



Wczujmy się
w klimat!

www.44mpa.pl

Plan adaptacji miasta Dąbrowa Górnicza do zmian klimatu do roku 2030

Załącznik nr 2

Opis głównych zagrożeń klimatycznych
i ich pochodnych dla miasta

1. Określenie stopnia ekspozycji na czynniki klimatyczne na podstawie danych pomiarowych

1.1 Wstęp

Zjawiska klimatyczne związane ze zmianami klimatu przeanalizowane zostały w kontekście tendencji zmian ich wartości w latach 1981–2015 oraz spodziewanych przyszłych zmian, tak by w rezultacie dokonać analizy wrażliwości poszczególnych sektorów miasta na poszczególne czynniki klimatyczne i ich pochodne. Celem nie była więc szczegółowa analiza klimatologiczna każdego zjawiska, lecz zwrócenie uwagi na główne zagrożenia wynikające ze zmian klimatu.

Charakterystyka wskaźników klimatycznych dla Dąbrowy Górniczej została opracowana w oparciu o następujące dane źródłowe:

- dane pomiarowe ze stacji synoptycznej IMGW-PIB w Katowicach Muchowcu za okres 1981–2015;
- dane pomiarowe ze stacji opadowej IMGW-PIB w Czeladzi za okres 1980–2015;
- dane pomiarowe ze stacji meteorologicznej przy Planetarium Śląskim za okres 1966–2012;
- zdjęcia satelitarne z lat 2006–2016 (analiza miejskiej wyspy ciepła);
- dane pomiarowe z punktów wodowskazowych Przeczyce, Łagisza i Radocha na Czarnej Przemszy, Dąbrowa Górnicza na Pogorii oraz Golczowice i Sławków na Białej Przemszy;
- dane pomiarowe nt. jakości powietrza ze stacji monitoringu powietrza PMS w Dąbrowie Górniczej i Katowicach przy ul. Kossutha (stacje tła miejskiego) za okres 2006–2015.

W opracowaniu rozdziału wykorzystano także wyniki analiz przyszłych zmian wskaźników klimatycznych z własnych opracowań naukowych Konsorcjum. Do wyznaczenia wszystkich trendów zastosowano funkcje Excela – REGLINP.

1.2 Charakterystyka termiczna miasta

Celem charakterystyki termicznej miasta było zwrócenie uwagi na główne zagrożenia wynikające ze zmian klimatu takie jak np. systematyczny wzrost temperatury, zwiększającą się liczbę fal upałów, występowanie miejskiej wyspy ciepła. Opisano także możliwe negatywne skutki i wpływ ekstremalnie wysokiej (upały) oraz ekstremalnie niskiej (mrozy) temperatury powietrza na różne sektory miasta.

Upały mają znaczący, negatywny wpływ na świat przyrody i człowieka oraz infrastrukturę gospodarczą i komunikacyjną. Wysoka temperatura powietrza niszczy nawierzchnie dróg, tory kolejowe oraz linie energetyczne. Powoduje wysychanie ściółki leśnej, a w efekcie pożary lasów, potęguje zjawisko suszy atmosferycznej, gruntowej i hydrologicznej. Upał najbardziej zagraża zdrowiu i życiu osób chorych, seniorom, dzieciom i kobietom w ciąży.

Przymrozki są zjawiskiem powodującym straty ekonomiczne w niektórych działach rolnictwa, zwłaszcza w sadownictwie i ogrodnictwie. Mogą one spowodować zniszczenia bezpośrednio wpływające na wielkość i jakość oczekiwanych plonów.

Silny mróz jest przyczyną wielu strat w gospodarce, zwłaszcza w produkcji rolnej i sadownictwie, powodując wymarzenie zbóż ozimych i drzew owocowych. Zaburza normalną pracę systemów energetycznych i komunikacyjnych oraz zakładów przemysłowych. Mróz może powodować rozległe awarie: trakcji i torów kolejowych, magistrali ciepłowniczych, instalacji i urządzeń hydrotechnicznych, wodociągów, sieci kanalizacyjnej i linii przesyłowych wysokiego napięcia. Może to doprowadzić do sparaliżowania życia na terenach zurbanizowanych. Z powodu braku wody może obniżyć się stan sanitarno-higieniczny. Awarie w oczyszczalniach ścieków mogą spowodować katastrofę ekologiczną. Niska temperatura ma również negatywny wpływ na transport żywności. Silny mróz stanowi zagrożenie dla zdrowia i życia ludzi oraz zwierząt. Konsekwencją mogą być zgony, szczególnie wśród osób bezdomnych lub będących pod wpływem alkoholu.

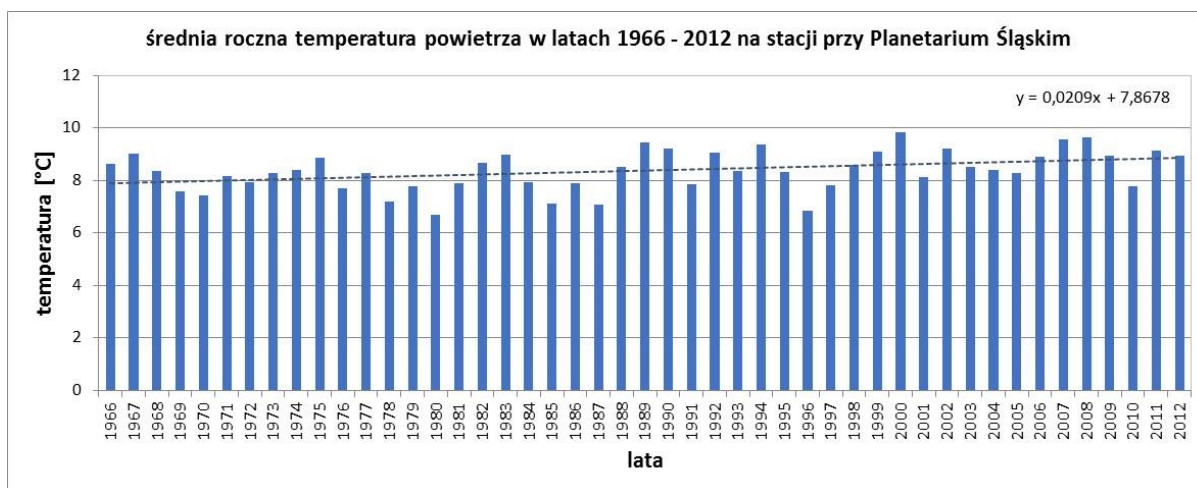
Podobnie przejście temperatury przez 0°C oraz gwałtowne zmiany temperatury w ciągu doby lub z dnia na dzień zaliczane są do zjawisk szkodliwych, nie tylko w rolnictwie, sadownictwie, ale również w komunikacji i budownictwie. Z kolei liczba dni z temperaturą powietrza w przedziale od -5°C do

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

+2,5°C przy jednoczesnym wystąpieniu opadów może powodować pojawienie się niebezpiecznych oblodzeń, gołoledzi, opadów deszczu ze śniegiem, itp. zjawisk.

• Temperatura średnia

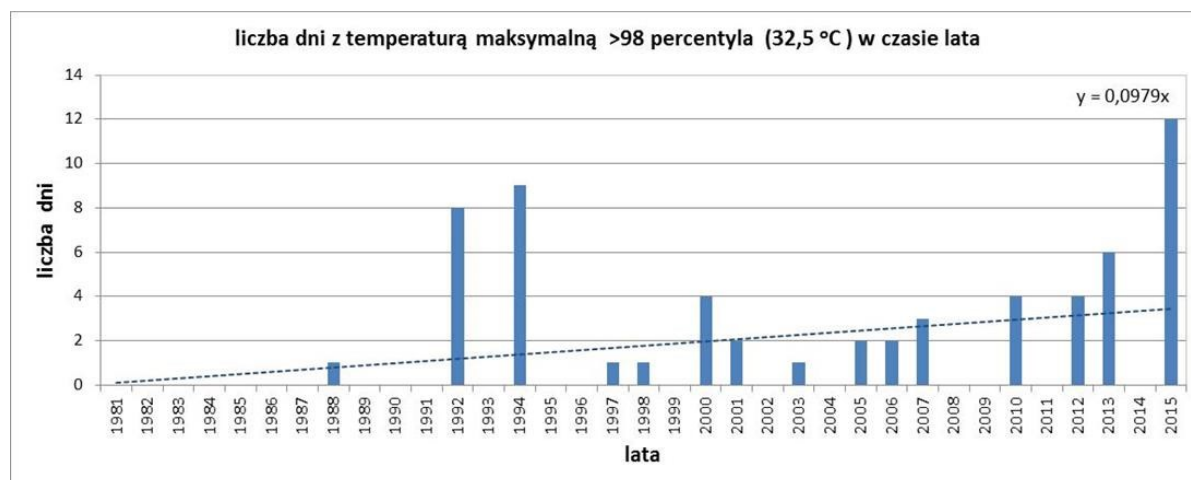
Zmienność średniej rocznej temperatury powietrza oceniono na podstawie danych pomiarowych z lat 1966 - 2012 pozyskanych ze stacji meteorologicznej przy Planetarium Śląskim. Międzyroczne wahania średniej temperatury powietrza w analizowanym wieloleciu były znaczne. Temperatura średnia roczna zmieniała się w zakresie od 6,7°C do 9,8°C. Najzimniejszy okazał się rok 1980, a najcieplejszy rok 2000. Charakterystyczną cechą przebiegu średniej rocznej temperatury powietrza w wieloleciu 1966 – 2012 był jej systematyczny, statystycznie istotny wzrost (rys.1).



Rys. 1 Zmienność średniej rocznej temperatury powietrza wraz z linią trendu

• Temperatura maksymalna

Do charakterystyki maksymalnej temperatury powietrza w rejonie miasta przyjęto poziom 32,5°C stanowiący 98 percentyl z dobowych temperatur maksymalnych w okresach letnich w analizowanym wieloleciu. Liczba takich dni w poszczególnych latach analizowanego okresu zmieniała się w zakresie od 0 do 12, przy czym wyraźny ich wzrost zaobserwowany jest od 1992 roku. W całym okresie występują jednak również lata bez dni upalnych. Najwięcej dni upalnych w ilości 12 wystąpiło w 2015 roku. Liczba dni upalnych w okresie letnim w analizowanym okresie 1981 – 2015 wykazuje wyraźny, istotny statystycznie trend rosnący (rys.2).

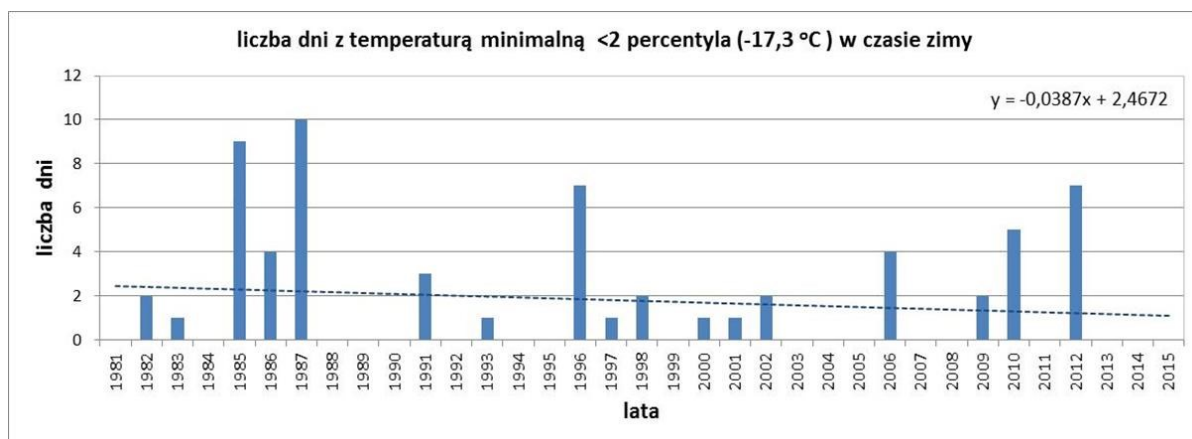


Rys. 2 Zmienność liczby dni upalnych w Katowicach wraz z linią trendu

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

- **Temperatura minimalna**

Analizę częstości występowania dni mroźnych wykonano dla okresu zimowego. W analizowanym okresie wyliczono 2 percentyl z temperatur minimalnych, czyli wielkość, poniżej której występuje 2% wartości temperatur minimalnych w poszczególnych dobach okresu zimowego. Dla Katowic wielkość ta odpowiada temperaturze $-17,3^{\circ}\text{C}$. Z przeprowadzonej analizy wynika, że w okresie 1981 – 2015 liczba dni mroźnych w poszczególnych latach zmieniała się w zakresie od 0 do 10. Najwięcej takich dni: 9 i 10 wystąpiło odpowiednio w latach 1985 i 1987. Występowały też lata, a nawet sekwencje do 3 lat z rzędu bez dni mroźnych, np. 1988 – 1990, 2003 – 2005, 2013 – 2015. W analizowanym okresie 1981 – 2015 liczba dni mroźnych w czasie zimy wykazuje trend malejący (rys.3).

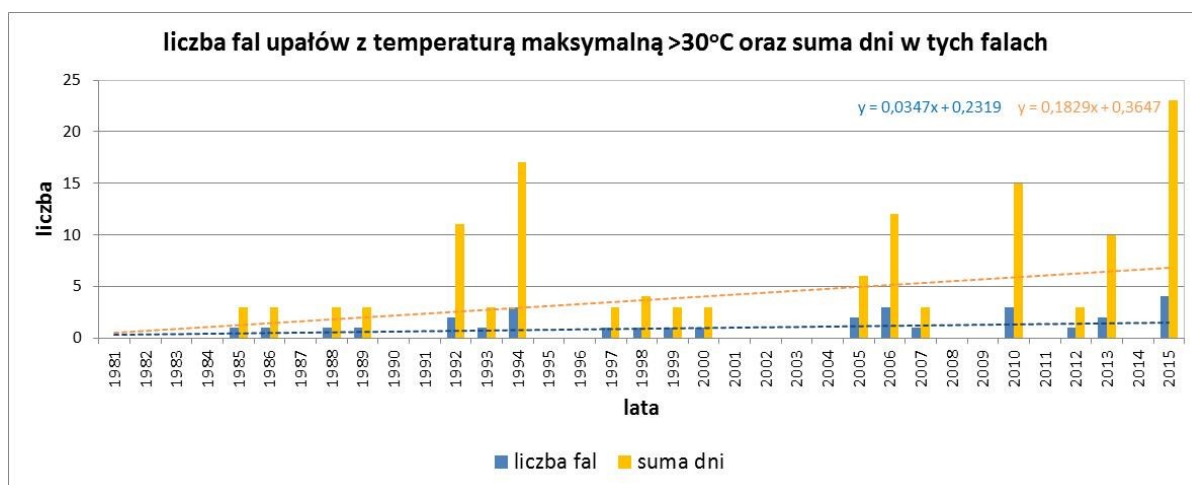


Rys. 3 Zmienność liczby dni mroźnych w Katowicach wraz z linią trendu

- **Fale upałów i fale zimna**

Fala upałów definiowana jest, jako okres co najmniej 3 dni z maksymalną temperaturą powietrza powyżej 30°C , natomiast fala zimna to okres co najmniej 3 dni w temperaturą minimalną poniżej -10°C . Zarówno fale upałów, jak i fale zimna stanowią poważne zagrożenie dla zdrowia i życia ludzi, a także wpływają na różne sektory gospodarki, np. rolnictwo, transport, energetykę, budownictwo.

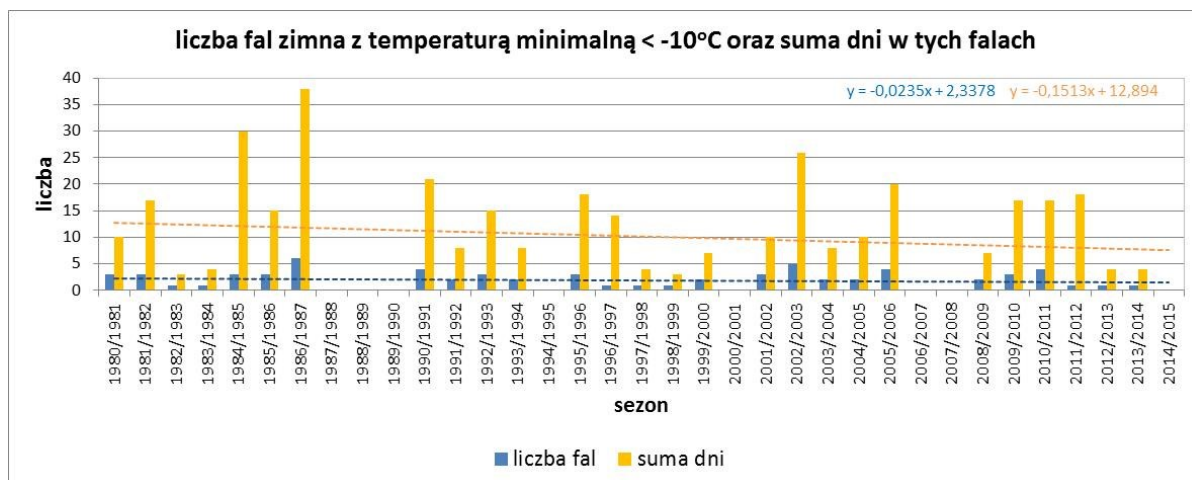
W Katowicach w analizowanym okresie 1981 – 2015 występowało w ciągu roku od 0 do 4 fal upałów. Najwięcej takich fal wystąpiło w latach 1994, 2006, 2010 (po 3 fale upałów) oraz 2015 (4 fale upałów). Maksymalna liczba dni objętych falami upałów wyniosła 23 (w 2015 roku). Zauważalne jest występowanie naprzemienne sekwencji 2 – 3 lat z falami upałów i bez takich fal. Liczbę fal upałów jak i liczbę dni objętych falami upałów w analizowanym okresie charakteryzują statystycznie istotne, rosnące linie trendu (rys.4).



Rys. 4 Liczba fal upałów i liczba dni objętych falami upałów w Katowicach wraz z liniami trendu

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

W analizowanym okresie występowały także fale zimna, od 0 do 6 takich fal w poszczególnych latach. Najwięcej fal zimna – 6 wystąpiło w sezonie zimowym 1986/87. Wtedy też odnotowano maksymalną liczbę dni objętych falami zimna – 38 dni. Co kilka lat występują zimy bez fal zimna. Najdłuższy okres bez fal zimna objął 3 okresy zimowe (od 1987 do 1990 roku). Liczba fal zimna jak i liczba dni objętych tymi falami w analizowanym wieloleciu wykazują trendy malejące (rys.5).



Rys. 5 Liczba fal zimna i liczba dni objętych falami zimna w Katowicach wraz z liniami trendu

- **Miejska wyspa ciepła**

Miejska wyspa ciepła (MWC) definiowana jest jako zjawisko klimatyczne polegające na występowaniu podwyższonej temperatury powietrza w mieście w stosunku do otaczających je terenów peryferyjnych (niezabudowanych). Jest to zjawisko dynamiczne, charakteryzujące się dużą zmiennością dobową i roczną. Jej zasięg nawiązuje do zabudowy. Według badań obejmujących ciepłą część roku (kwiecień–październik) największe odchylenia temperatury powietrza względem stacji referencyjnych występują na terenach zabudowy – zarówno luźnej jak i zwartej, i wynoszą przeciętnie od 0,5 do 1,0°C (Kunert, Błażejczyk, 2011). Najwyższa temperatura występuje w śródmieściu i jego okolicach, co jest związane z przeważającą obecnością zabudowy zwartej. Nieco wyższa temperatura powietrza, niż na obszarach referencyjnych, występuje na obszarach o zabudowie luźnej, natomiast w lasach, na terenach otwartych oraz w parkach odchylenie temperatury powietrza od wartości zanotowanej na obszarach referencyjnych jest bliskie zeru, co oznacza brak miejskiej wyspy ciepła. Z badań wynika, że różnice między temperaturą w mieście i poza miastem są największe podczas pogody wyżowej, przy słabym wietrze i braku zachmurzenia. Wzrost prędkości wiatru zmniejsza szanse na gromadzenie się zapasów ciepła w mieście.

