-2015 oraz prognozowane wartości do 2050 r. wg scenariuszy zmian klimatu RCP4.5 i RCP8.5



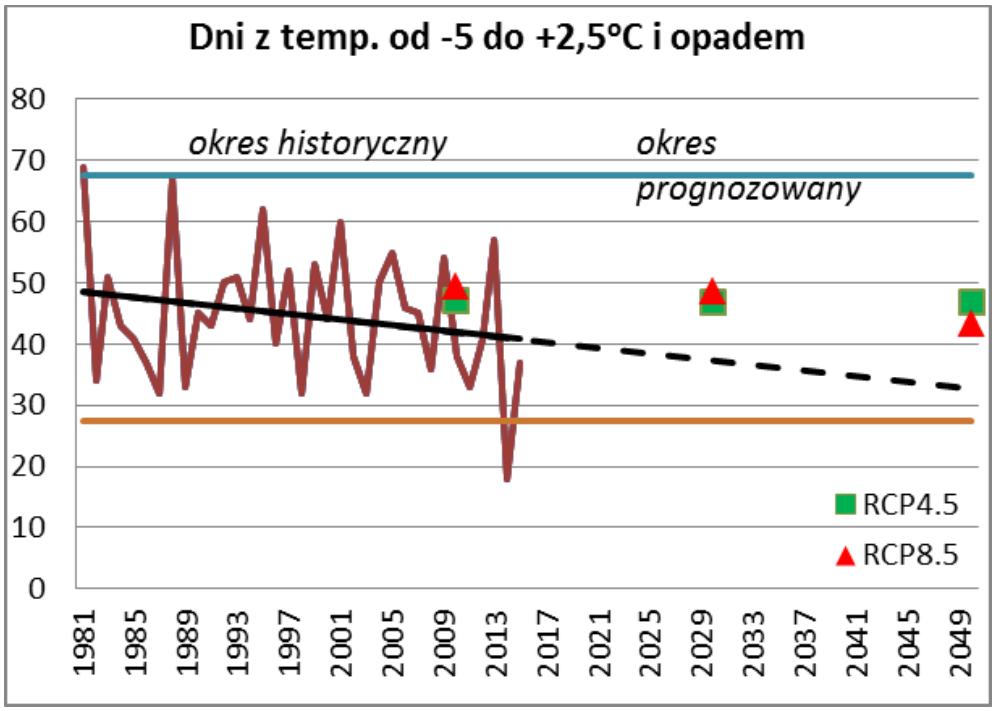
Rys. 8. Przebieg liczby stopniodni (HDD<17) w latach 1981-2015 oraz prognozowane wartości do 2050 r. wg scenariuszy zmian klimatu RCP4.5 i RCP8.5

PRZEJŚCIE TEMPERATURY POWIETRZA PRZEZ WARTOŚĆ 0°C

Podobnie jak w przypadku wskaźników dotyczących typów pogody związanych z występowaniem mrozów, tendencja spadkowa jest również obserwowana dla liczby dni z przejściem temperatury powietrza przez wartość 0°C, a także dni z temperaturą powietrza z zakresu od -5 do 2,5°C i opadem (rys. 9-10). Przebieg liczby dni z temperaturą przejściową cechuje się nieznacznym trendem malejącym, nieistotnym statystycznie. Tempo zmian w okresie omawianego wielolecia wyniosło nieco ponad 1 dzień/10 lat. Prognozowana częstość występowania tego rodzaju dni do 2050 r. jest nieznacznie niższa w porównaniu do określanej przez dotychczasowy trend. Dla lat 2030 i 2050 wg scenariuszy RCP4.5 i RCP8.5 przewidywany jest spadek do poziomu 65 i 61 dni (RCP4.5) oraz 65 i 57 dni (RCP8.5). W kontekście oddziaływania na niektóre sektory i komponenty miasta istotnym wskaźnikiem jest liczba dni z temperaturą oscylującą wokół 0°C (od 5 do 2,5°C) oraz opadem atmosferycznym. W jego przypadku trend odznacza się trendem malejącym, wyraźniejszym niż w przypadku dni z przejściem temperatury powietrza przez wartość 0°C, jednakże bez istotności statystycznej. Obecnie notowanych jest średnio 45 takich dni, a ich częstość występowania w latach 1971-2015 zmniejszyła się o niemal 8 dni. Przy zachowaniu trendu o tym natężeniu w latach 2030 i 2050 frekwencja tego rodzaju dni zmniejszy się o kolejnych kilka przypadków. Znacznie bardziej umiarkowane prognozy są obserwowane dla scenariuszy zmian klimatu. W przypadku 2030 r. scenariusz RCP4.5 zakłada spadek częstości do niespełna 47 dni, a RCP8.5 do 49 dni. Dla roku 2050 prognozowana częstość dla omawianego wskaźnika wg RCP8.5 wyniesie 44 dni, natomiast scenariusz RCP4.5 zakłada utrzymanie się liczby dni z temperaturą powietrza od 5 do 2,5° i opadem atmosferycznym na poziomie z roku 2030.



Rys. 9. Przebieg liczby dni z przejściem temperatury powietrza przez wartość 0°C w latach 1981-2015 oraz prognozowane wartości do 2050 r. wg scenariuszy zmian klimatu RCP4.5 i RCP8.5