Warunki termiczne miasta mogą być zróżnicowane w skali lokalnej. Wpływa na to m.in. heterogeniczna rzeźba terenu, urozmaicone zagospodarowanie terenu, czy też szorstkość, przewodność i pojemność cieplna podłoża. Szczególnie interesujące są odchylenia wartości temperatury powietrza od tzw. warunków standardowych – podlegających czynnikom cyrkulacyjnym, a nie lokalnym. Na obszarach miast z reguły nie są dostępne szczegółowe dane klimatologiczne. Najczęściej pomiary są wykonywane na reprezentatywnych stacjach klimatologicznych zlokalizowanych na terenach otwartych w pewnym oddaleniu od centrum miasta.

U podstaw wyznaczenia zasięgu miejskiej wyspy ciepła dla miast Aglomeracji Górnośląskiej legło kilka przesłanek. Po pierwsze, z uwagi na rozległy zasięg przestrzenny współczesnych miast, zróżnicowanie w użytkowaniu ziemi w ich obrębie, przyjęto iż miejskie wyspy ciepła będzie się wyznaczać na podstawie pola temperatury w danym mieście. Chodzi o to, iż współczesne miasta obejmują obszary o silnie zróżnicowanych właściwościach termicznych odzwierciedlających zróżnicowanie w użytkowaniu ziemi oraz także wilgotności podłoża. Po drugie, zasięg przestrzenny MWC ustalono w oparciu o parametry statystyczne rozkładu temperatury w obrębie jednostki administracyjnej. W tym przypadku chodzi o to, iż w obrębie miasta można wydzielić obszary, które pod względem statystycznym różnią się istotnie od obszarów otoczenia. Ponadto ze względu na zróżnicowanie struktury użytkowania ziemi miast, a także charakter danych satelitarnych, dla każdego

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

miasta można wyznaczyć inną izotermę graniczną definiującą zasięg MWC. Po trzecie, miejskie wyspy ciepła dotyczą generalnie zabudowy mieszkaniowej. Nie każda zabudowa mieszkaniowa (np. zabudowa jednorodzinna) tworzy warunki do powstania MWC. Jednak to właśnie zabudowa mieszkaniowa w formie zabudowy zwartej lub gęstej, o niewielkiej powierzchni gruntów niezasklepiionych tworzy warunki do powstawania miejskiej wyspy ciepła.

Poniżej przedstawiono metodykę wyznaczenia miejskich wysp ciepła miast Aglomeracji Górnośląskiej czyli miast regionu 8 i części regionu 9 według metodologii MPA.

1. Pierwszym krokiem w wyodrębnieniu wyspy ciepła na terenie danego miasta było opracowanie mapy termiki podłoża na bazie serii zdjęć satelitarnych pochodzących z satelity Landsat i ASTER. Podstawę analiz stanowiły zobrazowania zarejestrowane w czasie bezchmurnych dni sezonu letniego, z godziny 9.30-9.40 (czas przelotu satelity nad obszarem Polski). Na tej podstawie uzyskano mapę średniej temperatury gruntu w okresie letnim 2006-2016 uzyskaną w oparciu o kilkadziesiąt obrazów satelitarnych.

2. Drugim krokiem było wyznaczenie izotermi w obrębie danego miasta stanowiącej granicę maksymalnego zasięgu miejskiej wyspy ciepła (MWC). Powyższą izotermę wyznaczono według następującego wzoru:

$$T_{MWC} = \left(\frac{T1_i - T2_i}{2} \right) - STD_i$$

gdzie

$T1_i$ - maksymalna temperatura kinetyczna powierzchni w mieście i

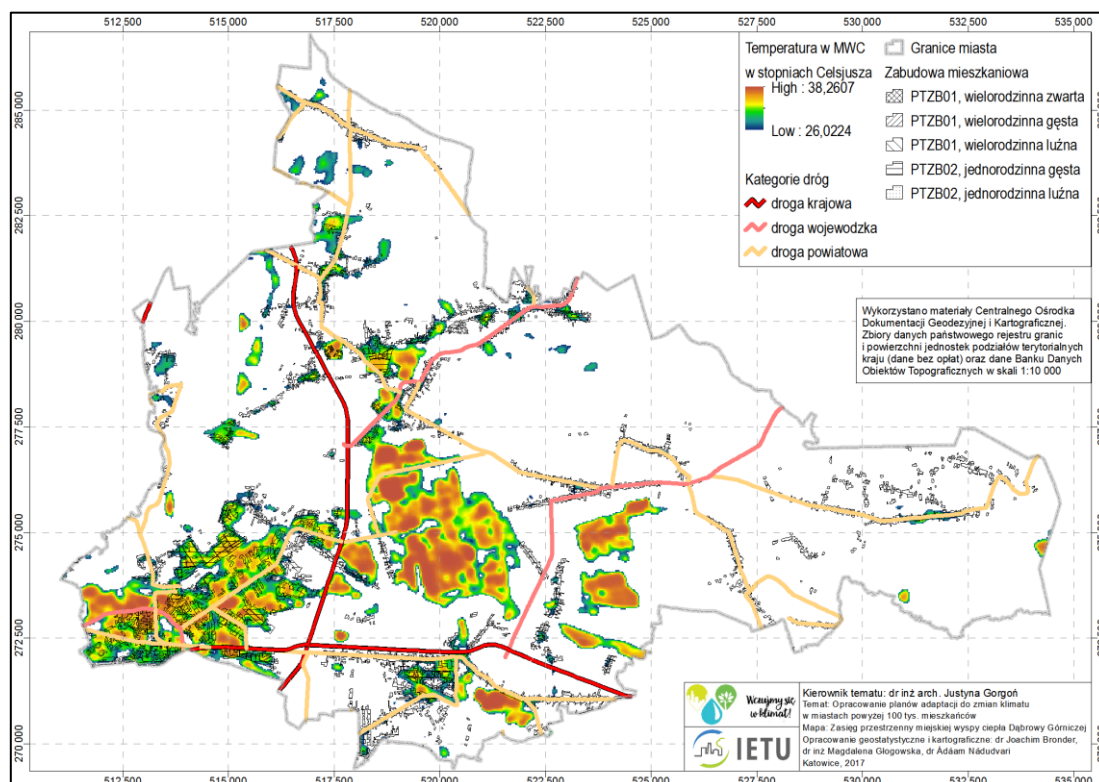
$T2_i$ - minimalna temperatura kinetyczna powierzchni w mieście i

STD_i - odchylenie standardowe średniej temperatury kinetycznej w mieście i .

Parametry do powyższego równania wyznaczono w oparciu o statystykę mapy rastrowej średniej kinetycznej temperatury powierzchni (opracowanej na podstawie serii map). Pierwszy człon równania reprezentuje środkową temperaturę powierzchni w danej miejscowości, człon drugi odchylenie średniej arytmetycznej temperatury powierzchni.

3. Ostatnim krokiem było nałożenie terenów zabudowy mieszkaniowej na obszar MWC.

Na rys.6 przedstawiono określony przy zastosowaniu opisanej powyżej metodyki zasięg miejskiej wyspy ciepła w Dąbrowie Górniczej.

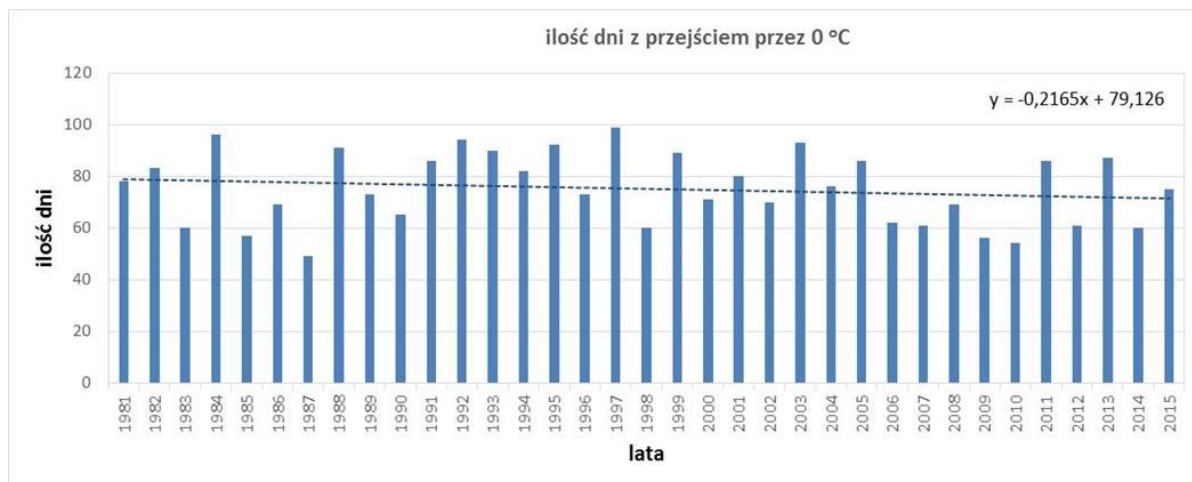


Rys. 1. Rozkład przestrzenny MWC w Dąbrowie Górniczej

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

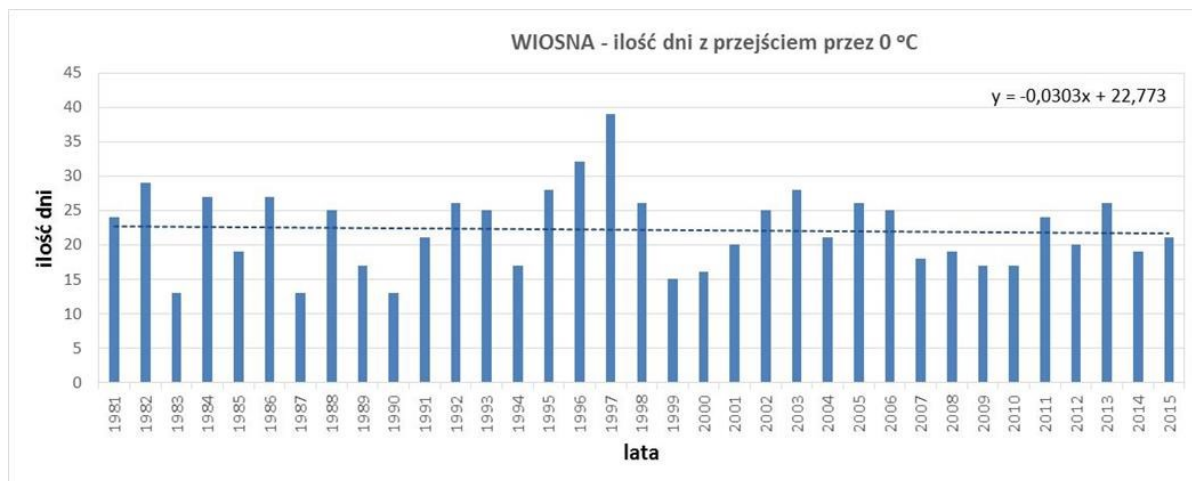
• Temperatura przejściowa i dni charakterystyczne termiczne

Charakterystykę warunków termicznych uzupełnia analiza częstości występowania termicznych dni charakterystycznych: dni z przejściem przez poziom 0°C (tzn. dni z temperaturą minimalną powietrza <0°C oraz temperaturą maksymalną >0°C) oraz dni, w których amplituda temperatury przekraczała 10°C.



Rys. 7 Liczba dni z przejściem temperatury przez 0°C w poszczególnych latach w Katowicach wraz z linią trendu

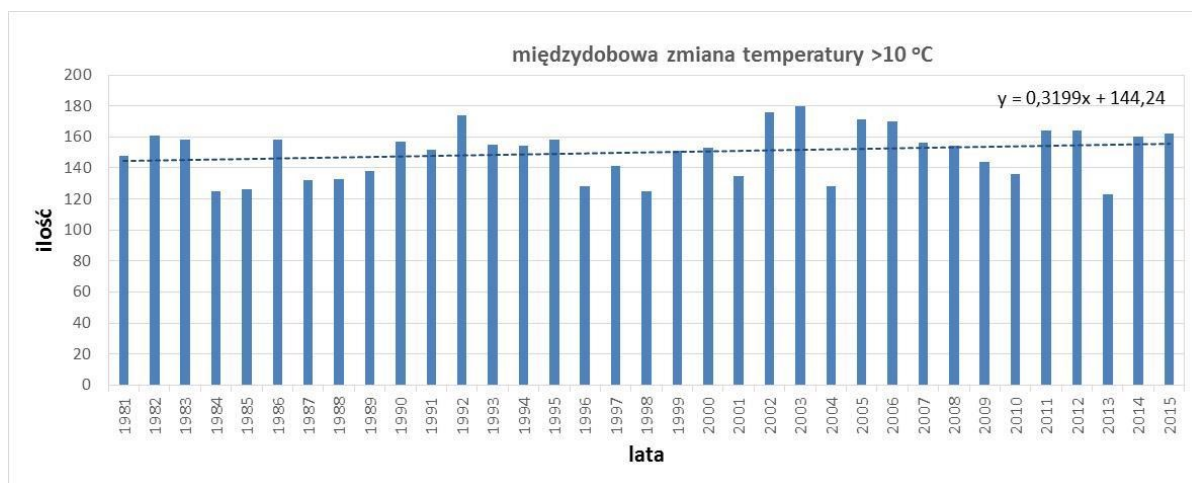
Liczba dni z przejściem temperatury przez 0°C wynosi w Katowicach od 50 do 100 w ciągu roku i charakteryzuje się dużą zmiennością w poszczególnych latach (rys.7). W analizowanym okresie 1981 – 2015 trend tego parametru jest nieznacznie malejący. Występowanie omawianego zjawiska jest szczególnie niekorzystne w czasie wiosny z uwagi na jego wpływ na wegetację roślin. W okresie wiosennym w poszczególnych latach notuje się od kilkunastu do blisko 40 dni z przejściem temperatury przez 0°C (rys.8), a wyznaczona dla nich linia trendu nie jest statystycznie istotna.



Rys. 8 Liczba dni z przejściem temperatury przez 0°C w okresach wiosennych w Katowicach wraz z linią trendu

W Katowicach w ciągu roku notuje się od 120 do 180 dni, w których amplituda temperatury powietrza w ciągu doby jest większa niż 10°C. Wyznaczona dla tego parametru w analizowanym okresie linia trendu nie wykazuje istotnych statystycznie zmian (rys.9).

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



Rys. 9 Liczba dni z amplitudą temperatury powyżej 10°C w Katowicach wraz z linią trendu.

• Zmienność liczby dni grzewczych i chłodzących

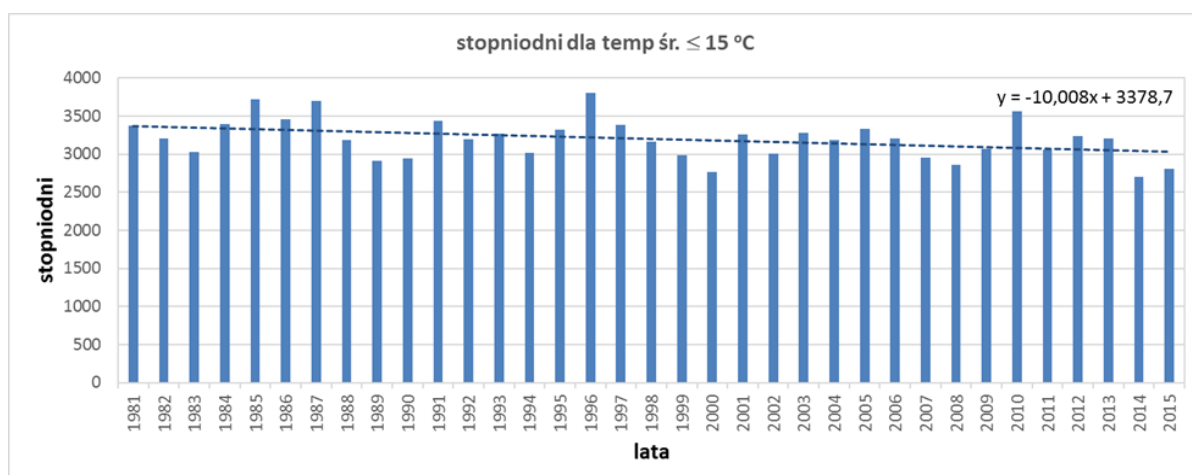
Wskaźnik liczby dni z temperaturą $\leq 15^{\circ}\text{C}$, czyli liczby dni grzewczych, to liczba dni ze średnią temperaturą dobową równą lub niższą od 15°C . Wskaźnik HDD (*ang. heating degree day*) czyli liczby stopniodni $\leq 15^{\circ}\text{C}$ został wyliczony na podstawie temperatury średniej dobowej dla dni ze średnią dobową temperaturą równą lub niższą od 15°C według następującego wzoru:

$$\text{Sd}(17^{\circ}\text{C}) = \sum_{i=1}^n [17^{\circ}\text{C} - t_{\text{sr}}(i)] \quad \text{dla } t_{\text{sr}}(i) \leq 15^{\circ}\text{C}$$

Wskaźnik liczby dni z temperaturą $\geq 27^{\circ}\text{C}$, czyli liczby dni chłodzących, to liczba dni ze średnią dobową temperaturą równą lub wyższą od 27°C . Wskaźnik CDD (*ang. cooling degree day*) czyli liczby stopniodni $\geq 27^{\circ}\text{C}$ został wyliczony na podstawie temperatury średniej dobowej dla dni ze średnią dobową temperaturą równą lub wyższą od 27°C według następującego wzoru:

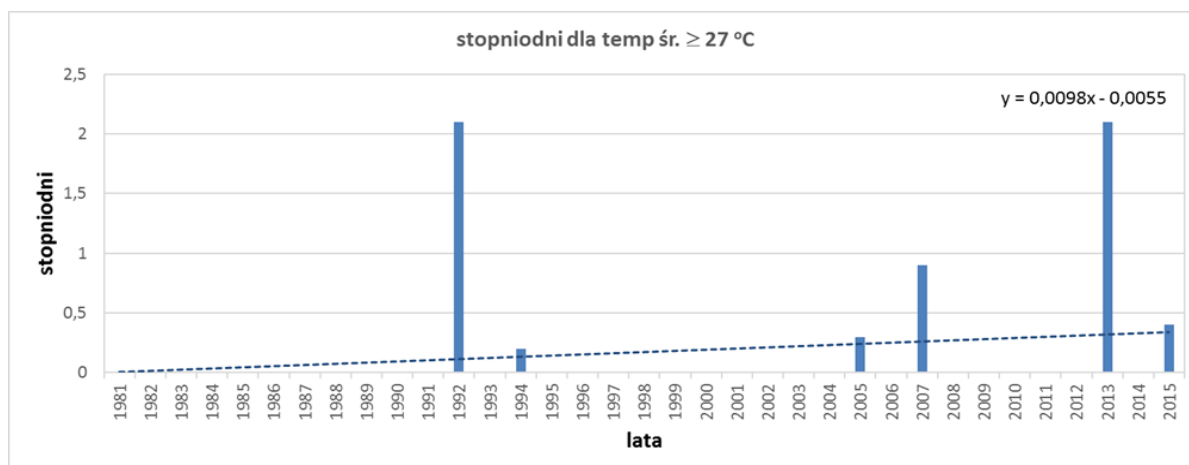
$$\text{Sd}(27^{\circ}\text{C}) = \sum_{i=1}^n [t_{\text{sr}}(i) - 27^{\circ}\text{C}] \quad \text{dla } t_{\text{sr}}(i) \geq 27^{\circ}\text{C}$$

W analizie najistotniejszy wydaje się fakt, iż w przypadku Katowic roczna suma stopniodni $\leq 15^{\circ}\text{C}$ systematycznie maleje (rys.10), natomiast liczba stopniodni $\geq 27^{\circ}\text{C}$ (rys.11) jest minimalna (maksymalnie 2,1) i występuje sporadycznie. Ponadto można zauważyć, że dni grzewcze występują przez cały rok, lecz głównie w okresie od października do maja, a dni chłodzące od maja do września.