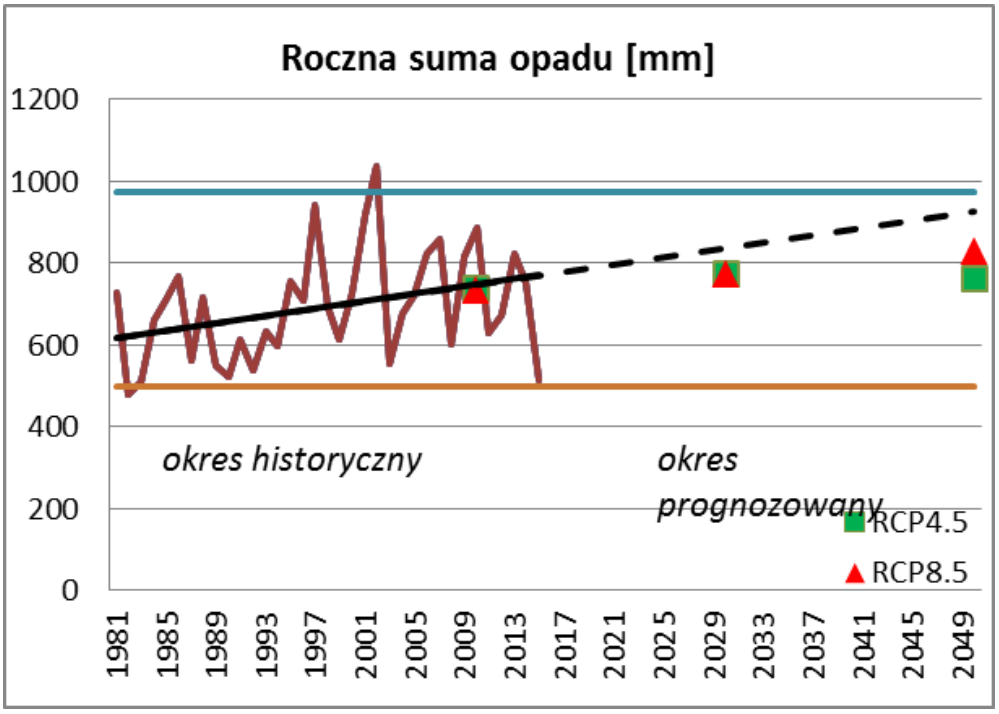


Rys. 10. Przebieg liczby dni z temperaturą powietrza z zakresu od -5 do 2,5°C i opadem w latach 1981-2015 oraz prognozowane wartości do 2050 r. wg scenariuszy zmian klimatu RCP4.5 i RCP8.5

Omówione wyżej wskaźniki odznaczają się niewątpliwie niekorzystnym wpływem na funkcjonowanie miasta. Dlatego też ich spadkowa tendencja jest zjawiskiem korzystnym. Należy jednak pamiętać, że w Wałbrzychu, z uwagi na położenie miasta w regionie górskich i podgórskim, tego rodzaju sytuacje pogodowe występują częściej niż w obszarach nizinnych. Z tego względu należy je wciąż postrzegać jako warunki stanowiące zagrożenie dla zdrowia mieszkańców oraz funkcjonowania miasta.

2.2 Zagrożenia opadowe

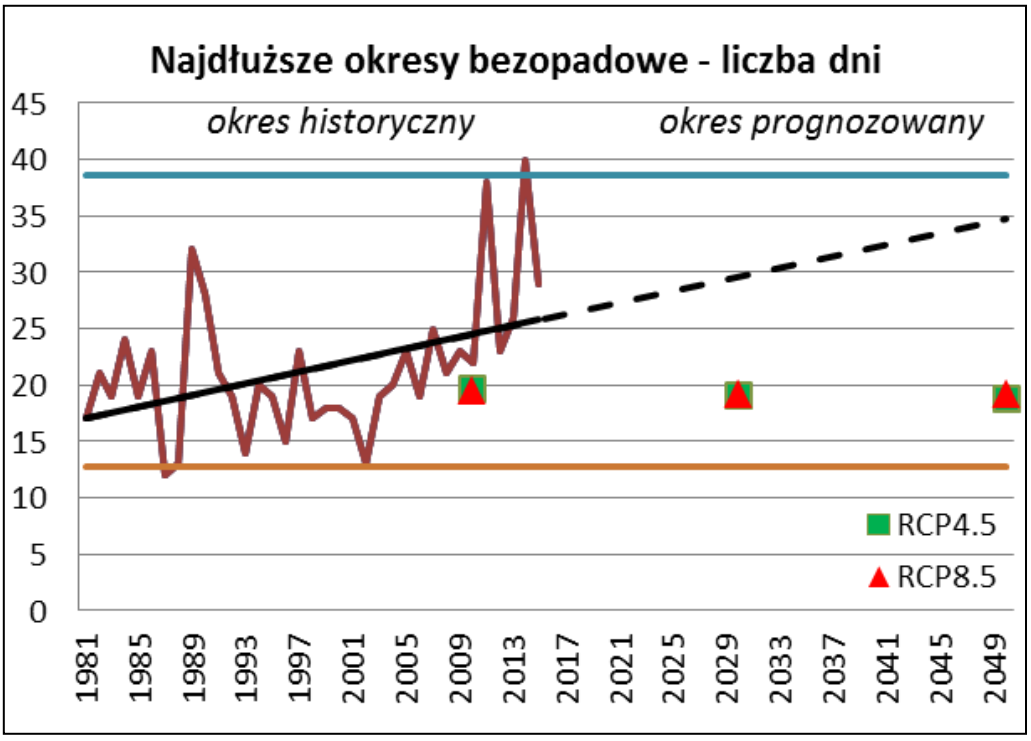
Opady atmosferyczne w latach 1981-2015 cechowały się wyraźnym, istotnym statystycznie, rosnącym trendem w kontekście zarówno rocznych sum opadów, jak i częstości występowania opadów o dużej sumie dobowej. Jednocześnie jednak dla omawianego okresu został zaobserwowany rosnący trend dla najdłuższych okresów bezopadowych, który, podobnie jak sumy opadów i opady intensywne, cechuje się istotnością statystyczną. W przypadku sum opadów ich średnia roczna suma opadów w Wałbrzychu dla okresu wieloletniego 1981-2015 wyniosła 695 mm. W omawianych latach różnicowała się od 477 mm w 1982 r. do 1038 mm w 2002 r. Średni wzrost sum opadów wyniósł ponad 4 mm/rok (rys. 11).



Rys. 11. Przebieg rocznych sum opadów atmosferycznych w latach 1981-2015 oraz prognozowane wartości do 2050 r. wg scenariuszy zmian klimatu RCP4.5 i RCP8.5

OKRESY BEZOPADOWE

W przypadku wskaźnika najdłuższego okresu bezopadowego w latach 1971-2015 różnicował się on od 12 do 40 dni, a jego długość w omawianym okresie wzrastała w tempie 1 dnia/4 lata (rys. 12). Uwzględniając utrzymanie się dotychczasowego trendu w przyszłości ocenia się, że czas trwania najdłuższego okresu bezopadowego w ciągu roku w latach 2035 i 2050 może dodatkowo wydłużyć się odpowiednio o 4 i 9 dni w stosunku do wartości trendu z 2015 r. Jednocześnie cechą charakterystyczną jest, że dla tego samego horyzontu czasowego znacznie zwiększyłaby się roczna suma opadów atmosferycznych, co sugeruje, ze w przyszłości zjawiska opadowe mogą występować z mniejszą częstością, ale ze znacznie większą intensywnością. Wyraźnie rosnąca tendencja najdłuższych okresów bezopadowych nie znajduje jednak potwierdzenia w prognozach klimatycznych wg scenariuszy zmian klimatu. W przypadku omawianego wskaźnika scenariusze RCP4.5 i RCP8.5 zakładają utrzymanie się dotychczasowej częstości występowania na podobnym poziomie lub jej nieznaczny spadek. Niezależnie od przyjętego scenariusza różnica między stanem obecnym a prognozowanym dla lat 2030 i 2050 nie powinna przekroczyć 1 dnia.