Rys. 10 Zmienność liczby stopniodni dla dni ze średnią temperaturą dobową równą lub niższą od 15°C w Katowicach wraz z linią trendu

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



Rys. 11 Zmienność liczby stopniodni dla dni ze średnią temperaturą dobową równą lub wyższą od 27°C w Katowicach wraz z linią trendu

1.3 Charakterystyka pluwianna miasta

• Deszcze

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 nawalne powodujące wezbrania i powodzie lokalne typu flash flood. Podczas występowania opadu o wysokości ≥ 30 mm/dobę, tzw. opadu zagrażającego, tworzą się lokalne podtopienia oraz zalania terenów i pomieszczeń niżej położonych, na ulicach i powierzchniach zwartych tworzy się stojąca warstwa wody, a w terenach o zróżnicowanej rzeźbie następuje szybki jej spływ, pojawia się erozja i spływ gleb, a także utrudnienia w ruchu pieszym i drogowym.

Podstawowym materiałem źródłowym do przeprowadzenia niniejszej analizy były zbiory dobowych sum opadów atmosferycznych z lat 1981–2015 pozyskane z Centralnej Bazy Danych Historycznych IMGW-PIB. Podstawowym materiałem badawczym były dobowe sumy opadów w wybranych miastach. W przypadku Dąbrowy Górniczej przeanalizowano dane ze stacji synoptycznej w Katowicach Muchowcu oraz dane ze stacji opadowej w Czeladzi. Jednostką czasową przyjętą do analizy intensywnych opadów dobowych była standardowa doba opadowa (okres 24 godzin, od 06 do 06 czasu UTC). Szczególnie istotny jest opad dobowy o wysokości ≥ 30 mm, który stanowi progową (krytyczną) wartość opadów, przy przekroczeniu której istnieje konieczność sporządzania przez biura prognoz meteorologicznych IMGW-PIB ostrzeżeń o możliwości wystąpienia intensywnych opadów deszczu.

Zgodnie z metodyką dane opadowe zostały poddane analizie pod kątem otrzymania informacji dotyczących następujących wskaźników:

- suma roczna opadów,
- najwyższa i najniższa miesięczna suma opadów,
- najwyższa suma dobowych opadów,
- najwyższa suma dwudniowa opadów,
- najwyższa suma pięciodniowa opadów,
- najdłuższy ciąg dni bez opadów lub z opadem dobowym ≤ 1 mm, w połączeniu z temperaturą maksymalną powyżej 25°C,
- prawdopodobieństwo przewyższenia maksymalnych opadów dobowych 2, 3, 5, 10, 50%

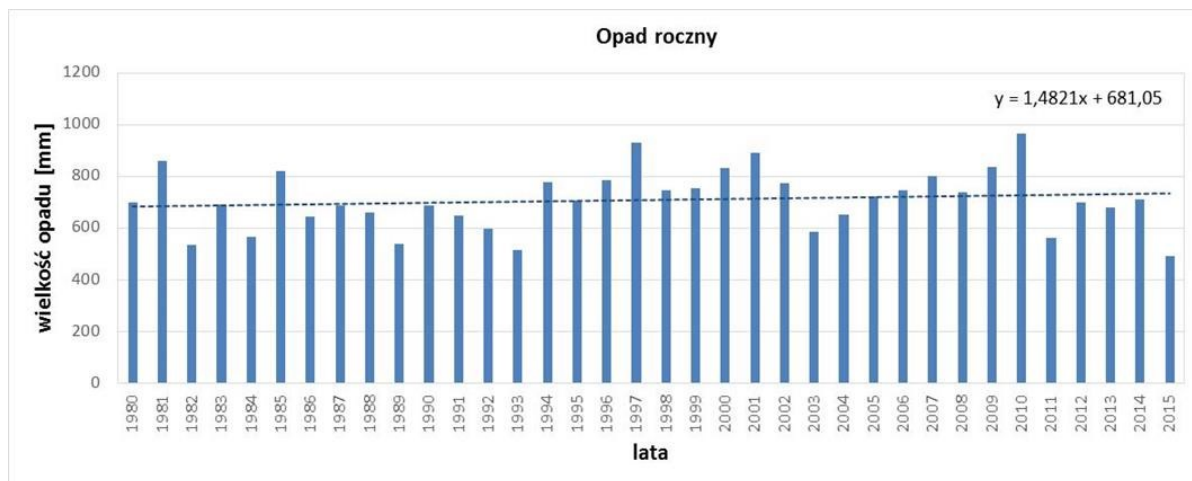
Dla ww. ośmiu wskaźników obliczono wartości charakterystyczne oraz trendy.

Analiza sum rocznych, miesięcznych i dobowych opadów

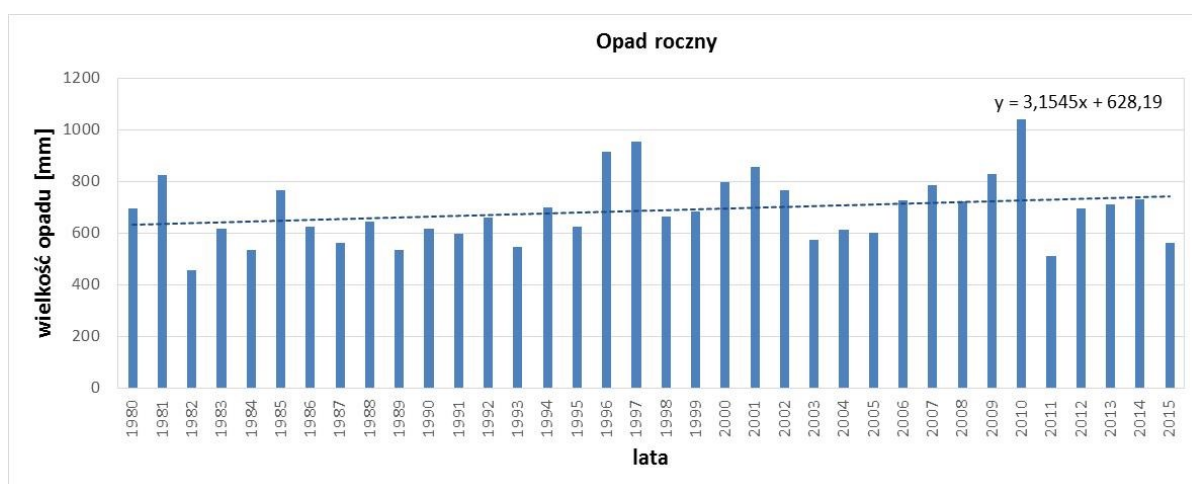
Roczna suma opadów dla stacji w Katowicach w latach 1980–2015 zawiera się w przedziale od około 490 do blisko 965 mm, a wartość średnia w analizowanym okresie wynosi 708 mm. Wyznaczona dla rocznej sumy opadów rosnąca linia trendu nie jest statystycznie istotna (rys.12). W przypadku stacji w Czeladzi roczna suma opadów zawiera się w przedziale od około 454 do blisko 1040 mm, a wartość

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

średnia jest nieco niższa niż dla Katowic i w analizowanym okresie wynosi 687 mm. Wyznaczona dla rocznej sumy opadów rosnąca linia trendu jest statystycznie istotna (rys.13).



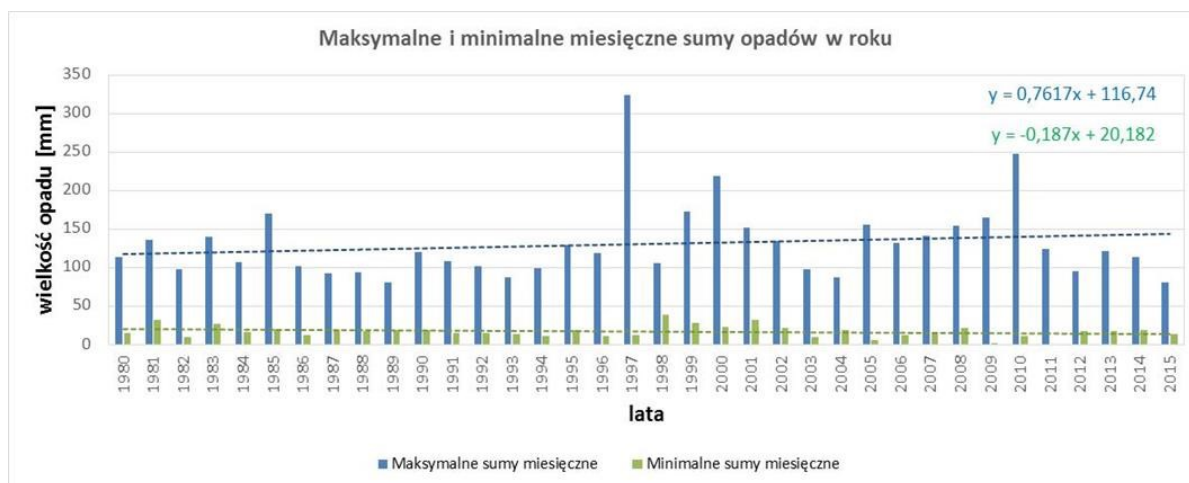
Rys. 12 Roczna suma opadu w Katowicach wraz z linią trendu



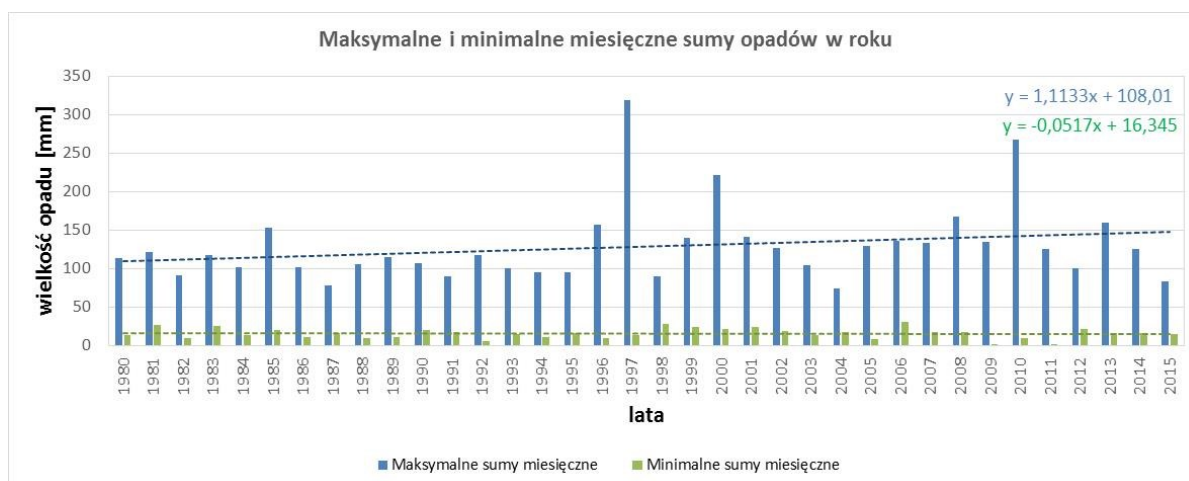
Rys. 13 Roczna suma opadu w Czeladzi wraz z linią trendu

W Katowicach w analizowanym okresie 1980–2015 maksymalne miesięczne sumy opadów wahały się w poszczególnych latach od ok. 80 do ponad 320 mm (wartość średnia wyniosła ok. 130 mm), a sumy minimalne przybierały wartości od 0 do 38 mm (wartość średnia wyniosła ok. 17 mm). Wyznaczono rosnącą linię trendu dla maksymalnego opadu miesięcznego oraz malejącą linię trendu w przypadku minimalnego opadu miesięcznego, są one jednak statystycznie nieistotne (rys.14). Niewiele niższe wartości odnotowano w tym samym czasie w Czeladzi, gdzie maksymalne miesięczne sumy opadów wahały się od ok. 74 do ok. 318 mm (wartość średnia wyniosła ok. 129 mm), a sumy minimalne przybierały wartości od 0 do 30 mm (wartość średnia wyniosła ok. 15 mm). Wyznaczona dla maksymalnego opadu miesięcznego rosnąca linia trendu jest statystycznie istotna (rys.15). W analizowanych latach minimalne miesięczne sumy opadów na stacji w Czeladzi utrzymywały się na stałym poziomie.

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



Rys. 14 Maksymalne i minimalne miesięczne sumy opadów w Katowicach wraz z liniami trendu



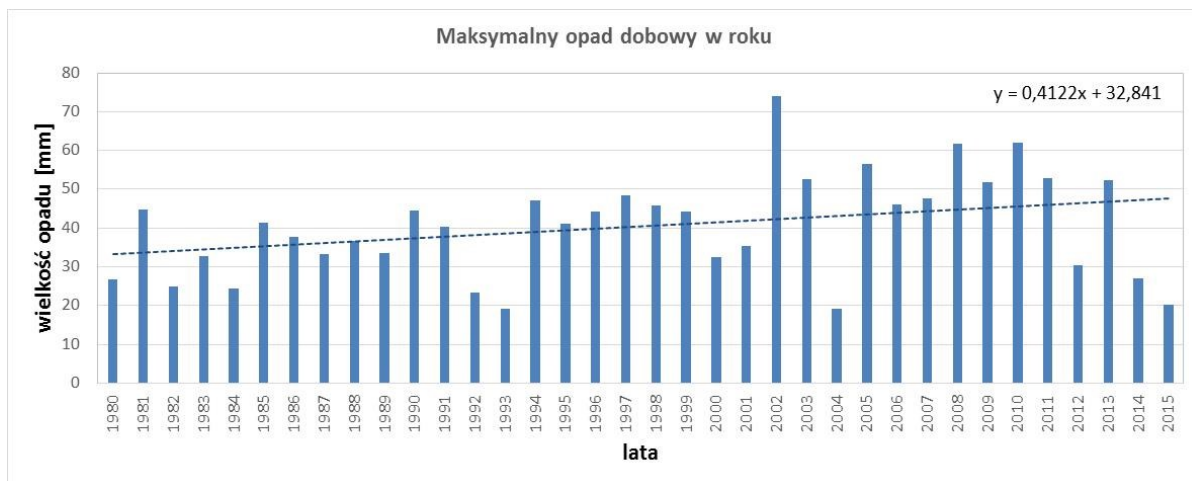
Rys. 15 Maksymalne i minimalne miesięczne sumy opadów w Czeladzi wraz z liniami trendu

Przeanalizowano także maksymalne opady dobowe, maksymalne opady w ciągu dwudniowym oraz maksymalne opady w ciągu pięciodniowym. W latach 1980–2015 na stacji w Katowicach:

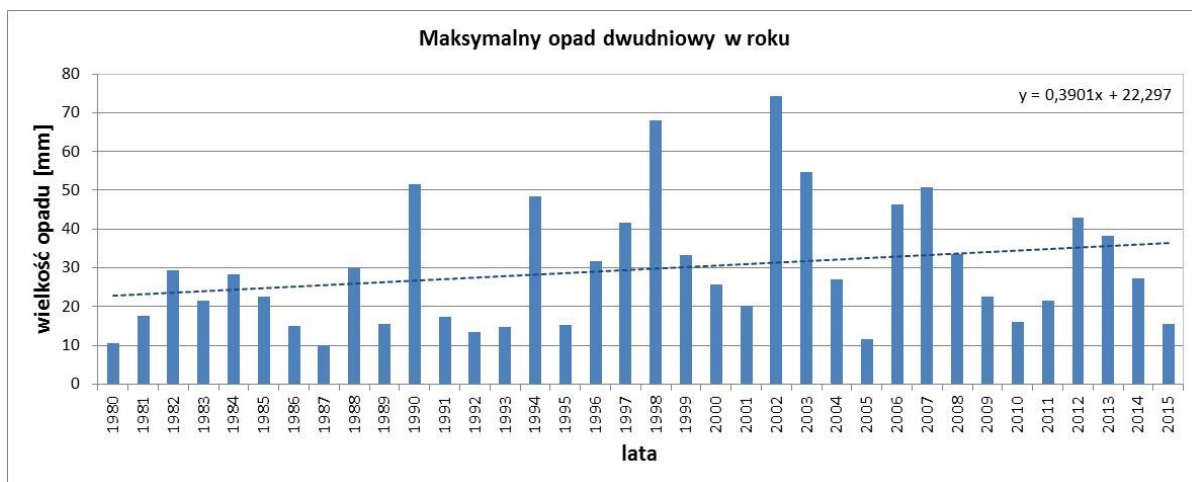
- maksymalne dobowe sumy opadów mieściły się w przedziale od 17 do 74 mm, a wartość średnia wyniosła 40 mm,
- maksymalne sumy opadów w ciągu dwudniowym mieściły się w przedziale od 10 do 74 mm, a wartość średnia wyniosła 30 mm,
- maksymalne sumy opadów w ciągu pięciodniowym mieściły się w przedziale od 7 do 94 mm, a wartość średnia wyniosła 30 mm.

Wyznaczono statystycznie istotny rosnący trend dla maksymalnego opadu dobowego (rys.16). Rosnąca linia trendu maksymalnego opadu w ciągu dwudniowym (rys.17) oraz malejąca linia trendu maksymalnego opadu w ciągu pięciodniowym (rys.18) nie jest statystycznie istotna.