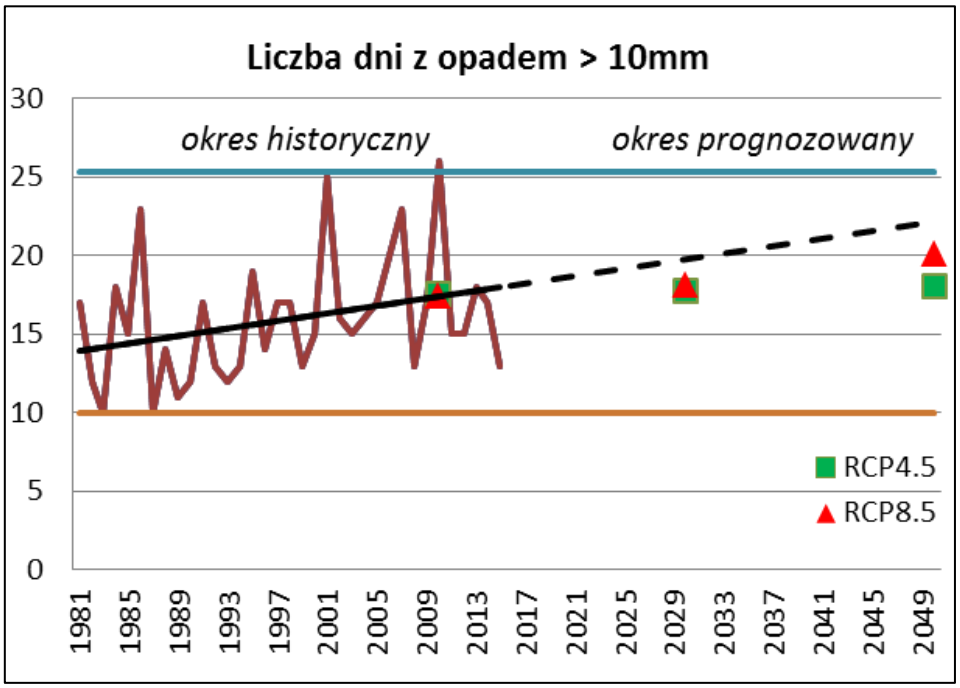
Rys. 12. Przebieg najdłuższych okresów bezopadowych w latach 1981-2015 oraz prognozowane wartości do 2050 r. wg scenariuszy zmian klimatu RCP4.5 i RCP8.5

Dla okresu 1981-2015 tendencja wzrostowa została odnotowana również dla innego wskaźnika obrazującego stany pogodowe związane z deficytem opadów – liczby dni z temperaturą maksymalną powietrza przekraczającą 25^{o}C przy braku opadów atmosferycznych. W tym przypadku trend był bliski istotności statystycznej (istotność na poziomie 0,1), a średnie tempo wzrostu wyniosło ok. 1 dnia/5 lat. Można zatem stwierdzić, że w przyszłości problem braku opadów może być dość istotny. Dlatego też, uwzględniając wyraźną tendencje wzrostową, zjawiska te należy postrzegać jako potencjalne zagrożenie dla miasta, aczkolwiek brak jest w tym przypadku wyraźnych trendów zmian w kontekście scenariuszy zmian klimatu (najdłuższe okresy bezopadowe), a także istotności trendu na poziomie

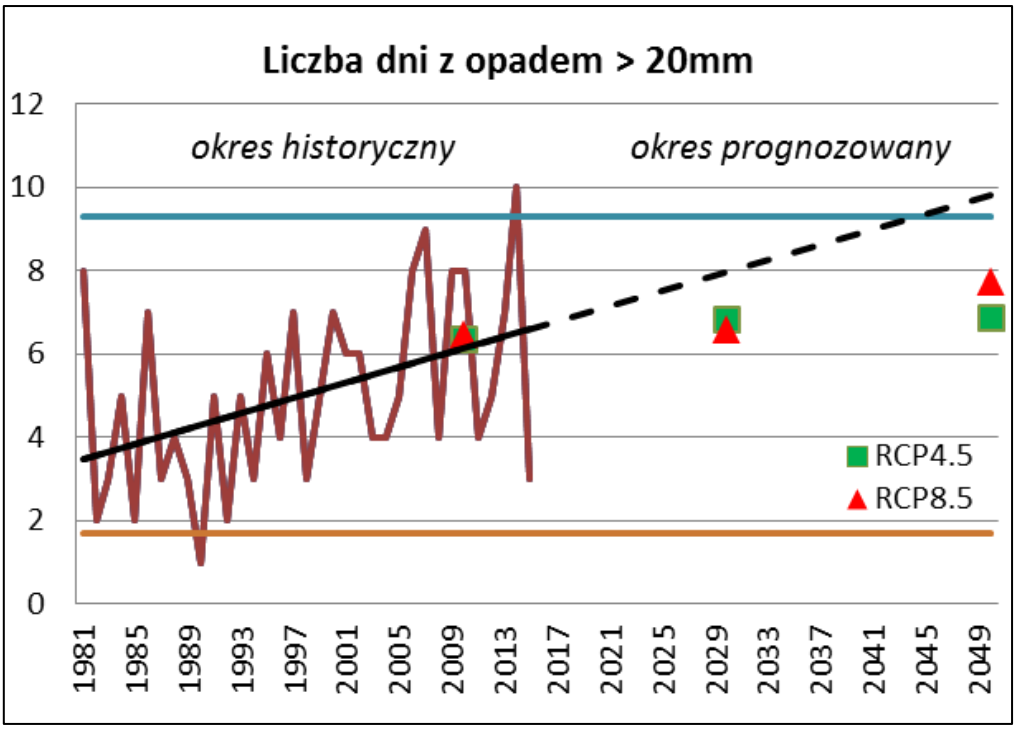
0,05 (okresy bezopadowe z wysoką temperaturą powietrza). Należy również zaznaczyć, że Wałbrzych położony jest na obszarze o większej częstości występowania opadów w stosunku do nizin. Z tego względu można założyć, że skutki wzrostu frekwencji okresów sprzyjających suszom będą w kontekście oddziaływania na miasto mniej niekorzystne niż w nizinnej części Dolnego Śląska.

OPADY O DUŻEJ INTENSYWNOŚCI

Opady atmosferyczne o dużej intensywności w negatywny sposób oddziałują na większość sektorów i komponentów miasta. Przykładem wskaźników opisujących tego rodzaju sytuacje pogodowe jest liczba dni z opadem dobowym o sumie co najmniej 10 (R≥10) i 20 mm (R≥20), których przebieg oraz przyszłe scenariusze zostały przedstawione na rys. 13-14. W latach 1981-2015 częstość występowania dni z opadem 10 i 20 mm wyniosła średnio odpowiednio 16 i 5 dni. Przebieg obydwu wskaźników wykazuje w omawianym okresie tendencję wzrostową. W przypadku R≥20 jest to trend istotny statystycznie, zaś dla R≥10 jest on bliski istotności (istotność na poziomie 0,1). Wzrost częstości występowania dni z opadem dobowym o sumie wynoszącej co najmniej 10 mm wyniósł ponad 1 dzień/10 lat i przy utrzymaniu się dotychczasowego trendu w latach 2030 i 2050 częstość ta może dodatkowo wzrosnąć o 2 (2030) i 4 dni (2050) w stosunku do wartości trendu w 2015 r. Z kolei w przypadku wskaźnika R≥20 tendencja wzrostowa jest nieco mniej intensywna i w latach 1981-2015 wyniosła ok. 1 dzień/11 lat. Uwzględniając przedłużenie obecnej tendencji oznacza to w latach 2030 i 2050 wzrost o odpowiednio 1 i 3 dni. Prognozy zmian frekwencji omawianych zjawisk pogodowych w przyszłości w oparciu o scenariusze zmian klimatu także przewidują wzrost, jednakże o mniejszej intensywności. Predykcje o większym natężeniu są obserwowane dla scenariusze RCP8.5, wg którego częstość występowania typów pogody z R≥10 osiągnie w kolejnych latach wartość 17-20 dni. W przypadku scenariusza RCP4.5 frekwencja ta wyniesie 17-18 dni. Dla R≥20 ocenia się, że frekwencja może wzrosnąć do 6-7 (RCP4.5) lub 7-8 dni (RCP8.5). Istotny statystycznie trend zjawiska dla lat 1971-2015, a także tendencja wzrostową odnotowana w oparciu o scenariusze zmian klimatu, sugerują, że w przyszłości intensywność tego typu zjawisk może się zwiększyć, co znajdzie odzwierciedlenie w wyraźniejszym ich wpływie na funkcjonowanie miasta.



Rys. 13. Przebieg liczby dni z dobowym opadem atmosferycznym o sumie co najmniej 10 mm w latach 1981-2015 oraz prognozowane wartości do 2050 r. wg scenariuszy zmian klimatu RCP4.5 i RCP8.5



Rys. 14. Przebieg liczby dni z dobowym opadem atmosferycznym o sumie co najmniej 20 mm w latach 1981-2015 oraz prognozowane wartości do 2050 r. wg scenariuszy zmian klimatu RCP4.5 i RCP8.5

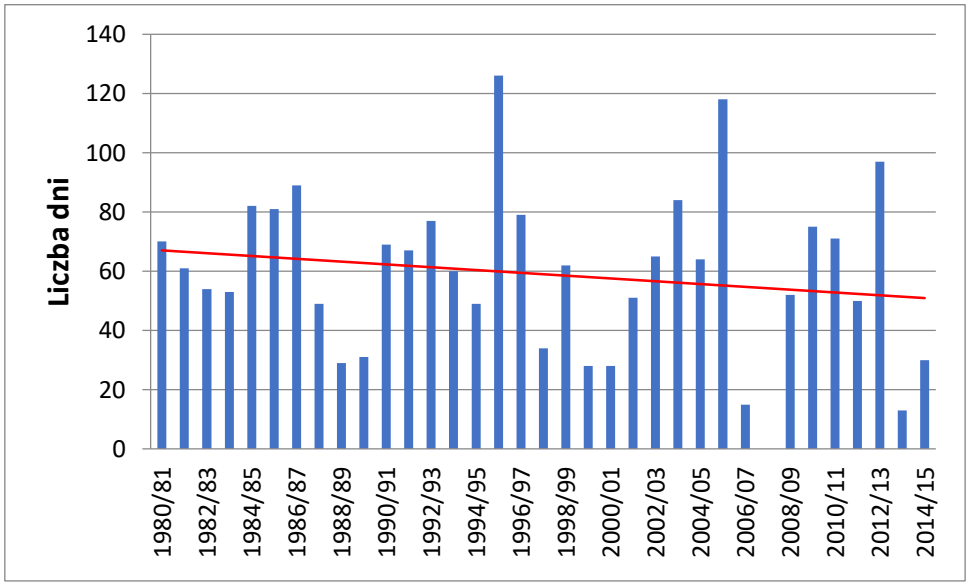
2.3 Pokrywa śnieżna

W regionach górskich i podgórskich, do jakich zaliczyć można obszar Wałbrzycha, pokrywa śnieżna występuje częściej oraz odznacza się większą grubością w stosunku do miast położonych na nizinach. Jej wysokość oraz czas zalegania mogą wpływać niekorzystnie zarówno na aspekty ekonomiczne miasta, jak i stanowić potencjalne zagrożenie dla zdrowia mieszkańców.