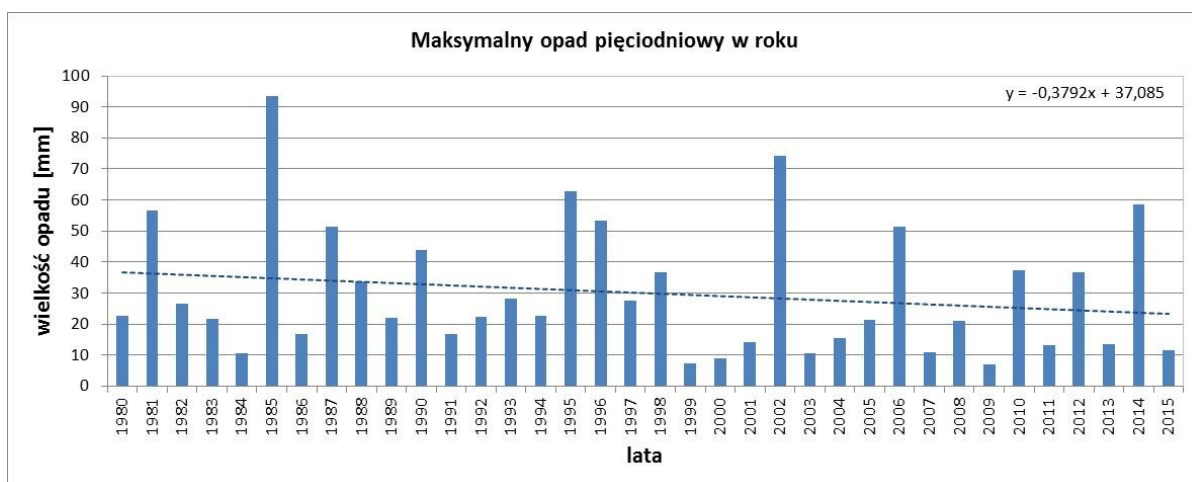
OPRACOWANIE PLANÓW ADAPTACJI DO ZMIAN KLIMATU W MIASTACH POWYŻEJ 100 TYS. MIESZKAŃCÓW



Rys. 16 Maksymalna dobową sumą opadu w Katowicach wraz z linią trendu



Rys. 17 Maksymalna suma opadu w ciągu dwudniowym w Katowicach wraz z linią trendu



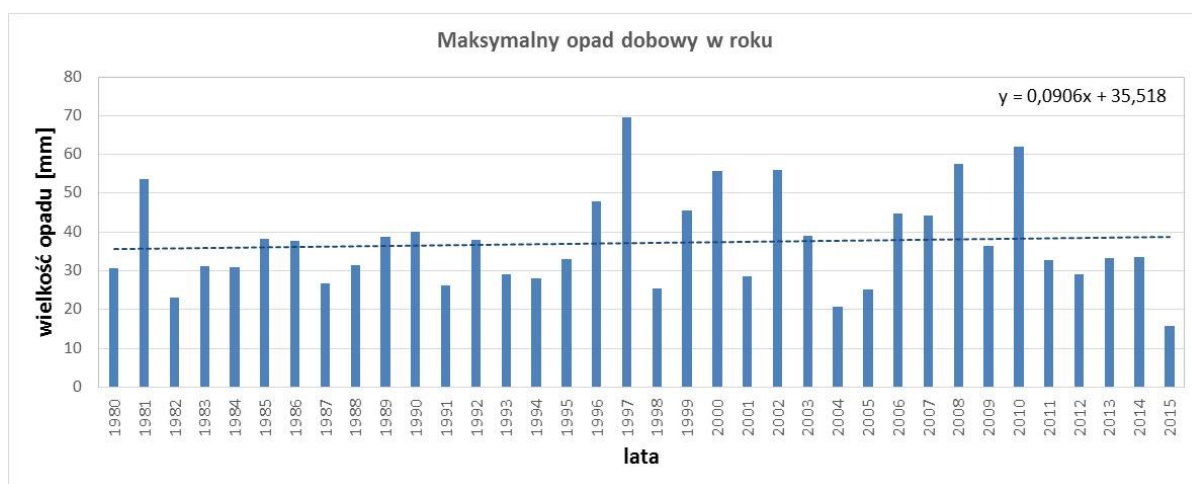
Rys. 18 Maksymalna suma opadu w ciągu pięciodniowym w Katowicach wraz z linią trendu

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

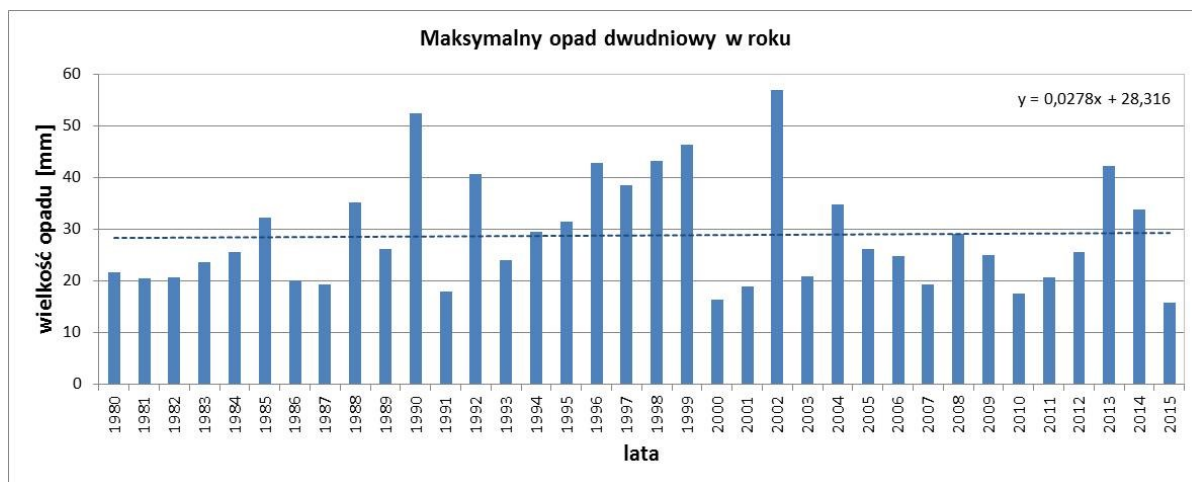
Nieco inaczej prezentują się dane charakteryzujące maksymalne sumy opadów na stacji w Czeladzi:

- maksymalne dobowe sumy opadów mieściły się w przedziale od 16 do 70 mm, a wartość średnia wyniosła 37 mm,
- maksymalne sumy opadów w ciągu dwudniowym mieściły się w przedziale od 16 do 57 mm, a wartość średnia wyniosła 29 mm,
- maksymalne sumy opadów w ciągu pięciodniowym mieściły się w przedziale od 5 do 104 mm, a wartość średnia wyniosła 30 mm.

Wyznaczone dla maksymalnego opadu dobowego, maksymalnego opadu w ciągu dwudniowym oraz maksymalnego opadu w ciągu pięciodniowym linie trendu nie są statystycznie istotne (rys.19, rys.20 i rys.21).

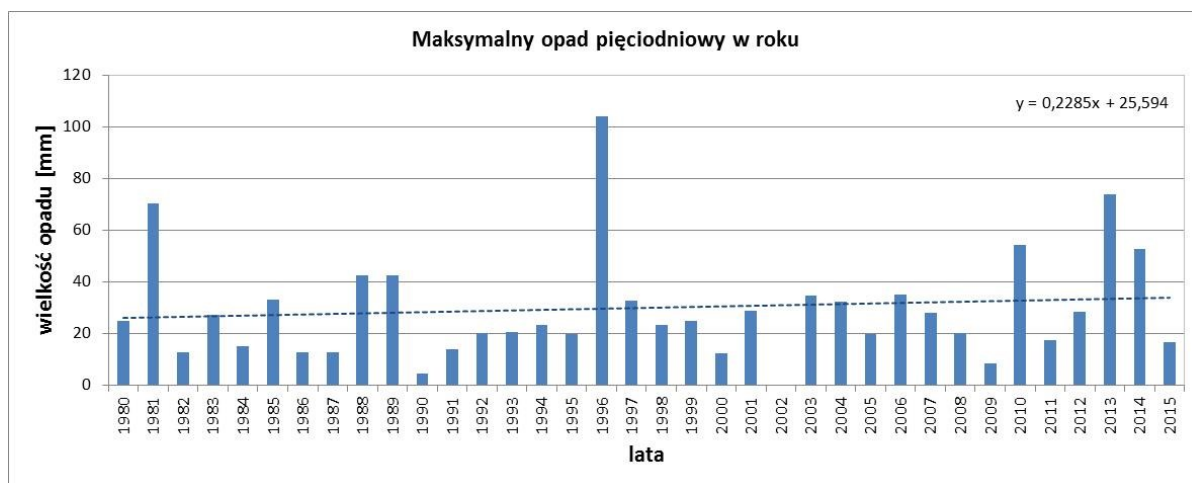


Rys. 19 Maksymalna dobową sumą opadu w Czeladzi wraz z linią trendu



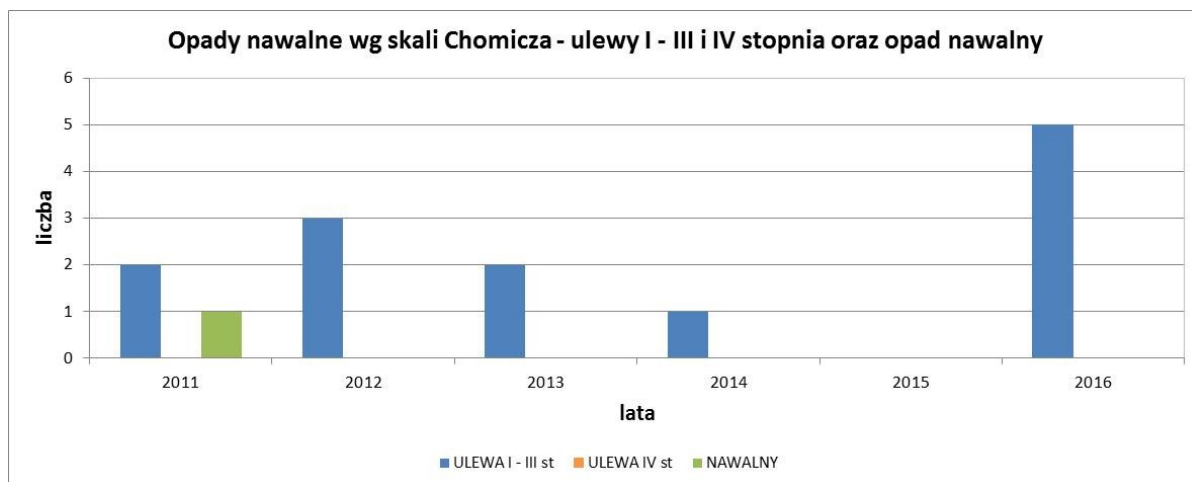
Rys. 20 Maksymalna suma opadu w ciągu dwudniowym w Czeladzi wraz z linią trendu

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



Rys. 21 Maksymalna suma opadu w ciągu pięciodniowym w Czeladzi wraz z linią trendu

W latach 2011–2016 na stacji w Katowicach rejestrowano również dane pozwalające prześledzić występowanie ulew i deszczy nawalnych (wg skali Chomicza), czyli opadów deszczu o bardzo dużej intensywności i stosunkowo krótkim czasie trwania, mogących prowadzić do występowania lokalnych podtopień na obszarze miasta. Częstość występowania ulew stopnia I-III była bardzo zróżnicowana, od zera w 2015 roku do pięciu w 2016 roku (rys. 22). Ulewa IV stopnia w analizowanym okresie czasu nie wystąpiła ani razu, a deszcz nawalny wystąpił tylko raz, w 2011 roku.

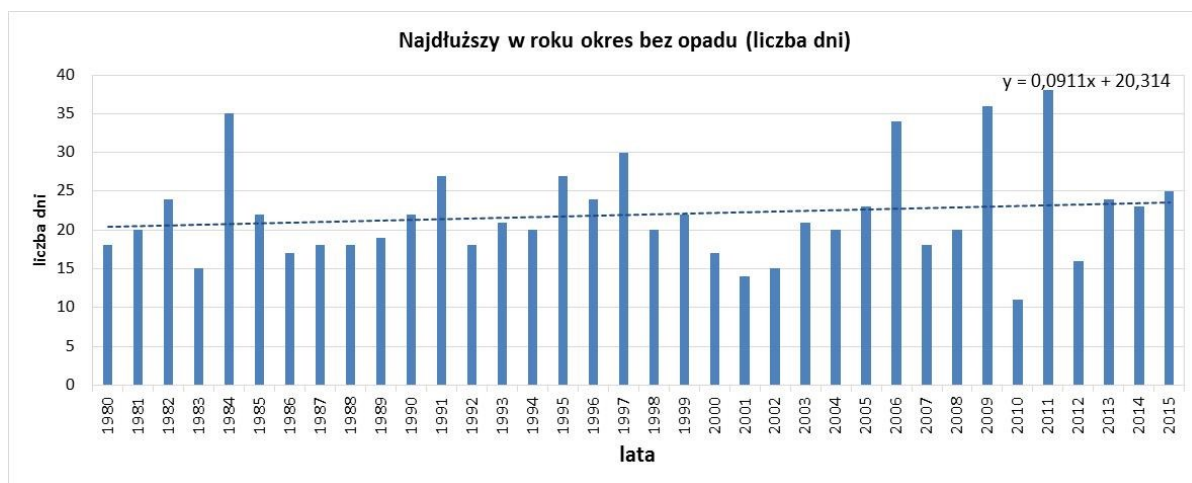


Rys. 22 Częstość występowania ulew I-III i IV stopnia oraz deszczy nawalnych wg skali Chomicza na stacji w Katowicach

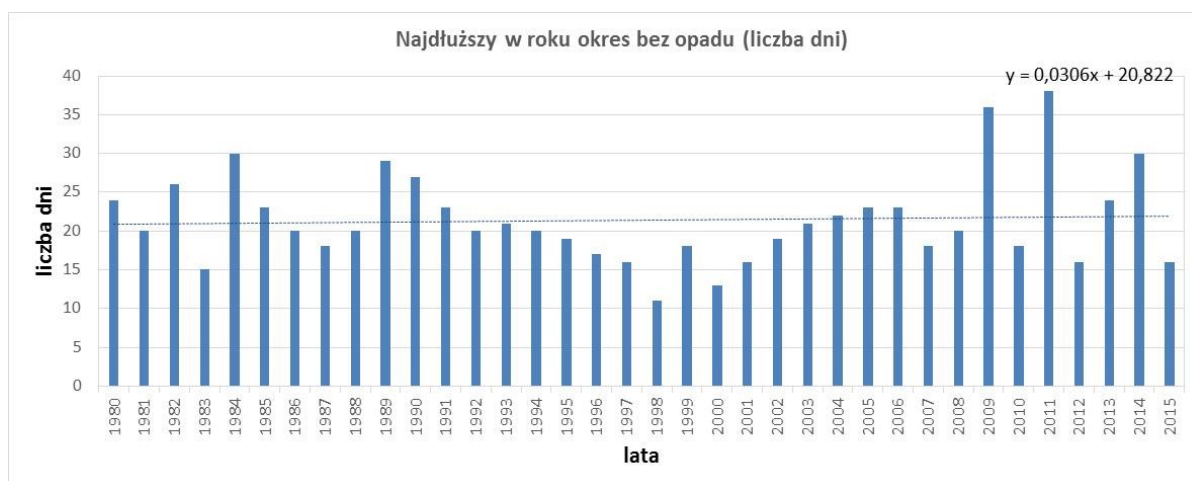
- Długotrwałe okresy bezopadowe**

Na poniższych wykresach (rys.23 i rys.24) przedstawiono odpowiednio dla stacji w Katowicach i stacji w Czeladzi dane dotyczące długotrwałych okresów bezopadowych, czyli takich, w których opad nie wystąpił, a jeżeli wystąpił, to wysokość tego opadu nie przekroczyła 1 mm. Najdłuższy 38-dniowy okres bezopadowy w analizowanym wieloleciu 1980–2015 na obu stacjach zarejestrowano w roku 2011, natomiast średnia wynosiła około 22 dni w przypadku Katowic i około 21 dni w przypadku Czeladzi. Wyznaczone dla analizowanej wielkości linie trendu na obu stacjach nie są statystycznie istotne.

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



Rys. 23 Najdłuższy w ciągu roku okres bez opadu na stacji w Katowicach wraz z linią trendu

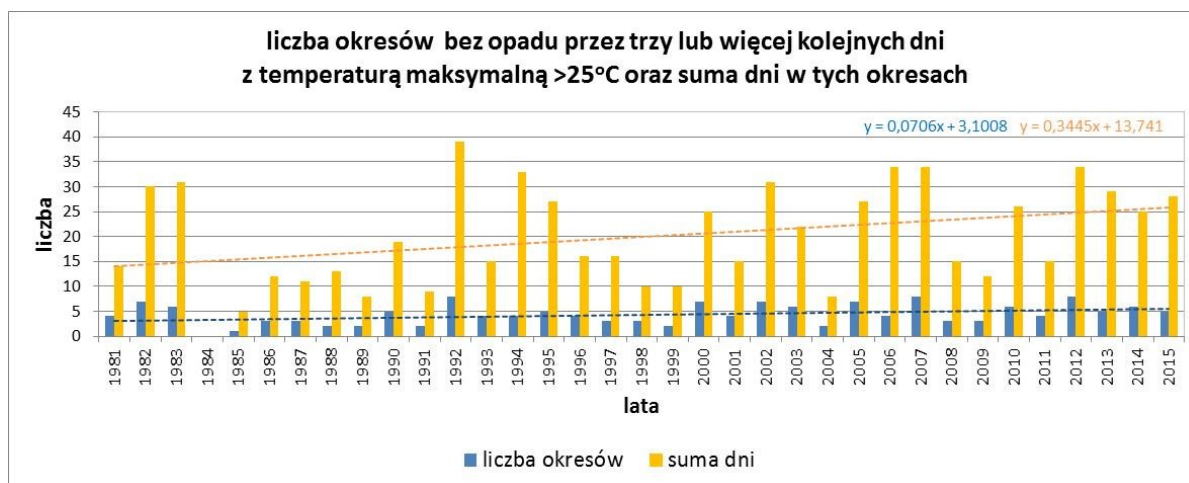


Rys. 24 Najdłuższy w ciągu roku okres bez opadu na stacji w Czeladzi wraz z linią trendu

Długotrwałe okresy bezopadowe w połączeniu z temperaturą maksymalną powyżej 25 °C

Na terenie Katowic stwierdzono w poszczególnych latach 1981–2015 do 8 okresów bezopadowych w roku, w których maksymalna dobową temperaturą w każdym dniu przekraczała poziom 25°C. Liczba dni w ciągu takich okresów wynosiła maksymalnie 39 dni (w 1992 roku). Poziom co najmniej 30 dni w ciągu roku w okresach bezopadowych połączonych z wysoką temperaturą został osiągnięty w latach 1982, 1983, 1992, 1994, 2002, 2006, 2007 i 2012. Wyznaczona dla liczby dni objętych okresami bezopadowymi połączonymi z wysoką temperaturą rosnąca linia trendu jest statystycznie istotna (rys.25).

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



Rys. 25 Liczba okresów bezopadowych z wysoką temperaturą oraz suma dni w tych okresach na stacji w Katowicach wraz z liniami trendu

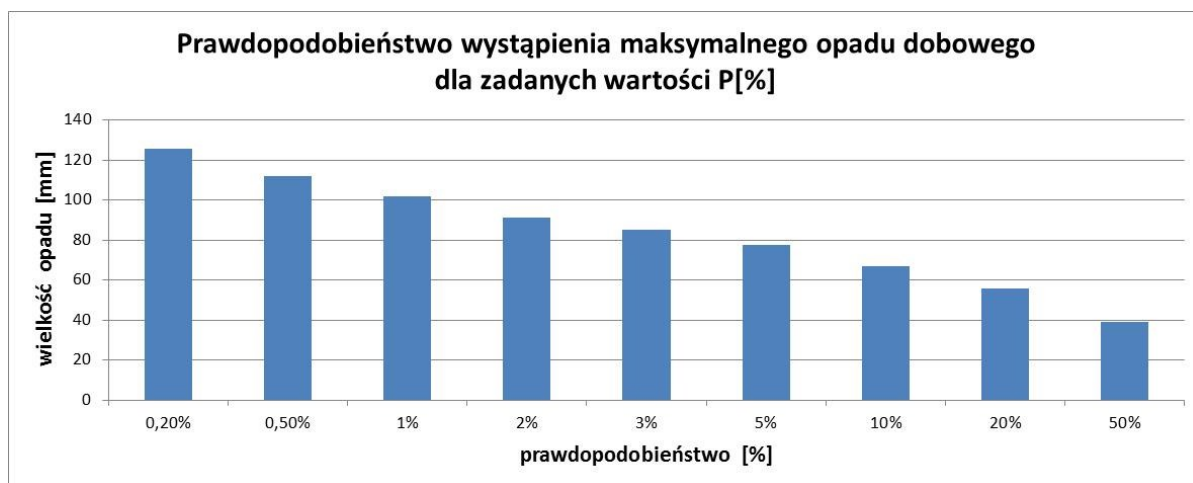
- **Prawdopodobieństwo przewyższenia maksymalnych opadów dobowych 2, 3, 5, 10 i 50%**

W oparciu o maksymalne roczne sumy dobowe opadu wyznaczono prawdopodobieństwo 0,2, 0,5, 1, 2, 3, 5 10 i 50% opadu co oznacza wystąpienie opadu odpowiednio raz na 500, 200, 100, 50, 33, 20, 10 lat i raz na 2 lata.

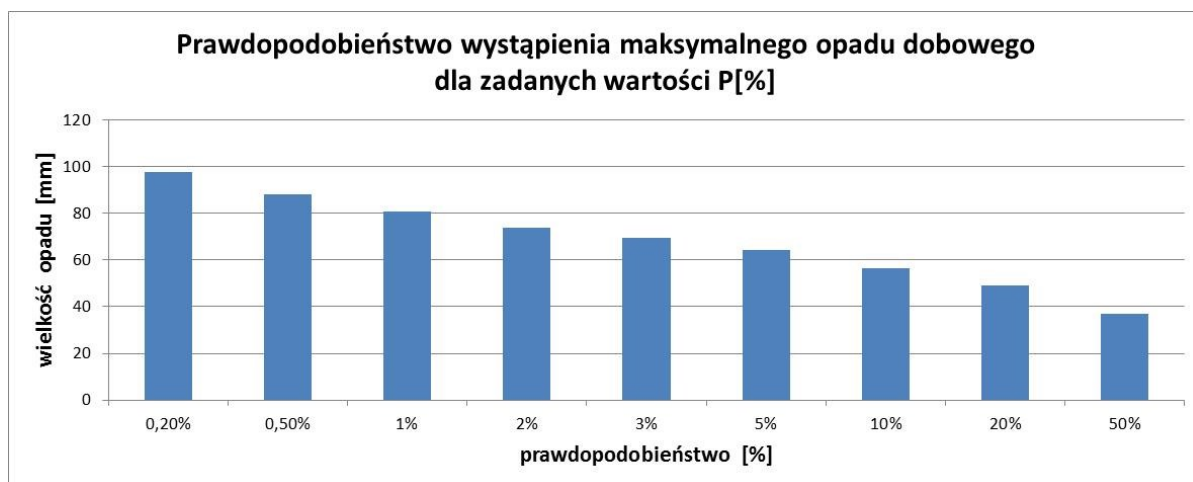
Opad ≥ 30 mm/dobę może powodować lokalne podtopienia i zalania terenów oraz pomieszczeń niżej położonych. Opad ≥ 50 mm/dobę powoduje powódzie miejskie, w których występują powierzchniowe zalania terenu oraz niżej położonych pomieszczeń. Opad ≥ 70 mm/dobę powoduje powódzie miejskie, powierzchnia gruntu nie nadąża wchłaniać spadającej wody, a studzienki burzowe i przekroje rur kanalizacyjnych nie nadążają odbierać wody, ulice stają się korytami „rzek opadowych”. Opad ≥ 100 mm/dobę to opad katastrofalny, następuje wtedy intensywny, niekontrolowany spływ wody do rzeki na skutek opadu, który w krótkim czasie może osiągać natężenie deszczu nawalnego, nagły (w ciągu 3 godzin) przybór wody w najbliższym cieku przekracza poziom wody brzegowej, zalewane są tereny wokół cieku, z katastrofalnymi zniszczeniami całej infrastruktury terenu, w tym mostów, jest to klęska żywiołowa, podczas której ludzie tracą życie.

Opady o dużej intensywności powodują znaczne szkody materialne i niematerialne. Intensywne kilkunastodniowe opady deszczu, o charakterze rozlewnym, obejmują duże obszary i są często przyczyną powodzi, natomiast krótkotrwałe deszcze ulewne i nawalne powodują m.in. wezbrania i powódzie lokalne typu *flash food*. Istotne jest zatem określenie z jakim prawdopodobieństwem mogą wystąpić maksymalne opady dobowe (mm).

W oparciu o prawdopodobieństwo wystąpienia maksymalnego opadu dobowego (mm) (metoda Gumbella) dla zadanych wartości $P[\%]$ można stwierdzić, że w Katowicach opad o wysokości 40 mm wystąpi raz na 2 lata (prawdopodobieństwo 50%), a opad o wysokości 100 mm wystąpi raz na 100 lat (prawdopodobieństwo 1%) (rys.26). Dla stacji w Czeladzi wartości te są nieco niższe i tak raz na 2 lata (prawdopodobieństwo 50%) wystąpi tam opad o wysokości 37 mm, a raz na 100 lat (prawdopodobieństwo 1%) wystąpi opad o wysokości 80 mm (rys.27).



Rys. 26 Prawdopodobieństwo wystąpienia maksymalnego opadu dobowego dla zadanych wartości P[%] na stacji w Katowicach



Rys. 27 Prawdopodobieństwo wystąpienia maksymalnego opadu dobowego dla zadanych wartości P[%] na stacji w Czeladzi

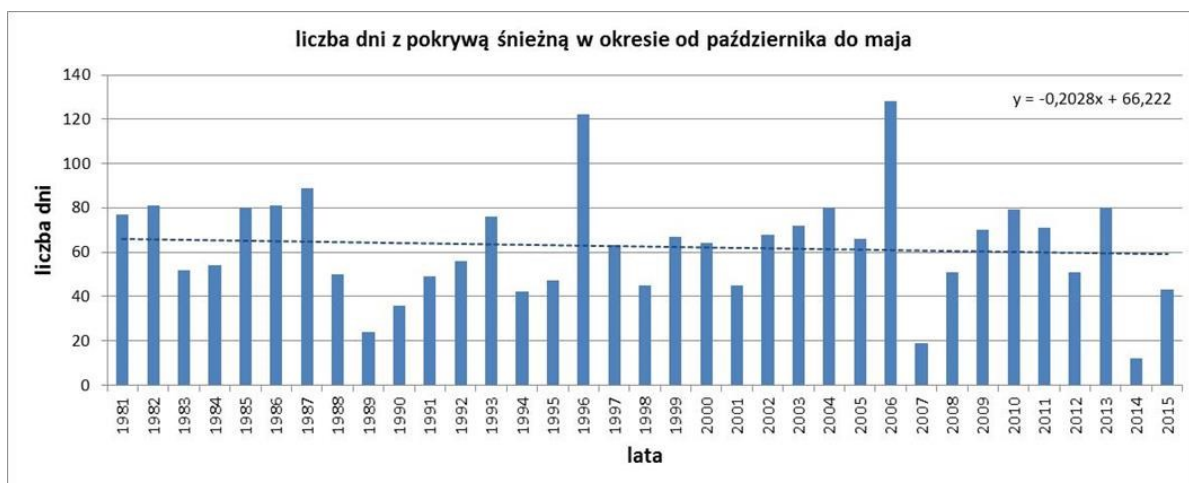
• Pokrywa śnieżna

Niezwykle istotnym stresorem wpływającym na wiele sektorów w mieście jest występowanie pokrywy śnieżnej, która w naszym kraju (poza obszarami górskimi) występuje od października do maja. Intensywne opady śniegu stwarzają zagrożenie dla wielu dziedzin gospodarki. Najczęstszym skutkiem są utrudnienia komunikacyjne, nieprzejezdnosć dróg, brak dojazdu do obszarów zamieszkałych. W konsekwencji takie opady powodują zagrożenie dla zdrowia i życia ludzi. Śnieg, zwłaszcza mokry, przy znacznej pokrywie, obciąża dachy, powodując niekiedy katastrofy budowlane. Dodatkowo powoduje poważne szkody w drzewostanie, uszkodzenia napowietrznych linii przesyłowych. Podczas nagłego ocieplenia w warunkach zalegania grubej pokrywy śnieżnej wzrasta ryzyko powodzi roztopowych.

Analizie poddane zostały takie parametry jak: liczba dni z pokrywą śnieżną, czyli warstwą śniegu o grubości powyżej 1 cm pokrywającą ponad połowę powierzchni, początek i koniec występowania pokrywy śnieżnej w okresie od października do maja oraz maksymalny opad śniegu (w przeliczeniu na mm deszczu).

Średnia roczna liczba dni z pokrywą śnieżną w Katowicach w okresie 1981–2015 wynosiła ok. 63. Najwięcej dni z pokrywą śnieżną: 122 i 128 zanotowano odpowiednio w latach 1996 oraz 2006. Zdarzyły się 2 lata (2007, 2014), w których zanotowano mniej niż 20 dni z pokrywą śnieżną. Wyznaczony malejący trend liczby dni z pokrywą śnieżną nie jest statystycznie istotny (rys.28).

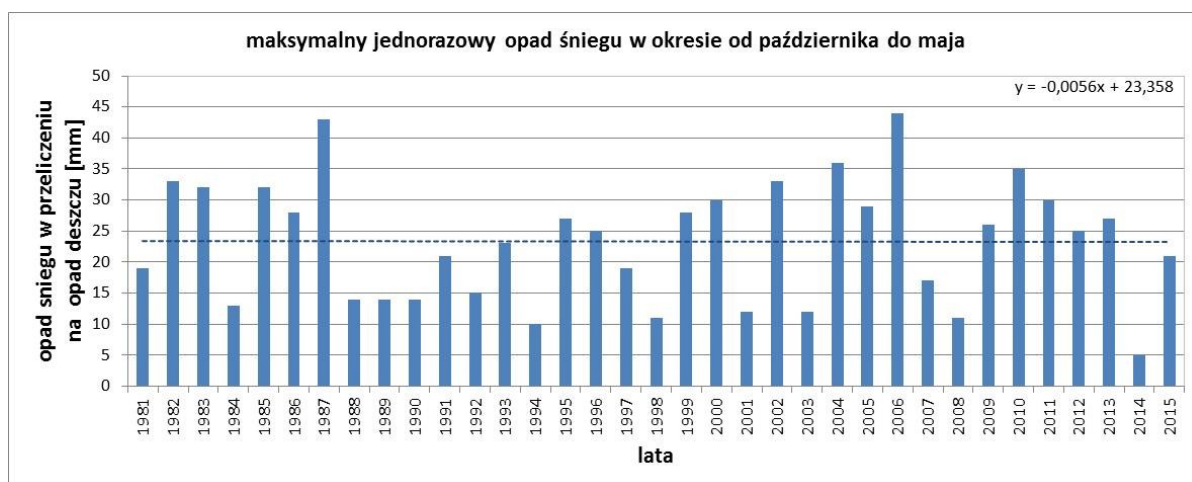
OPRACOWANIE PLANÓW ADAPTACJI DO ZMIAN KLIMATU W MIASTACH POWYŻEJ 100 TYS. MIESZKAŃCÓW



Rys. 28 Liczba dni z pokrywą śnieżną na stacji w Katowicach wraz z linią trendu

W analizowanym okresie 1981–2015 pokrywa śnieżna najwcześniej pojawiała się w drugiej połowie października (lata 1988, 1992, 1997, 2009), a najpóźniej znikła w 1985 roku, kiedy to utrzymywała się do 1 maja.

Wysokość maksymalnego jednorazowego opadu śniegu w Katowicach wahała się znacznie w poszczególnych latach analizowanego okresu, wynosząc od 5 mm w 2014 roku do 44 mm w 2006 roku. Średnia wartość tego parametru w całym analizowanym okresie wyniosła około 23 mm. Wyznaczona dla tego parametru linia trendu nie jest statystycznie istotna (rys.29).



Rys. 29 Maksymalny jednorazowy opad śniegu na stacji w Katowicach wraz z linią trendu

- Okresy niżówkowe (rzeki)

Niżówkę definiujemy 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). Stosując kryterium gospodarcze wartość przepływu granicznego przyjmuje się na poziomie $Q_{70\%}$. Niżówki są również wskaźnikiem wyznaczania susz hydrologicznych (Tokarczyk 2010).

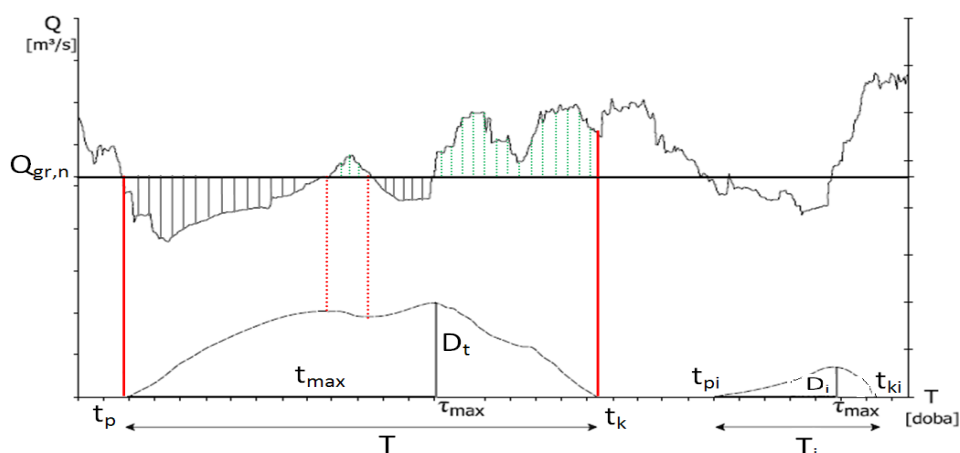
Niżówki opracowano stosując następujące kroki postępowania:

- zdefiniowano niżówkę,
- dobrano wartość przepływu granicznego niżówki wg kryterium gospodarczego,
- dokonano separacji niżówek jako zdarzeń niezależnych,
- wyznaczono parametry wydzielonych niżówek w postaci: objętości niedoboru przepływu D_i , czasu trwania niżówki T_i , przepływu najniższego niżówki $Q_{\min,i}$.

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

Dane wejściowe do wyznaczania okresów niżówkowych stanowią hydrogramy codziennych przepływów z wielolecia 1981-2015. Przepływ graniczny niżówki na poziomie $Q_{70\%}$ określono na podstawie krzywej sum czasów trwania przepływów wraz z wyższymi. Wartość $Q_{70\%}$ dla zlewni z obszaru Polski jest zbliżona do wartości SNQ (Tokarczyk i in. 2007).

Separację niżówek niezależnych przeprowadzono metodą ciągu kolejnych minimów SPA (rys.30), polegającą na wyznaczeniu objętości niedoboru przepływu (deficytu niżówki) na podstawie krzywej sumowej odpływu (Tallaksen, 1997).



Rys. 30 Wydzielanie niżówek niezależnych metodą SPA, gdzie: $Q_{gr,n}$ - przepływ graniczny niżówki, D_t - objętość niedoboru przepływu niżówki, T - czas trwania niżówki, t_p - początek niżówki, t_k - koniec niżówki

Objętość niedoboru przepływu wynosi:

$$D(t) = \begin{cases} D(t - \Delta t) + (Q_{gr,n} - Q(t)) \cdot \Delta t & \text{if } D(t - \Delta t) + (Q_{gr,n} - Q(t)) \cdot \Delta t > 0 \\ 0, & \text{if } D(t - \Delta t) + (Q_{gr,n} - Q(t)) \cdot \Delta t < 0 \end{cases}$$

gdzie: D_t - objętość niedoboru przepływu (deficytu niżówki) [m^3], $Q_{gr,n}$ - przepływ graniczny niżówki, Δt - krok czasowy [doba].

Objętość niedoboru przepływu (deficytu niżówki) D_t odpowiada maksymalnemu odpływowi, a czas trwania niżówki d_{max} oznacza okres od jej początku τ_0 do osiągnięcia odpływu maksymalnego τ_{max} , czyli $d_{max} = \tau_{max} - \tau_0 + 1$. W metodzie tej sumaryczny czas trwania niżówki d jest sumą okresów d_{max} oraz okresu, gdy $D_t > 0$.

Wyznaczone zostały ponadto wartości niedoborów przepływów niżówkowych oraz czasów trwania o określonym prawdopodobieństwie nieosiągnięcia. Do ich określenia konieczna jest liczba niżówek nie mniejsza niż 30. Do rozkładu prawdopodobieństwa niżówek maksymalnych wykorzystuje się rozkład maksymalnych przepływów niskich. Rozkład maksymalnego niedoboru niżówki oraz maksymalnego czasu trwania niżówki $H(x)$ ma postać:

$$H(x) = P(E = 0) + \sum_{k=1}^{\infty} F^k(x) \Pr(E = k)$$

gdzie: E - liczba niżówek w kolejnych latach, $F(x)$ - rozkład - dystrybuenta niedoboru niżówki (czasu trwania niżówki).

Rozkład liczby niżówek E może być wyrażony rozkładami Poissona lub Pascala. Rozkład $F(x)$ niedoboru wody albo czasu trwania niżówki może być jednym z rozkładów o funkcji gęstości: Gamma, Weibulla, logarytmiczno-normalnym, Johnsona, podwójnym wykładniczym lub uogólnionym Pareto.

Okresy niżówkowe charakteryzowane są następującymi parametrami:

- wartości dobowe przepływów rzecznych [m^3/s],
- przepływ graniczny niżówki Q_0 [m^3/s],
- objętość niedoboru przepływu niżówki (deficyt niżówki) D_i [tys. m^3],

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

- czas trwania niżówki T_i [dni],
- intensywność niżówki D/T ,
- minimalny przepływ niżówki Q_{\min} [m^3/s].

Przeprowadzono również klasyfikację niżówek i susz hydrologicznych. Dla każdej wyznaczonej niżówki obliczono znormalizowany wskaźnik suszy hydrologicznej:

$$WSH = \frac{D_i T}{D_{95\%} T_{95\%}}$$

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.

Dąbrowa Górnicza położona jest w zlewniach 2 rzek: Czarnej Przemszy oraz Białej Przemszy. Analizę przeprowadzono w oparciu o dane dla wytypowanych przez IMGW-PIB reprezentatywnych dla Dąbrowy Górniczej punktów wodowskazowych (rys.31):

- Przeczyce na Czarnej Przemszy, na 51,73 km rzeki (kod 10460), dane dla lat 1981–2015,
- Łagisza na Czarnej Przemszy, na 41,58 km rzeki (kod 10461), dane dla lat 1989–2015,
- Radocha na Czarnej Przemszy, na 27,55 km rzeki (kod 10480), dane dla lat 1981–2015,
- Dąbrowa Górnicza na Pogorii, na 0,89 km rzeki (kod 10520), dane dla lat 1981–2014,
- Gołczowice na Białej Przemszy, na 52,50 km rzeki (kod 10590), dane dla lat 1981–1998 oraz 2000–2015,
- Sławków na Białej Przemszy, na 26,92 km rzeki (kod 10610), dane dla lat 1981–2015.