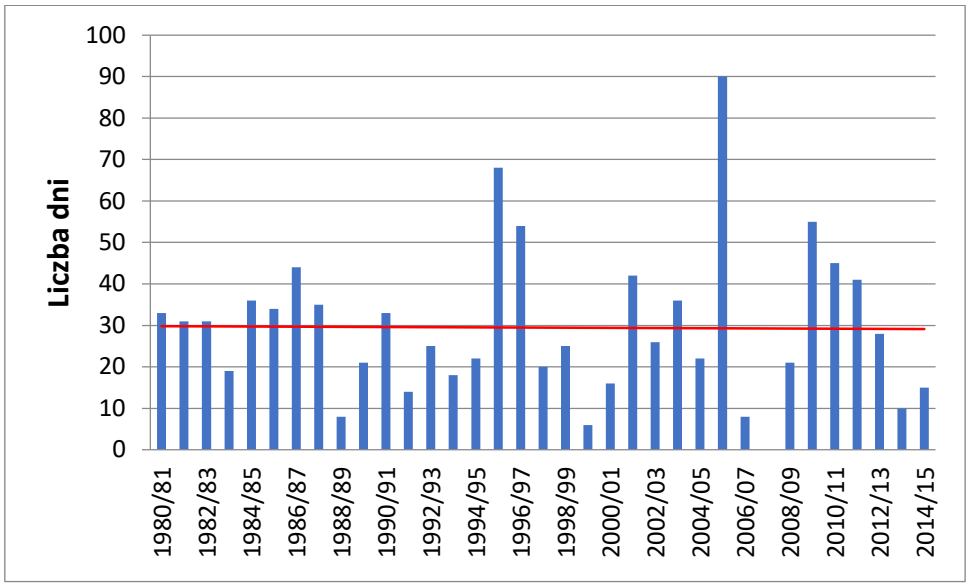
W Wałbrzychu pokrywa śnieżna występuje średnio przez 59 dni w roku, a największa jej częstość występowania została odnotowana w sezonie zimowym 1995/1996, kiedy wyniosła 126 dni (rys. 15). Znaczną frekwencję stwierdzono również w latach 2005/2006 (118 dni) oraz 2012/2013 (97 dni). Przebieg częstości występowania pokrywy śnieżnej w okresie 1981-2015 odznacza się tendencją malejącą, jednakże nie odnotowano w tym przypadku istotności statystycznej. Pokrywa śnieżna na terenie Wałbrzycha pojawia się średnio w dniu 20 listopada, a zanika 31 marca. Potencjalnie może występować w okresie 13 października – 4 maja.

Uwzględniając nieprzerwany ciąg dni z pokrywą śnieżną, zdecydowanie najdłuższy taki okres wystąpił w sezonie 2005/2006 (rys. 16). Pokrywa śnieżna była wówczas notowana przez kolejnych 90 dni, od 28 grudnia do 27 marca. Ciągi powyżej 50 dni stwierdzono natomiast w sezonach 1995/1996 (68 dni), 1996/1997 (54 dni) oraz 2009/2010 (55 dni).

W przypadku maksymalnej wysokości pokrywy śnieżnej największa wartość została zanotowana w dniach 18 marca 2006 r. (53 cm) oraz 2 grudnia 2010 r. (51 cm). Szczególnie dużą wysokością maksymalną pokrywy odznaczał się okres od sezonu 2004/2005 do 2012/213 (z wyjątkiem lat 2007/2008 i 2008/2009), kiedy najwyższa stwierdzona grubość pokrywy w ciągu sezonu przekraczała 40 cm. Jednakże w ostatnich dwóch latach okresu 1981-2015 wartość ta była zdecydowanie niższa i nie osiągała 10 cm.



Rys. 15. Częstość występowania pokrywy śnieżnej w Wałbrzychu w latach 1981-2015



Rys. 16. Najdłuższy ciąg dni z pokrywą śnieżną w Wałbrzychu w latach 1981-2015

2.4 Wiatr i burze

Oprócz temperatury powietrza, opadów atmosferycznych i pokrywy śnieżnej znaczącymi zagrożeniem pogodowymi na terenie Wałbrzycha są warunki wietrzne oraz burze atmosferyczne. Położenie Wałbrzycha w strefie klimatu umiarkowanego powoduje, że podobnie jak inne regiony Polski, jest on narażony na stosunkowo częste występowanie warunków pogodowych odznaczających się znaczną prędkością wiatru. Z kolei burze atmosferyczne są zjawiskiem często wywołującym liczne zniszczenia, a także, podobnie jak wiatr, stanowią zagrożenie dla życia i zdrowia mieszkańców. Wynika to przede wszystkim z faktu, że oprócz wyładowań atmosferycznych w czasie burz obserwowane są również często intensywne opady atmosferyczne oraz znaczne porywy wiatru.

SILNY WIATR

Wiatr należy do najistotniejszych czynników wpływających negatywnie zarówno na życie i zdrowie mieszkańców, jak i miejską infrastrukturę. Położenie Wałbrzycha w strefie klimatu umiarkowanego powoduje, że podobnie jak inne regiony Polski, jest on narażony na stosunkowo częste występowanie warunków pogodowych odznaczających się znaczną prędkością wiatru. Wzmożona prędkość wiatru wynika przede wszystkim działalności frontalnej, związanej z cyrkulacją mas powietrza i przemieszczaniem się głębokich niżów – najczęściej znad Atlantyku. Inną przyczyną jest zaburzenie ogólnej cyrkulacji spowodowane przepływem mas powietrza przez przeszkodę orograficzną w postaci Sudetów, co skutkować może m.in. występowaniem wiatru fenowego. Wzrost prędkości wiatru może być również wywołany rozwojem intensywnej konwekcji i powstania lokalnych, małoskalowych wirów powietrznych.

Średnia prędkość wiatru w Wałbrzychu w latach 1981-2015 wyniosła 2,5 m/s. Podobnie, jak w przypadku pozostałych regionów Polski przeważa adwekcja mas powietrza polarno-morskiego, z sektora zachodniego. W ostatnich latach omawianego okresu wielokrotnie notowane były porywy wiatru, które stanowiły zagrożenie dla mieszkańców miasta jak i miejskiej infrastruktury. Najwyższy poryw wiatru stwierdzono w dniu 19 stycznia 2007 r., w czasie występowania tzw. orkanu Cyryl, kiedy zanotowano prędkość 34,8m/s, co odpowiadało prędkości wiatru huraganowego. W kolejnych latach

również notowane były znaczne porywy, charakteryzujące się często prędkością przekraczającą 25 m/s (tab. 1).

Tabela 1. Maksymalne porywy wiatru w Wałbrzychu w latach 2007-2015

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2007-2015
Vmax (m/s)	34,8	29,8	27,8	29,3	25,0	26,3	25,8	24,0	27,3	34,8

W przypadku częstości występowania wiatru silnego, o prędkości co najmniej 17 m/s, w Wałbrzychu występuje on średnio przez 18 dni w roku. Najwięcej dni z jego udziałem przypadło na rok 2007, kiedy ich liczba wyniosła 29. Z kolei najmniejsza częstość tego rodzaju sytuacji pogodowych została zaobserwowana w 2013 r., kiedy pojawiły się one podczas 7 dni. W poszczególnych sezonach dni z prędkością wiatru osiągającą co najmniej 17 m/s najczęściej obserwowane były w sezonie zimowym, średnio przez 10 dni. Wynika to z faktu wzmożonej działalności cyklonalnej i frontalnej w tym okresie, co często sprzyja znacznemu wzrostowi prędkości wiatru. Z kolei w okresie wiosny i jesieni częstość ta wynosi odpowiednio 4 i 3 dni, natomiast w lecie jest ona najmniejsza i wynosi 1 dzień.