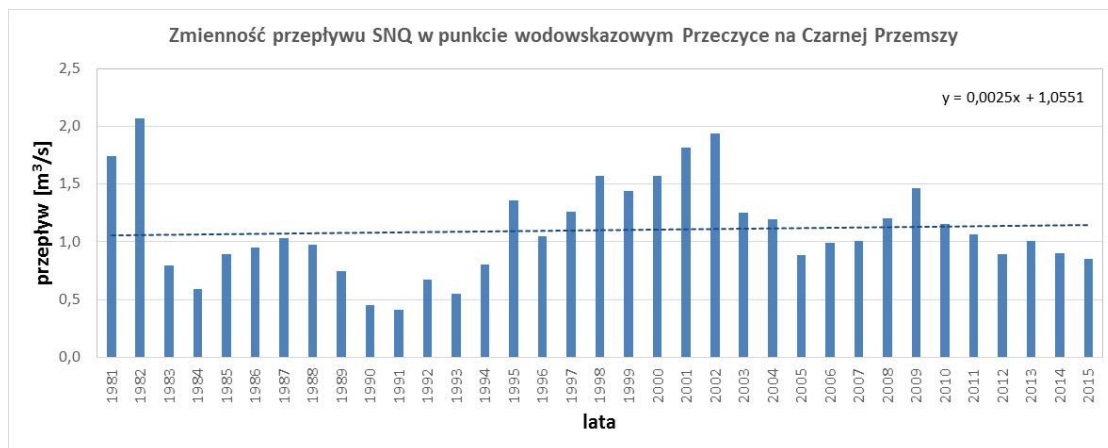
Rys. 31 Punkty wodowskazowe uwzględnione w analizie niżówek dla miasta Dąbrowa Górnicza

Analiza przepływów niskich

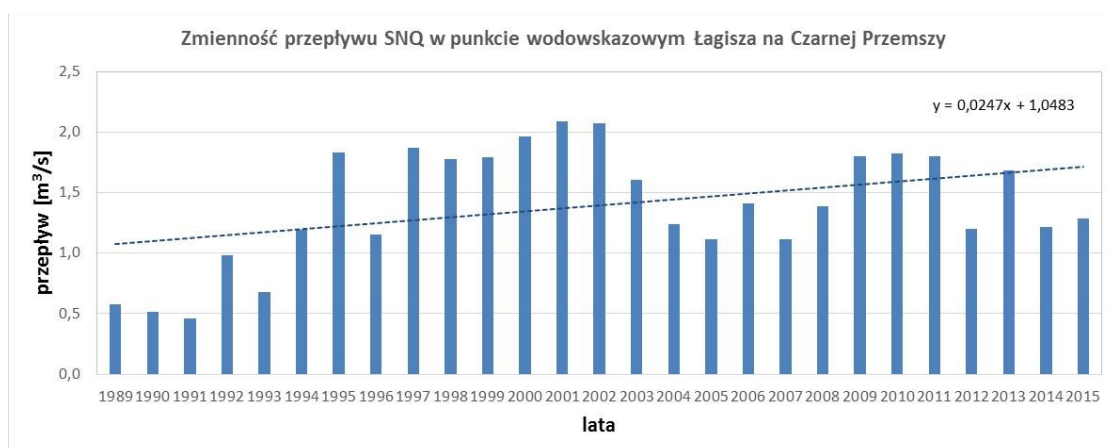
Zastosowana metodyka pozwala na analizę okresów niżówkowych w wybranych punktach wodowskazowych reprezentujących odcinek rzeki. Przepływy średnie niskie oraz średnie z wielolecia pozwalają na ocenę hydrologii rzeki oraz zlewni w wieloletnim okresie obserwacyjnym.

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

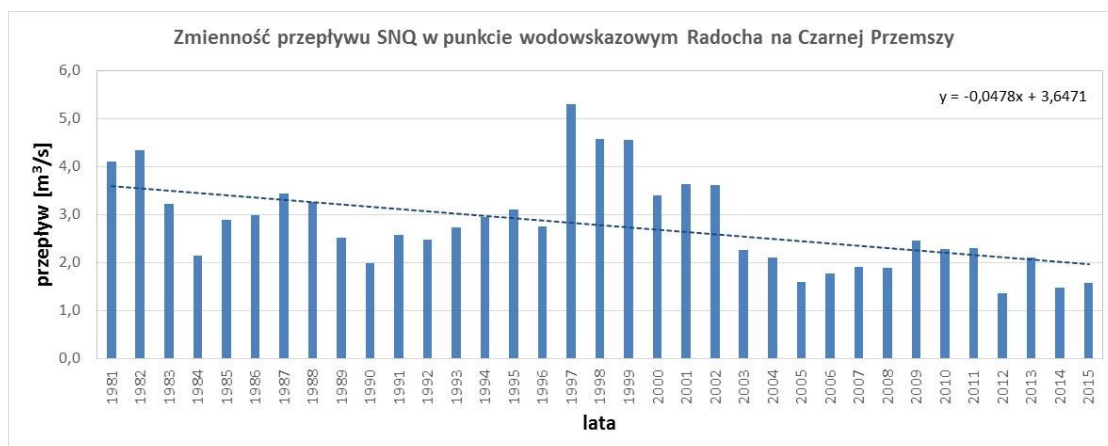
Na rys.32 do rys.37 przedstawiono zmienność przepływu minimalnego rocznego SNQ w analizowanym wieloleciu na posterunkach wodowskazowych reprezentatywnych dla obszaru miasta.



Rys. 32 Zmienność przepływu minimalnego w punkcie wodowskazowym Przeczycie na Czarnej Przemszy wraz z linią trendu

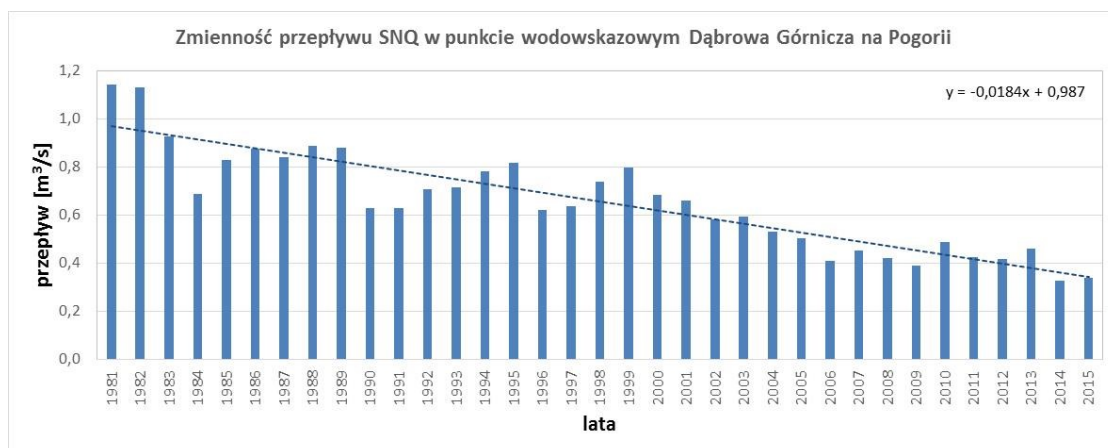


Rys. 33 Zmienność przepływu minimalnego w punkcie wodowskazowym Łagisza na Czarnej Przemszy wraz z linią trendu

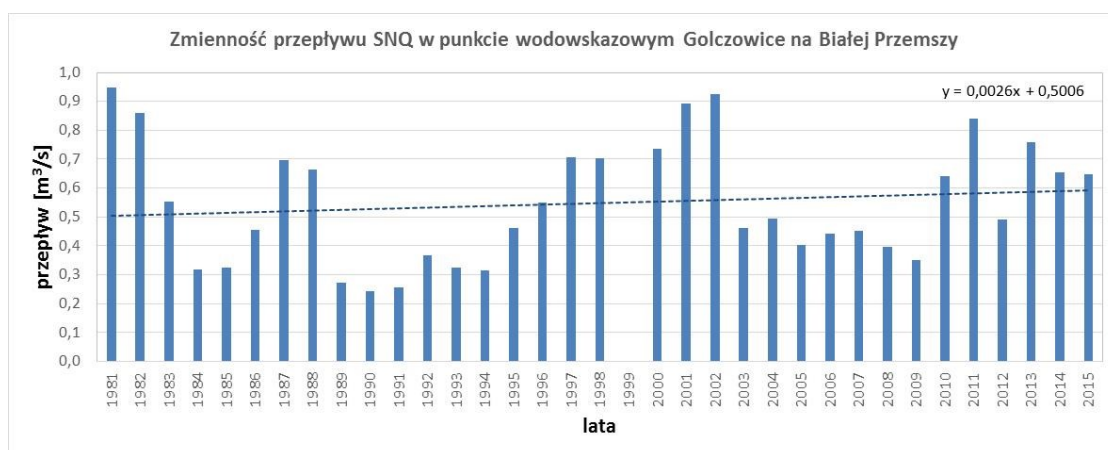


Rys. 34 Zmienność przepływu minimalnego w punkcie wodowskazowym Radocha na Czarnej Przemszy wraz z linią trendu

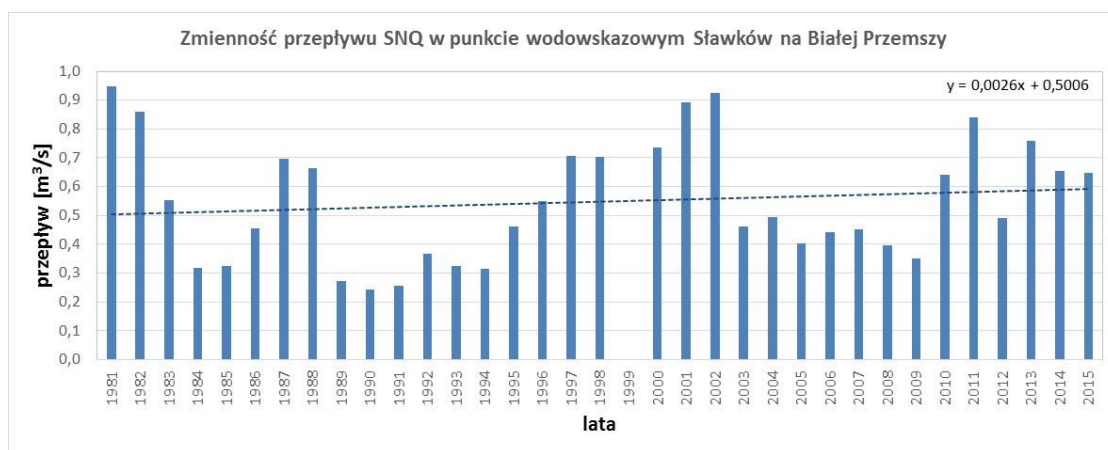
OPRACOWANIE PLANÓW ADAPTACJI DO ZMIAN KLIMATU W MIASTACH POWYŻEJ 100 TYS. MIESZKAŃCÓW



Rys. 35 Zmienność przepływu minimalnego w punkcie wodowskazowym Dąbrowa Górnicza na Pogorii wraz z linią trendu



Rys. 36 Zmienność przepływu minimalnego w punkcie wodowskazowym Golczowice na Białej Przemszy wraz z linią trendu



Rys. 37 Zmienność przepływu minimalnego w punkcie wodowskazowym Sławków na Białej Przemszy wraz z linią trendu

Przepływ SNQ na wszystkich posterunkach ulegał znacznym wahaniom w analizowanym okresie, jednak da się zaobserwować, że w punkcie wodowskazowym Łągisza na Czarnej Przemszy wyznaczona linia trendu ma charakter rosnący, podczas gdy w punkcie wodowskazowym Radocha na Czarnej Przemszy oraz w punkcie wodowskazowym Dąbrowa Górnicza na Pogorii obserwowana jest

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

wyraźna tendencja spadkowa. Jednak we wszystkich przypadkach obserwowany trend może być wynikiem działalności gospodarczej (poboru wody lub zrzutu ścieków). Linie trendu przepływu SNQ w pozostałych punktach wodowskazowych nie są statystycznie istotne.

Analiza okresów niżówkowych

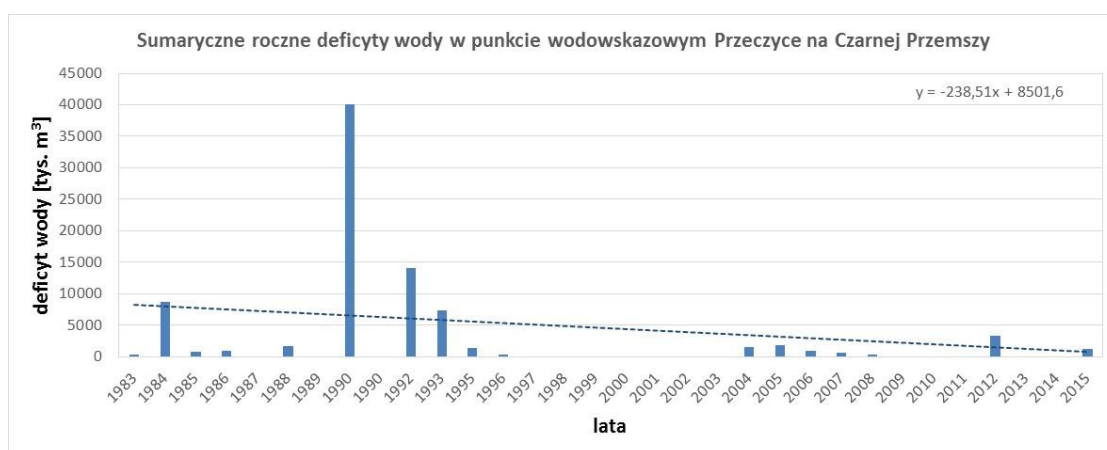
Poniższe rysunki przedstawiają liczbę niżówek w poszczególnych latach dla każdego z reprezentatywnych dla Dąbrowy Górniczej punktów wodowskazowych oraz sumaryczne roczne deficyty wody w ciągu roku wynikające z wystąpienia tych niżówek.

Punkt wodowskazowy Przeczycze na Czarnej Przemszy

W punkcie tym, w analizowanym okresie czasu, występowało od 0 do maksymalnie 3 (rok 1986) niżówek w ciągu roku (rys.38), a maksymalny sumaryczny deficyt wody wyniósł 40 mln m³ (rok 1990). Jednak w pozostałych latach maksymalny sumaryczny deficyt wody nie przekraczał w tym punkcie 15 mln m³/rok (rys.39). Wyznaczona dla liczby niżówek linia trendu nie jest statystycznie istotna, natomiast sumaryczny deficyt wody charakteryzuje się wyraźną tendencją spadkową.



Rys. 38 Roczna liczba niżówek w punkcie wodowskazowym Przeczycze na Czarnej Przemszy wraz z linią trendu

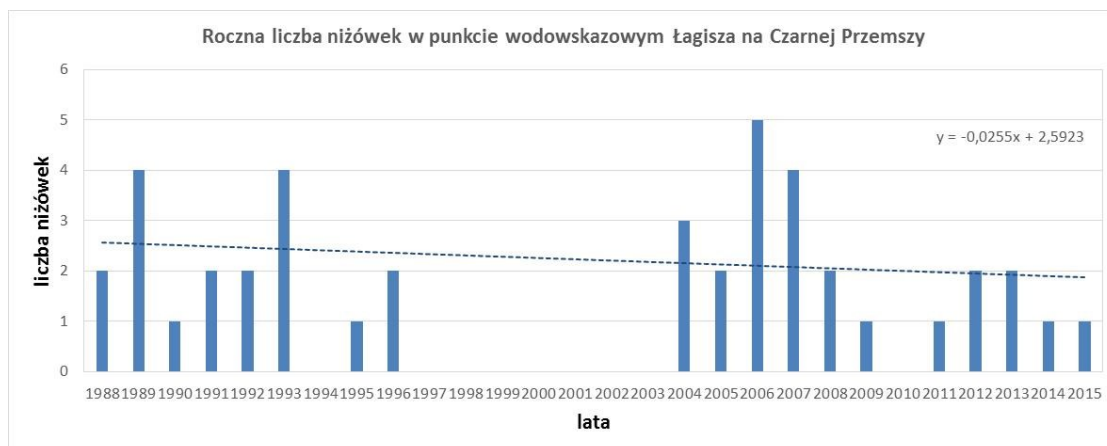


Rys. 39 Sumaryczne roczne deficyt wody w punkcie wodowskazowym Przeczycze na Czarnej Przemszy wraz z linią trendu

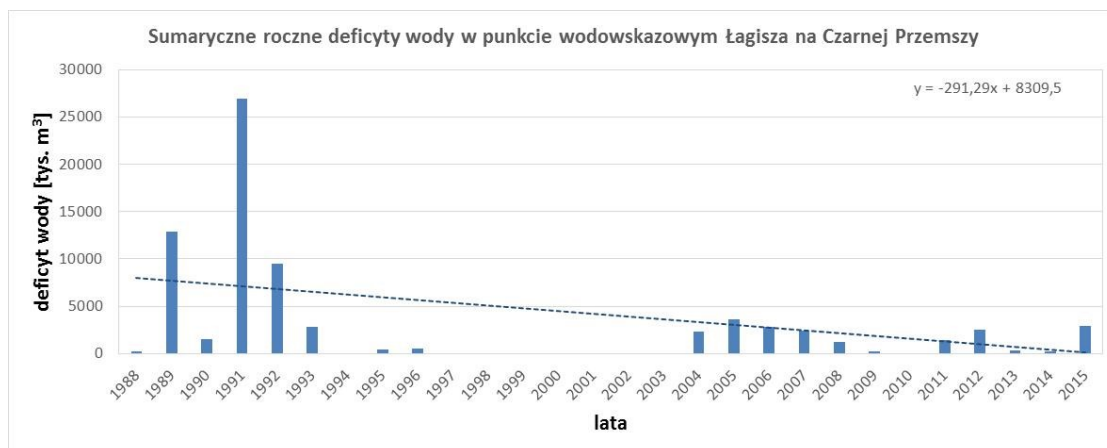
OPRACOWANIE PLANÓW ADAPTACJI DO ZMIAN KLIMATU W MIASTACH POWYŻEJ 100 TYS. MIESZKAŃCÓW

Punkt wodowskazowy Łagisza na Czarnej Przemszy

W punkcie tym w analizowanym okresie czasu występowało od 0 do maksymalnie 5 (rok 2006) niżówek w ciągu roku (rys.40), a sumaryczny deficyt wody osiągał do 27 mln m³/rok (rys.41). Wyznaczone dla liczby niżówek oraz dla sumarycznego deficytu wody linie trendu charakteryzują się wyraźną tendencją spadkową.



Rys. 40 Roczna liczba niżówek w punkcie wodowskazowym Łagisza na Czarnej Przemszy wraz z linią trendu

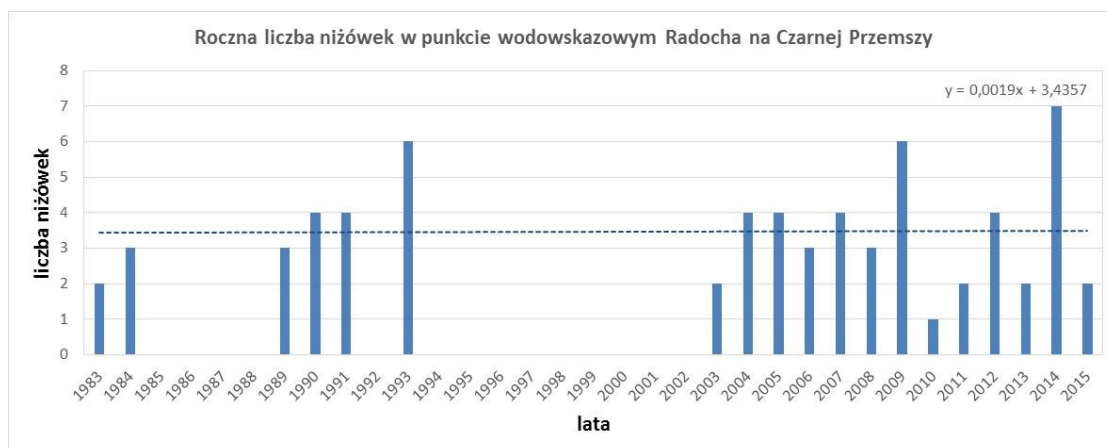


Rys. 41 Sumaryczne roczne deficyty wody w punkcie wodowskazowym Łagisza na Czarnej Przemszy wraz z linią trendu

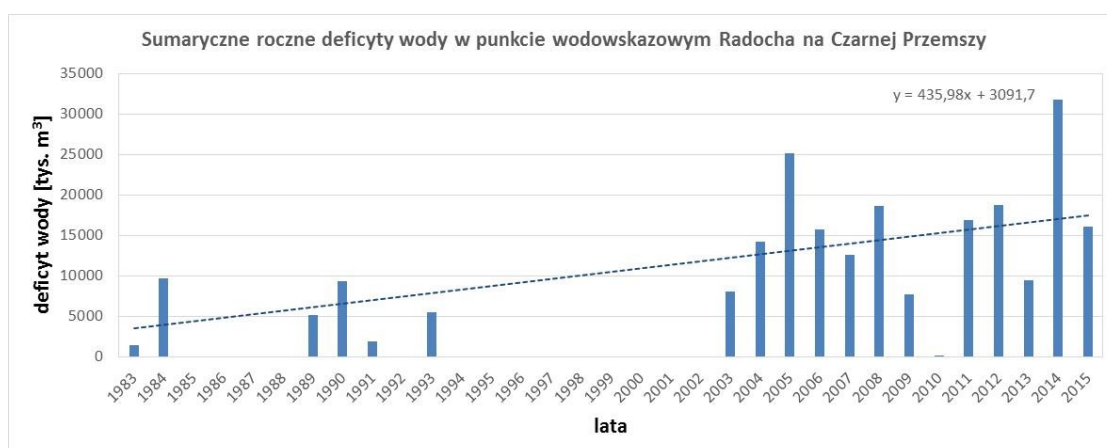
Punkt wodowskazowy Radocha na Czarnej Przemszy

W punkcie wodowskazowym Radocha na Czarnej Przemszy w analizowanym wieloleciu występowało w poszczególnych latach od 0 do maksymalnie 7 niżówek w ciągu roku, wartość średnia w analizowanym okresie wyniosła 3 niżówki (rys.42). Maksymalny sumaryczny deficyt wody wystąpił, podobnie jak maksymalna liczba niżówek, w 2014 roku i wyniósł 32 mln m³ (rys.43). Wyznaczona dla liczby niżówek linia trendu nie jest statystycznie istotna, natomiast sumaryczny deficyt wody wykazuje wyraźną tendencję rosnącą.

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



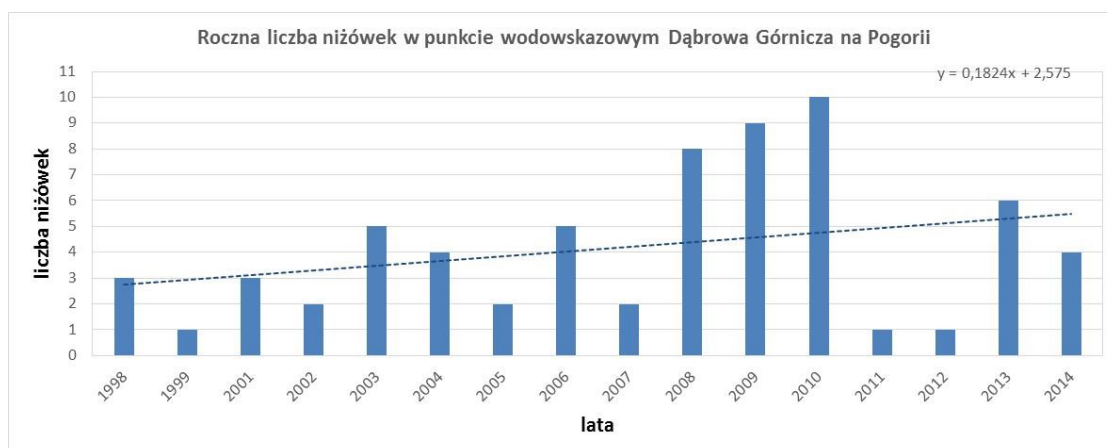
Rys. 42 Roczna liczba niżówek w punkcie wodowskazowym Radocha na Czarnej Przemszy wraz z linią trendu



Rys. 43 Sumaryczne roczne deficyty wody w punkcie wodowskazowym Radocha na Czarnej Przemszy wraz z linią trendu

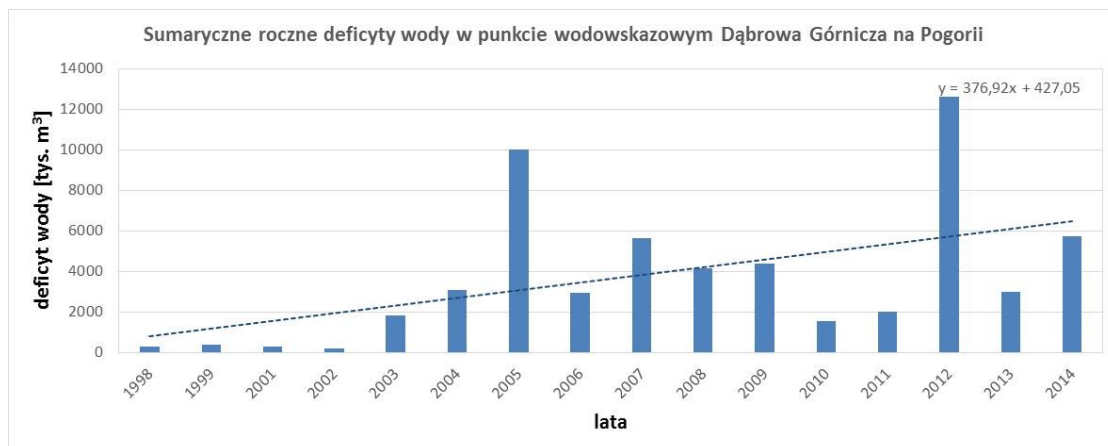
Punkt wodowskazowy Dąbrowa Górnicza na Pogorii

Na Pogorii w analizowanym okresie 1998 - 2014 wystąpiło w ciągu roku od 1 do maksymalnie 10 (w 2010 roku) niżówek (rys.44), a sumaryczne deficyty wody wynosiły od 0,2 (rok 2002) do 12,5 mln m³ (rok 2012) - rys.45. Wyznaczone dla liczby niżówek oraz sumarycznego deficytu wody linie trendu wykazują na rzece Pogorii wyraźną tendencję rosnącą.



Rys. 44 Roczna liczba niżówek w punkcie wodowskazowym Dąbrowa Górnicza na Pogorii wraz z linią trendu

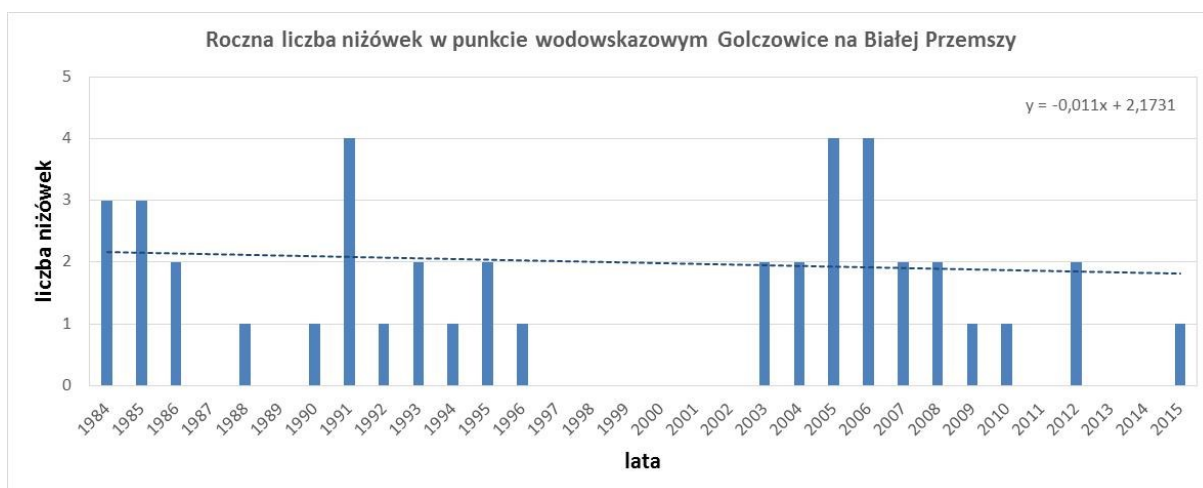
OPRACOWANIE PLANÓW ADAPTACJI DO ZMIAN KLIMATU W MIASTACH POWYŻEJ 100 TYS. MIESZKAŃCÓW



Rys. 45 Sumaryczne roczne deficyty wody w punkcie wodowskazowym Dąbrowa Górnicza na Pogorii wraz z linią trendu

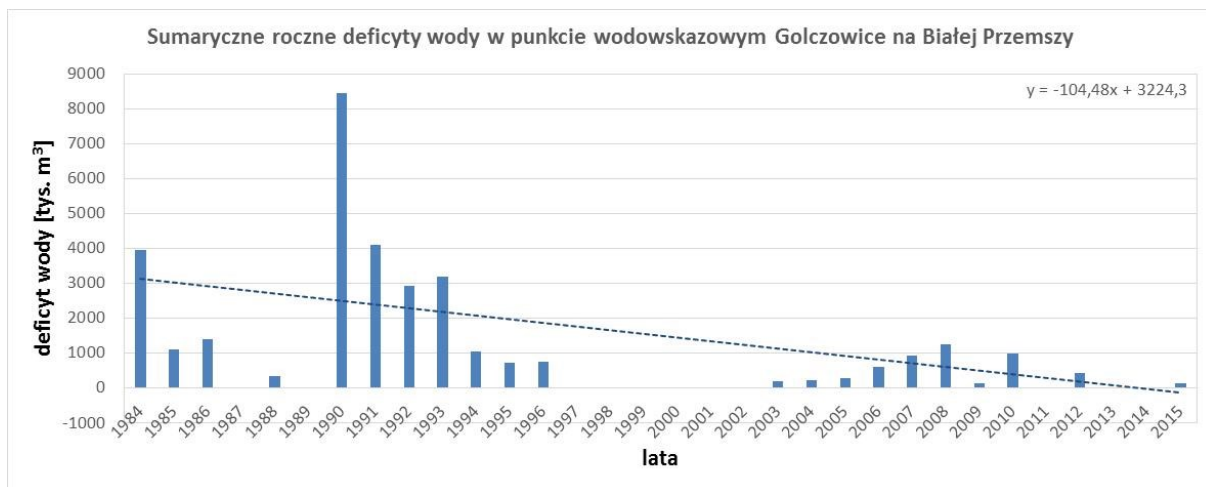
Punkt wodowskazowy Golczowice na Białej Przemszy

W punkcie tym w analizowanym okresie czasu występowało od 0 do maksymalnie 4 niżówek w ciągu roku (rys.46), a sumaryczny deficyt wody osiągał do 8,5 mln m³/rok (rys.47). Wyznaczona dla liczby niżówek linia trendu nie jest statystycznie istotna, natomiast sumaryczny deficyt wody wykazuje wyraźną tendencję spadkową.



Rys. 46 Roczna liczba niżówek w punkcie wodowskazowym Golczowice na Białej Przemszy wraz z linią trendu

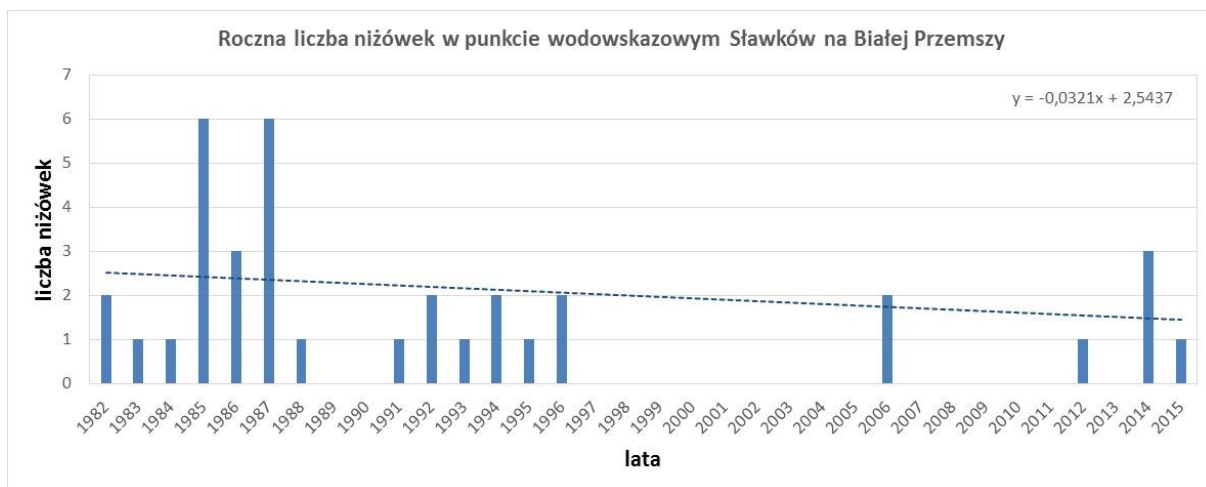
OPRACOWANIE PLANÓW ADAPTACJI DO ZMIAN KLIMATU W MIASTACH POWYŻEJ 100 TYS. MIESZKAŃCÓW



Rys. 47 Sumaryczne roczne deficyty wody w punkcie wodowskazowym Golczowice na Białej Przemszy wraz z linią trendu

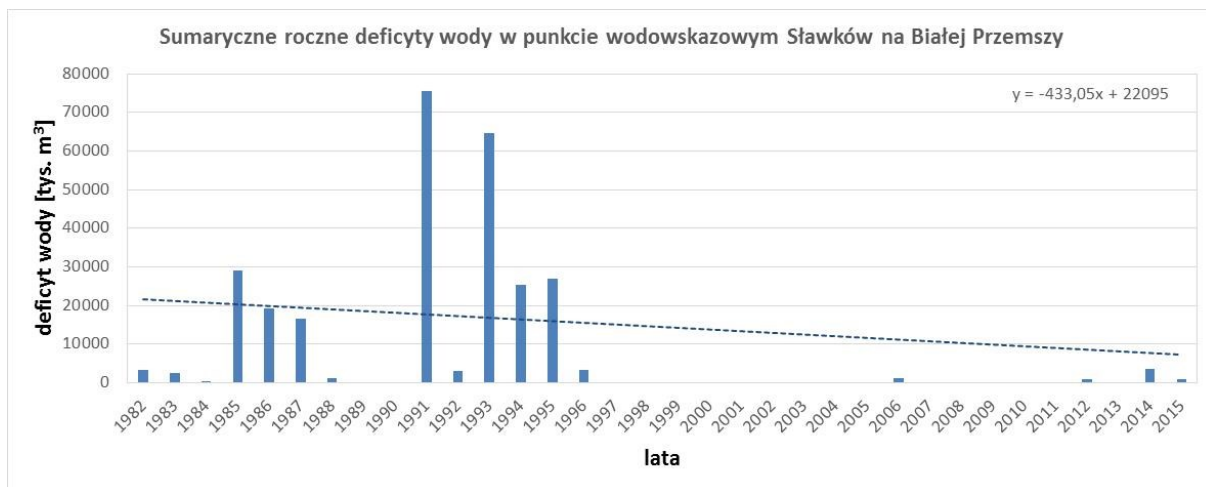
Punkt wodowskazowy Sławków na Białej Przemszy

W punkcie tym w analizowanym okresie czasu występowało od 0 do maksymalnie 6 niżówek w ciągu roku (rys.48), a sumaryczny deficyt wody osiągał do 75 mln m³/rok (rys.49). Wyznaczone dla liczby niżówek oraz dla sumarycznego deficytu wody malejące linie trendu nie są statystycznie istotne.



Rys. 2. Roczna liczba niżówek w punkcie wodowskazowym Sławków na Białej Przemszy wraz z linią trendu

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



Rys. 3. Sumaryczne roczne deficyty wody w punkcie wodowskazowym Sławków na Białej Przemszy wraz z linią trendu

- Susze**

Susza jest zjawiskiem o charakterze tymczasowym, naturalnie występującym w środowisku, związanym z ograniczoną dostępnością wody na określonym obszarze. Z reguły jest zjawiskiem długotrwałym, mogącym trwać od miesięcy do kilku lat, przechodzącym różne fazy rozwoju (susza meteorologiczna, glebowa, hydrologiczna). Podobna zmienność może dotyczyć obszaru objętego suszą – obszar może się zmieniać w zależności od panujących na nim warunków lokalnych. Z praktycznego punktu widzenia susza jest traktowana jak zagrożenie naturalne, mogące powodować szereg negatywnych skutków dla społeczeństwa (np. możliwe problemy zaopatrzenia gospodarstw domowych w wodę i wynikające z tego uciążliwości codziennego życia), gospodarki (np. ograniczenia dostaw wody na cele technologiczne) i środowiska (wpływ na ekosystemy, zwłaszcza gatunki flory i fauny związane ze środowiskiem wodnym).

W ocenie suszy hydrologicznej wykorzystano standaryzowany wskaźnik odpływu SRI (ang. Standardized Runoff Index) (Shukla, Wood, 2008). Wskaźnik charakteryzuje wilgotnościowe warunki hydrologiczne w zlewni na podstawie wielkości odpływu ze zlewni. Klasyfikację wskaźnika SRI przeprowadza się wykorzystując przedziały wartości dla standaryzowanego wskaźnika opadu (SPI). Wskaźnik SRI może być wykorzystany do oceny podatności regionalnej na występowanie suszy hydrologicznej. Ujemna wartość wskaźnika, poniżej poziomu -1, oznacza stan suszy hydrologicznej na obszarze reprezentowanym przez dany punkt wodowskazowy. Zakres zmienności wskaźnika SRI i jego przełożenie na warunki hydrologiczne w zlewni przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Ocena warunków hydrologicznych w zlewni na podstawie wskaźnika SRI.

| Wartość SRI | Klasyfikacja okresu |
|------------------|---------------------------|
| ≥ 2,0 | ekstremalnie mokry |
| od 1,5 do 1,99 | bardzo mokry |
| od 1,0 do 1,49 | umiarkowanie mokry |
| od -0,99 do 0,99 | bliski warunkom normalnym |
| od -1,49 do -1,0 | umiarkowanie suchy |
| od -1,99 do -1,5 | bardzo suchy |
| ≤ - 2,0 | ekstremalnie suchy |

Analizę wskaźnika SRI przeprowadzono dla 3 punktów wodowskazowych reprezentatywnych dla obszaru Dąbrowy Górniczej:

Przeczyce na Czarnej Przemszy, na 51,73 km rzeki (kod 10460), dane dla lat 1980–2015,

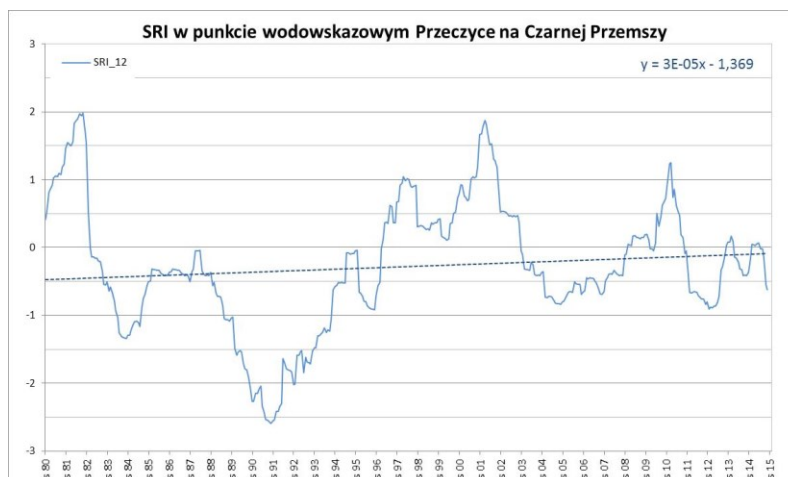
Radocha na Czarnej Przemszy, na 27,55 km rzeki (kod 10480), dane dla lat 1980–2015,

Sławków na Białej Przemszy, na 26,92 km rzeki (kod 10610), dane dla lat 1980–2015.