BURZE ATMOSFERYCZNE

Na terenie Sudetów Środkowych burze pojawiają się ze średnią częstością około 27 dni w roku. Zdecydowanie największa ich liczba jest notowana w okresie letnim, kiedy są obserwowane średnio podczas 18 dni. Znacznie rzadziej występują wiosną (7 dni) i jesienią (2 dni), najmniejsza ich częstość przypada zaś na okres zimowy, kiedy pojawiają się sporadycznie. W latach 1981-2015 najwięcej przypadków burz stwierdzono w 2014 r., kiedy były one obserwowane przez 38 dni. Z kolei najmniejszą częstością odznaczał się rok 2013, kiedy burze występowały przez 13 dni. W przebiegu częstości występowania burz w poszczególnych latach omawianego okresu zauważalna jest tendencja wzrostowa, jednakże nie stwierdzono dla niej istotności statystycznej.

2.5 Okresy niżówkowe

Niżówkę definiujemy, jako okres, w którym przepływy były równe lub niższe od założonej wartości progowej przepływu, zwanego również przepływem granicznym (Zielińska 1963, Ozga-Zielińska, Brzeziński 1997; Tallaksen i van Lanen, 2004). Stosując kryterium gospodarcze wartość przepływu granicznego przyjmuje się na poziomie Q70%. Niżówki są również wskaźnikiem wyznaczania susz hydrologicznych (Tokarczyk 2010).

Dane wejściowe do wyznaczania okresów niżówkowych stanowiły hydrogramy codziennych przepływów z analizowanego okresu 1981-1991 i 2000-2015.

W dla rzeki Pełcznicy, wodowskaz Świebodzice, odnotowano ogółem 85 niżówek. Z przeprowadzonych analiz wynika, że w zlewni Pełcznicy najczęściej obserwowane są niżówki krótkotrwałe, dla których prawdopodobieństwo nieosiągnięcia niedoboru jest mniejsze lub równe D50% a czasie trwania nie przekracza 30 dni. Takich niżówek zaobserwowano od 57 w wieloleciu 1981-2015. Niżówki długotrwałe o prawdopodobieństwie nieosiągnięcia niedoboru do D80% oraz czasie trwania do 90 dni wystąpiły 18 razy w analizowanym wieloleciu. Obserwowana była również 6 razy susza hydrologiczna umiarkowana z prawdopodobieństwem nieosiągnięcia niedoboru do D90% oraz czasem trwania do 120 dni, 2 razy wystąpiła susza hydrologiczna silna oraz susza

hydrologiczna ekstremalna wystąpiła 2 razy w zlewni Pełcznicy do wodowskazu w Świebodzicach. Maksymalny deficyt niżówki wystąpił w 2000 roku i wyniósł 5099 tys. m^3 przy czasie trwania niżówki 189 dni. W analizowanym wieloleciu przeważały niżówki letnie.

Powyższe analizy dają podstawę do stwierdzenia, że zagrożenie suszą jest na poziomie średnim.

2.6 Powodzie

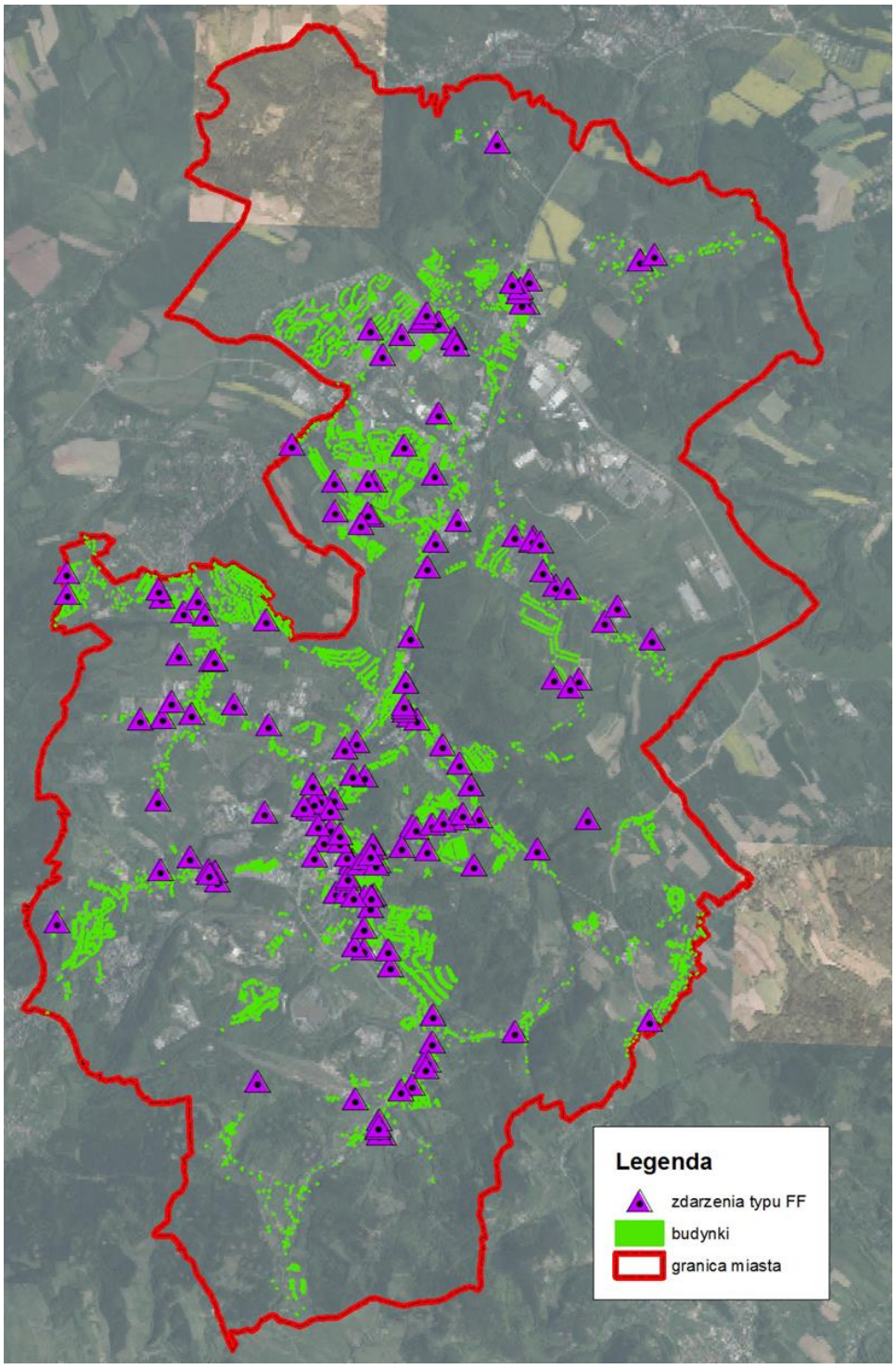
- Powodzie miejskie (nagłe)

Powodzie miejskie (nagłe) definiowane są jako nagłe zalanie i/lub podtopienie terenu w wyniku wystąpienia silnego, krótkotrwałego opadu deszczu o dużej wydajności (tzw. deszczu nawalnego) na stosunkowo niedużym obszarze zlewni rzecznej lub zurbanizowanej zlewni miejskiej. Należy jednak zauważyć, że nie każdy deszcz nawalny musi powodować powódź, co jest uzależnione od lokalnych uwarunkowań (ukształtowania i zagospodarowania terenu, układu hydrograficznego, wydajności systemów kanalizacyjnych itp.). Warunki fizyczno-geograficzne oraz infrastruktura kanalizacyjna miasta Wałbrzycha sprzyjają powstawaniu powodzi tego typu.

Największe zagrożenie na terenie miasta stanowią gwałtowne spływy powierzchniowe po opadach deszczu między innymi ze względu na fakt, że większość potoków w mieście ma uregulowane i uszczelnione koryta powodujące brak łączności hydraulicznej z wodami gruntowymi co w znacznym stopniu ogranicza możliwości ich odpływu. Dużym problemem generującym zagrożenia powodziowe jest przestarzały system kanalizacji deszczowej lub też jej brak. W dużym stopniu jest to jeszcze poniemiecka kanalizacja niespełniająca swojej roli. Przepustowość jest o wiele za mała na istniejące potrzeby. Na terenie miasta ustawicznie zwiększają się powierzchnie zabudowane (asfalt, kostka) powodujące gwałtowne przybory wód. Szansą na ograniczenie lokalnych podtopień jest wykorzystanie małej retencji. O skali problemu świadczy fakt sporządzenia przez w 2014 roku dokument pt. „Program Mała retencja i zabezpieczenie przeciwpowodziowe miasta”.

W ramach prac wykonywanych w ramach MPA oparto się na bazach interwencji Państwowej Straży Pożarnej. Na podstawie bazy danych PSP sporządzano mapę (rys. 17) lokalizacji zdarzeń typu flash flood (FF) związanych z wystąpieniem deszczy nawalnych w latach 2010-2016. Na mapie poniżej trójkątami zidentyfikowano miejsca, w których była prowadzona interwencja wskutek wystąpienia powodzi miejskiej.

W Wałbrzychu punkty te koncentrują się głównie w Śródmieściu, Starym Mieście, Starym Zdroju, Szczawienku, Piaskowej Górze i Białym Kamieniu.



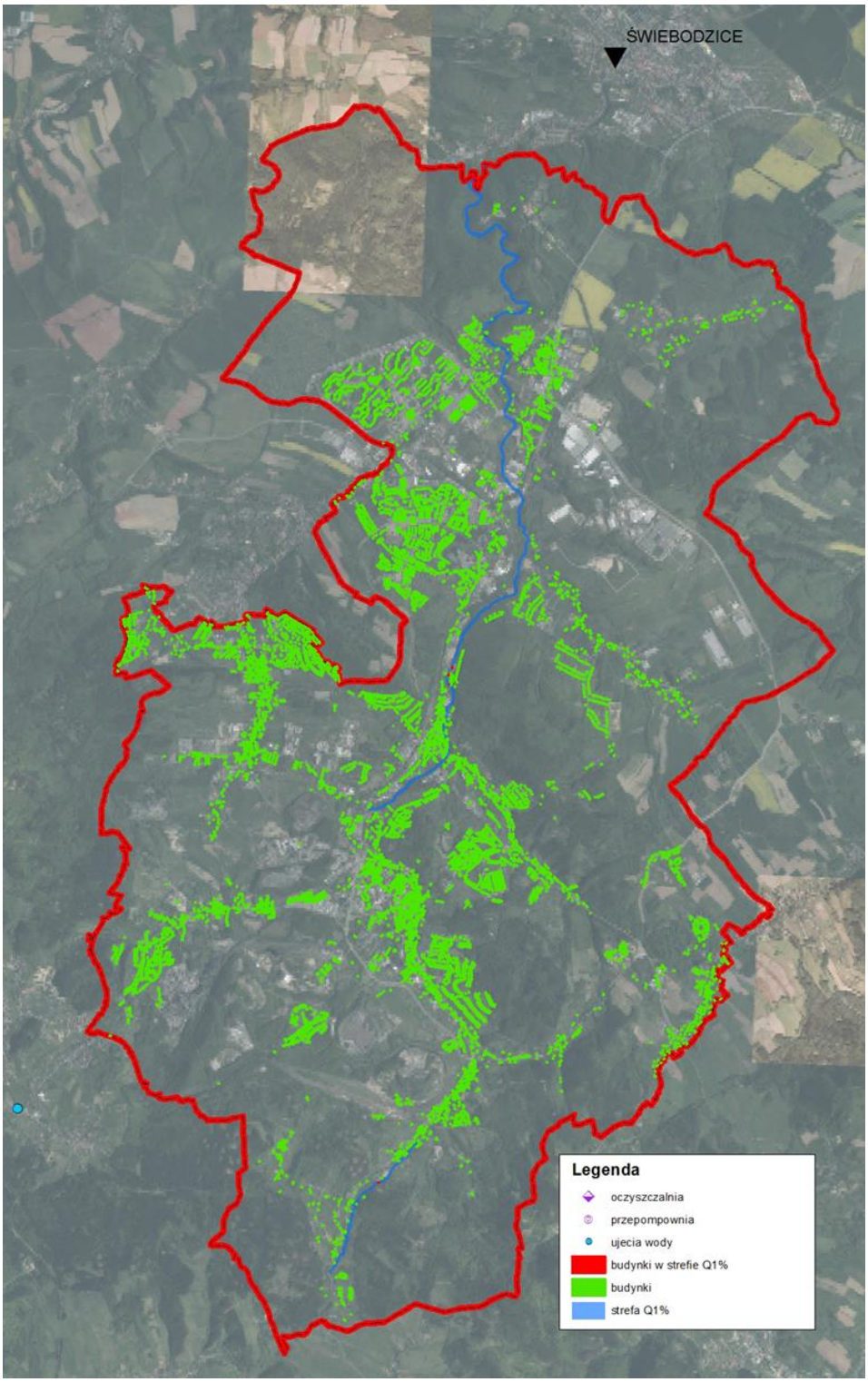
Rys. 17. Lokalizacja zdarzeń typu flash flood (FF)

Rozkład częstości interwencji wskazuje, że w analizowanych latach liczba obserwacji jest zmienna, a lokalizacja wskazuje na dość duży obszar miasta. Najwięcej interwencji było w 2009 r., w latach 2008 oraz 2013 liczba interwencji wynosiła 30. Ostatnie 2 lata liczba ta spadła i wynosi odpowiednio

5 i 3 interwencje. Interwencja dotyczy budynków, straty wywołane tymi zdarzeniami obejmują lokalne obszary miasta. Wobec powyższego zagrożenie powodziami miejskimi można uznać, jako duże.

- Powodzie od strony rzek

Wałbrzych leży w zlewni rzeki Pełcznicy. Opracowanie map zagrożenia i ryzyka powodziowego na terenie miasta Wałbrzycha obejmowało rzekę Pełcznicę. Wyznaczone zasięgi dla prawdopodobieństwa wystąpienia 1% w tzw. wariancie zero PZRP (wariant map zagrożenia zaktualizowany o inwestycje przeciwpowodziowe wykonane w okresie od opublikowania MZP/MRP, a opracowaniem PZRP) przedstawia rysunek 18. Powierzchnia strefy zalewu wynosi zaledwie 13 ha. W strefie zalewu znajduje się 9 budynków.



Rys. 18. Zagrożenie powodziowe na obszarze Miasta Wałbrzycha (wg MZP/MRP, PZRP).

Rzeka Pełcznica na całym odcinku zabudowy miejskiej stanowi kanał kryty o długości ok. 5,4 km, na odcinku ok. 500 m w północnej części jest prawostronnie obwałowana.

Podsumowując powyższe analizy, zagrożenie powodziowe występujące na obszarze Miasta Wałbrzycha należy ocenić jako bardzo niskie.

2.7. Koncentracja zanieczyszczeń powietrza

Na podstawie pomiarów stężeń zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego na stacji zlokalizowanej przy ul. Wysockiego w Wałbrzychu 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 stężeń pyłu zawieszonego PM10 przeprowadzone na podstawie wyników pomiarów stężeń tego zanieczyszczenia wykazały brak przekroczeń poziomu dopuszczalnego (40 µg/m3) średnich rocznych stężeń oraz przekroczenia stężeń średnich dobowych. W przypadku stężeń dobowych zarówno wartość maksymalna roczna jak i 36 maksimum stężeń przekraczały dopuszczalny poziom stężenia 50 µg/m3 w okresie 2012-2014.

Za względu na niejednorodność serii pomiarowej stężeń pyłu PM10, w badanym wieloleciu nie wyznaczono jednoznacznych, istotnych statystycznie tendencji zmian. Równocześnie istotny wpływ na przebieg wartości analizowanych wskaźników określonych dla pyłu PM10 mają długość sezonu grzewczego, ilość 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, co może skutkować spadkiem stężeń pyłu PM10 jak to miało miejsce w roku 2015.

Dla pyłu zawieszonego PM2,5 w wieloleciu 2010-2015 nie zaobserwowano przekroczeń poziomów dopuszczalnych powiększonych o margines tolerancji. Obserwowana jest tendencja spadkowa wartości stężeń średnich rocznych i maksymalnych stężeń dobowych. Podobnie jak w przypadku pyłu PM10, istotny wpływ na wartości analizowanych wskaźników określonych dla pyłu PM2,5 posiadały długość sezonu grzewczego, ilość 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/m3 określone z uwagi na ochronę zdrowia ludzi przekraczały poziom docelowy 120 µg/m3 w latach 2006-2007, 2012 i 2015. Również przeprowadzona z uwagi na ochronę roślin analiza wskaźnika AOT40 wykazała przekroczenia poziomu dopuszczalnego 18 000 µg/m3xh w latach 2006-2007 i 2012. Analiza trendu badanych wskaźników zanieczyszczenia powietrza ozonem troposferycznym wykazała tendencję do powolnego zmniejszania się poziomu tego zanieczyszczenia. 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. Z tego względu oraz z uwagi na odnotowane przekroczenia zagrożenie występowania podwyższonych stężeń ozonu troposferycznego na terenie miasta Wałbrzycha można przyjąć jako istotne.

Przeprowadzona analiza częstości występowania epizodów wysokich stężeń pod kątem możliwości wystąpienia smogu wykazała, że na terenie miasta Wałbrzycha występuje istotne zagrożenie powstawaniem smogu zimowego. W analizowanym wieloleciu, największą liczbę (powyżej 55)

epizodów wysokich stężeń zanieczyszczeń pyłem zawieszonym PM10, tj. dni z przekroczeniem poziomu 50 µg/m3, obserwowano w roku 2013 i 2014.

W ciągu 4 z 10 analizowanych lat, liczba dni z przekroczeniami dopuszczalnych poziomów stężeń ozonu troposferycznego na terenie miasta Wałbrzycha, przewyższała wartości kryterialne określone w obowiązujących przepisach prawnych. W kontekście prognozowanych zmian klimatu i wzrostu ilości dni z wysoką temperaturą, można uznać, że smog letni stanowi dla Wałbrzycha istotne zagrożenie.

Przeprowadzona analiza wykazała, że koncentrację zanieczyszczeń powietrza na terenie miasta Wałbrzycha należy zaliczyć do istotnych czynników meteorologicznych oraz ich pochodnych z uwagi na występowanie przekroczeń wartości kryterialnych pyłu PM10 oraz ozonu troposferycznego. Również stwierdzić można obecność istotnego zagrożenia wystąpienia na terenie miasta Wałbrzycha smogu zimowego i smogu letniego. Wrażliwość miasta w zakresie koncentracji zanieczyszczeń powietrza dotyczy przede wszystkim jej mieszkańców, ze szczególnym uwzględnieniem grup wrażliwych: osób powyżej 65 roku życia, dzieci w wieku do 5 roku życia, osób przewlekle chorych, tj. sektora zdrowie publiczne/grupy wrażliwe.