Przebieg wskaźnika znacznie się różni w zależności od punktu pomiarowego. Na Czarnej Przemszy w Przeczcach w analizowanym okresie przyjmował wartości z przedziału od ok. -2,5 do 2. Najwyższe

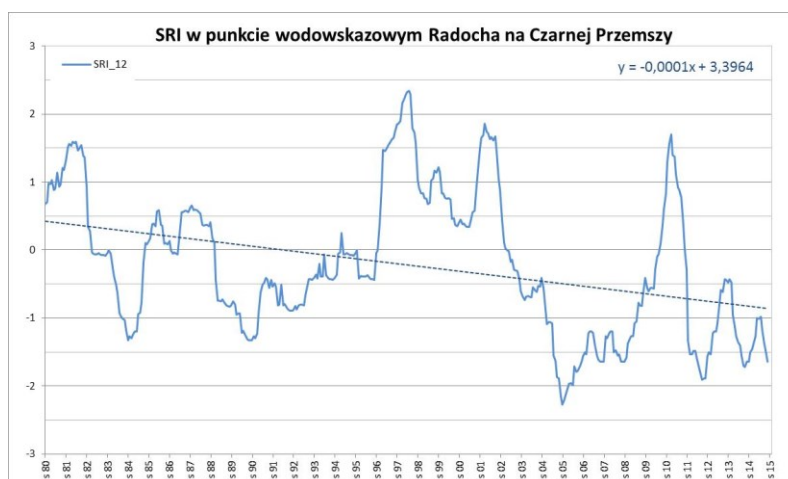
OPRACOWANIE PLANÓW ADAPTACJI DO ZMIAN KLIMATU W MIASTACH POWYŻEJ 100 TYS. MIESZKAŃCÓW

wartości SRI z przedziału od 1,5 do 2 wystąpiły od grudnia 1981 do listopada 1982 oraz od listopada 2001 do czerwca 2002 i świadczyły o wystąpieniu okresu bardzo mokrego, natomiast najniższe wartości SRI z przedziału od -2,5 do -2 odnotowano w okresie od października 1990 do kwietnia 1992 i świadczyły one o wystąpieniu na terenie zlewni suszy hydrologicznej (rys.50). Wyznaczona dla wskaźnika SRI w tym punkcie wodowskazowym rosnąca linia trendu nie jest statystycznie istotna.



Rys. 50 Zmienność wskaźnika SRI w punkcie wodowskazowym Przeczycy na Czarnej Przemszy wraz z linią trendu

Zupełnie odmiennie zmieniała się wartość wskaźnika SRI na Czarnej Przemszy w punkcie pomiarowym Radocha. Wyznaczona dla wskaźnika SRI w tym punkcie wodowskazowym malejąca linia trendu jest statystycznie istotna (rys.51). W analizowanym okresie wskaźnik SRI przyjmował wartości z przedziału od ok. 2,3 do -2,3. Najwyższe wartości, powyżej 1,5 wystąpiły od czerwca 1997 do października 1998, od grudnia 2001 do sierpnia 2002 oraz od stycznia do lutego 2011 i świadczyły o wystąpieniu okresu bardzo mokrego, przy czym od lutego do lipca 1998 był to okres ekstremalnie mokry (wskaźnik SRI przyjmował wartości powyżej 2). Najniższe wartości SRI z przedziału od -2,3 do -2 odnotowano w okresie od października 2005 do lutego 2006 i świadczyły one o wystąpieniu na terenie zlewni suszy hydrologicznej.

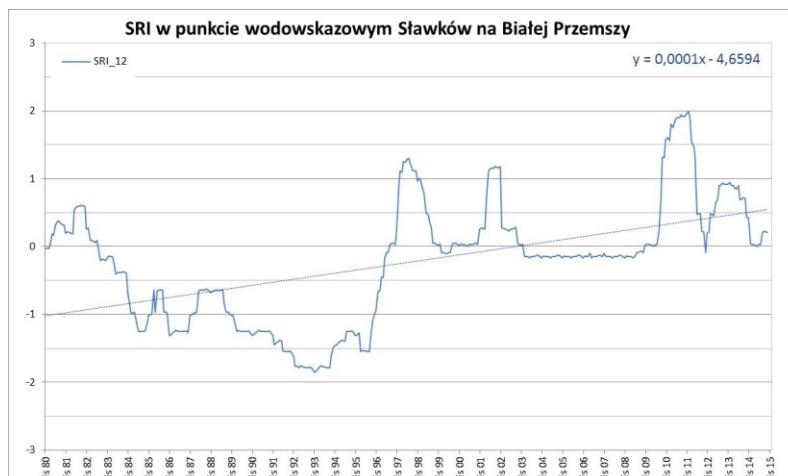


Rys. 51 Zmienność wskaźnika SRI w punkcie wodowskazowym Radocha na Czarnej Przemszy wraz z linią trendu

Jeszcze inaczej zmieniała się wartość wskaźnika SRI na Białej Przemszy w Sławkowie. Najniższe wartości SRI, poniżej -1,5, wystąpiły od maja 1992 do września 1994 (z minimum wynoszącym -1,9 w listopadzie 1993) i świadczyły o wystąpieniu suszy hydrologicznej na obszarze zlewni. Najwyższe wartości SRI z przedziału od 1,5 do 2 wystąpiły od października 2010 do lutego 2012 i świadczyły

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

o wystąpieniu okresu bardzo mokrego. Wyznaczona dla wskaźnika SRI w zlewni Białej Przemszy rosnąca linia trendu jest statystycznie istotna (rys.52).



Rys. 52 Zmienność wskaźnika SRI w punkcie wodowskazowym Sławków na Białej Przemszy wraz z linią trendu

1.4 Powodzie miejskie (nagłe)

Powodzie miejskie (nagłe) definiowane są jako nagłe zalanie lub/i podtopienie terenu (*skutek*) w wyniku wystąpienia silnego, krótkotrwałego opadu deszczu (*przyczyna*) o dużej wydajności (objętości, warstwy wody) na stosunkowo niedużym obszarze zlewni rzecznej lub zurbanizowanej zlewni miejskiej (bez udziału cieku wodnego).

Pod pojęciem opad o dużej wydajności należy rozumieć, że jest to opad (wywołujący m.in. nagłe powodzie lokalne typu *Flash Flood*), najczęściej burzowy, o wysokości co najmniej 20 mm, który trwa nie dłużej niż 12 godzin, a którego skutkiem są lokalne wezbrania lub powodzie, powodujące konkretne szkody w infrastrukturze środowiska i gospodarce. Listę powodzi nagłych w latach 1971–2012 na terenie Dąbrowy Górniczej (tabela 3) przygotowano na podstawie *Katalogu nagłych powodzi* opracowanego w ramach Projektu KLIMAT: *Wpływ zmian klimatu na środowisko, gospodarkę i społeczeństwo*.

Tabela 2. Nagłe powodzie miejskie typu *Flash Flood* w Dąbrowie Górniczej w latach 1970–2012.

| Lp. | Data wystąpienia powodzi | Wysokość opadu [mm] | Czas trwania opadu | Skutki powodzi |
|-----|--------------------------|---------------------|--------------------|---|
| 1 | 2008.07.13 | 10,5 | 120 min. | liczne zalania ulic i piwnic, paraliż komunikacyjny |
| 2 | 2012.07.08 | 36,7 | doba | podtopione budynki |

1.5 Powodzie od strony rzek

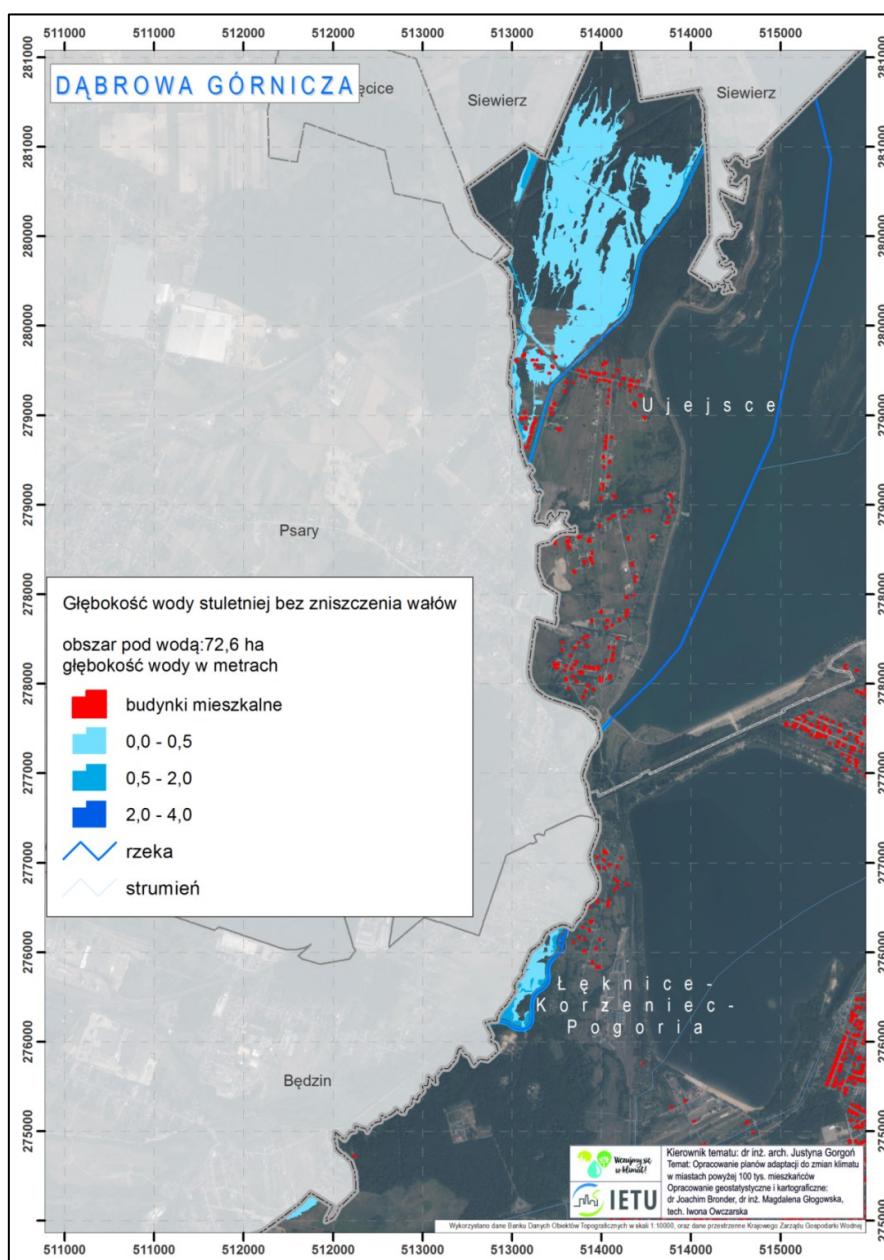
Podstawowymi aktami prawnymi regulującymi zasady postępowania w zakresie określenia zagrożenia i ryzyka powodziowego oraz przeciwdziałania ich negatywnym skutkom są Dyrektywa 2007/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2007 r. w sprawie oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim (tzw. Dyrektywa Powodziowa) oraz implementująca ją do prawodawstwa polskiego ustawa z dnia 20 lipca 2017 r. Prawo wodne (Dz.U. 2017 poz. 1566).

Wezbrania od strony rzek, będące konsekwencją intensywnych opadów deszczu lub roztopów pokrywy śnieżnej stwarzają istotne zagrożenie powodziowe dla miast, zlokalizowanych nad ich brzegami. Wezbranie od strony rzeki definiowane jest jako czasowe pokrycie przez wodę terenu, który w normalnych warunkach nie jest pokryty wodą, wywołany przez wezbranie wody w ciekach naturalnych, kanałach z wyłączeniem pokrycia przez wodę terenu wywołanego przez wezbranie wody w systemach kanalizacyjnych.

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

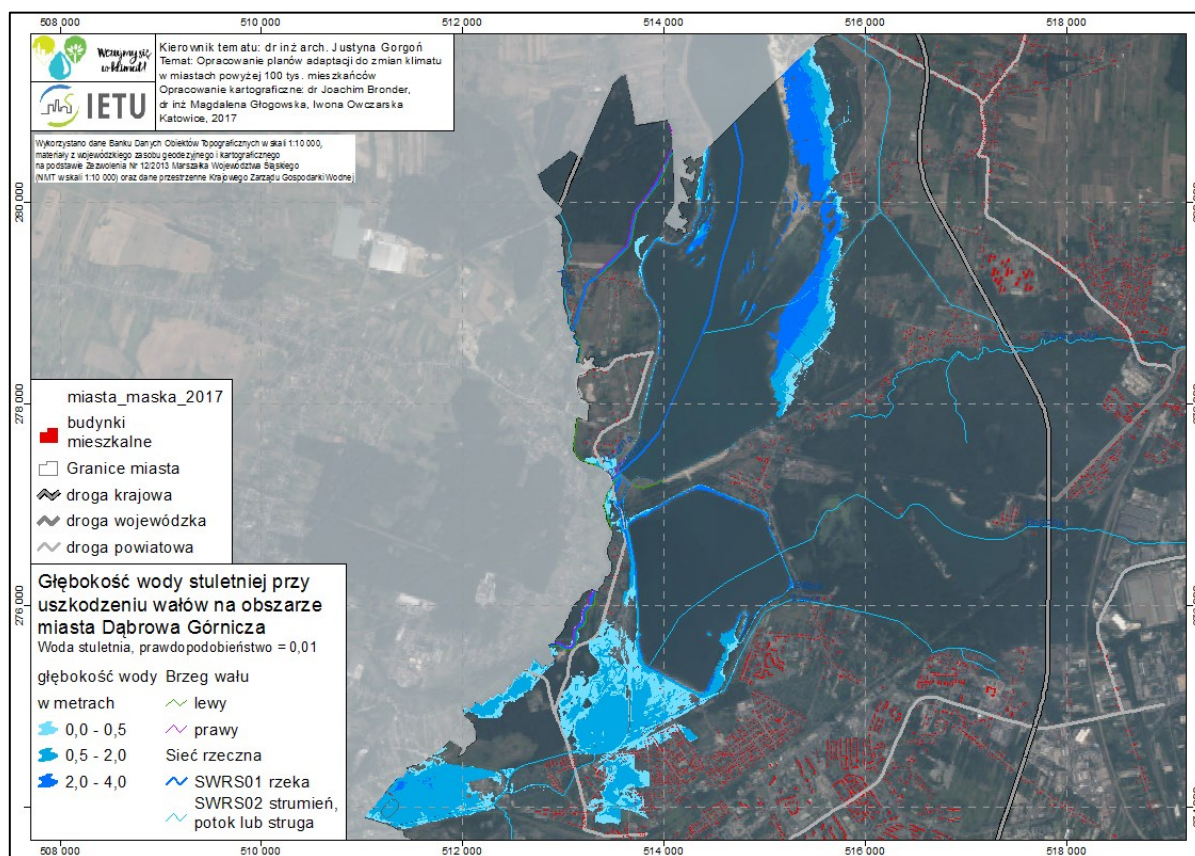
W Dąbrowie Górniczej w analizowanym okresie podtopienia spowodowane podniesieniem poziomu wody w Czarnej Przemszy wystąpiły podczas powodzi w 2010 roku.

Zgodnie z danymi KZGW dla rzeki Czarna Przemsza zostały wyznaczone tereny zalewowe przy wystąpieniu powodzi o prawdopodobieństwie 1% (tzw. woda stuletnia). Tereny te wyznaczono w dwóch wariantach. Pierwszy wariant, bez zniszczenia wałów przeciwpowodziowych, zakłada, że zalaniem mogą zagrożone być dwa obszary o łącznej powierzchni ok. 73 ha zlokalizowane przy granicy miasta na północ do Parku Zielona oraz na zachód od zbiornika Kuźnica Warężyńska (rys.53). Drugi wariant przewiduje zniszczenie wałów przeciwpowodziowych. W tym przypadku pod wodą mogą znaleźć się obszary na wschodnim brzegu zbiornika Kuźnica Warężyńska, na zachód od grobli pomiędzy Kuźnicą Warężyńską a Pogorią III, zachodnią część Parku Zielona wzdłuż koryta Czarnej Przemszy oraz obszar ograniczony od północy Parkiem Zielona, a dalej zachodnią granicą miasta i korytem Pogorii. W przypadku wariantu drugiego powierzchnia zagrożonych obszarów jest dwukrotnie większa niż w przypadku wariantu pierwszego (rys.54).



Rys. 53 Tereny zagrożone powodzią w Dąbrowie Górniczej. Wariant I: głębokość wody stuletniej bez zniszczenia wałów przeciwpowodziowych

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



Rys. 54 Tereny zagrożone powodzią w Dąbrowie Górniczej. Wariant II: głębokość wody stuletniej przy uszkodzeniu wałów przeciwpowodziowych

1.6 Osuwiska

Zgodnie z informacjami zawartymi w opracowaniu „Inwentaryzacja osuwisk oraz zasady i kryteria wyznaczania obszarów predysponowanych do występowania i rozwoju ruchów masowych w Polsce Pozakarpaciej” dostępnym na stronie internetowej Państwowego Instytutu Geologicznego <http://geoportal.pgi.gov.pl/portal/page/portal/SOPO> na obszarze Dąbrowy Górniczej nie zostały zainwentaryzowane żadne osuwiska.

1.7 Charakterystyka warunków anemometrycznych miasta

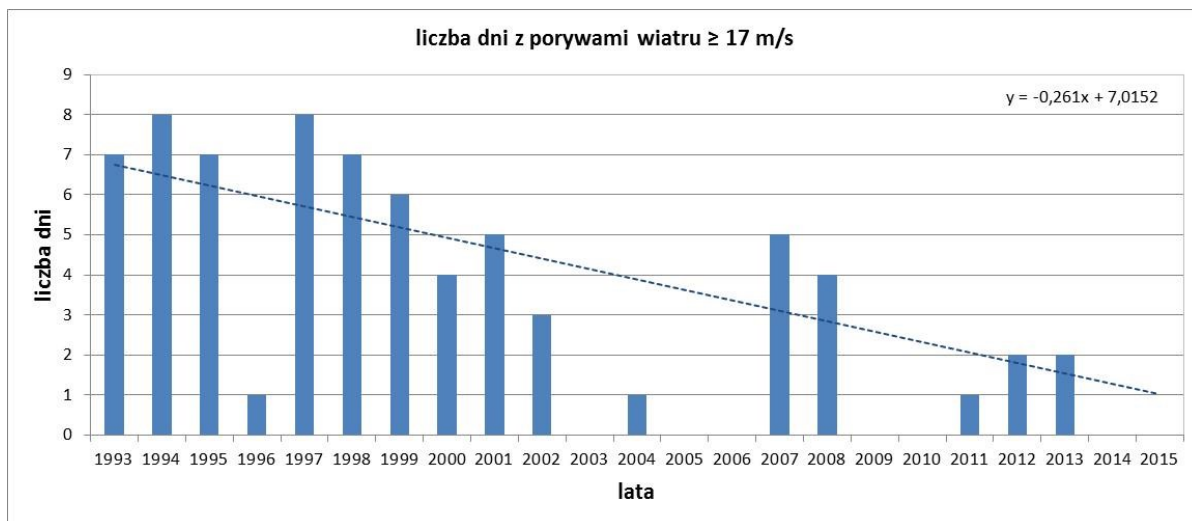
• Silny i bardzo silny wiatr

Wiatr jest kolejnym czynnikiem mającym wpływ na większość sektorów/obszarów miasta. Występowanie silnego wiatru niesie za sobą znaczne straty w wielu dziedzinach gospodarki. Przede wszystkim są to straty w drzewostanie, budownictwie, łączności, rolnictwie i energetyce oraz utrudnienia komunikacyjne wynikające z ograniczenia przejezdności dróg. Bardzo często silny wiatr powoduje zagrożenie dla życia ludzkiego.

W analizie zwrócono uwagę na wystąpienie maksymalnych notowanych prędkości wiatru (porywów) oraz liczbę dni z wiatrem porywistym, czyli powyżej 17 m/s (≥ 8 stopni w skali Beauforta). Dostępne dane obejmowały lata 1993 – 2015.

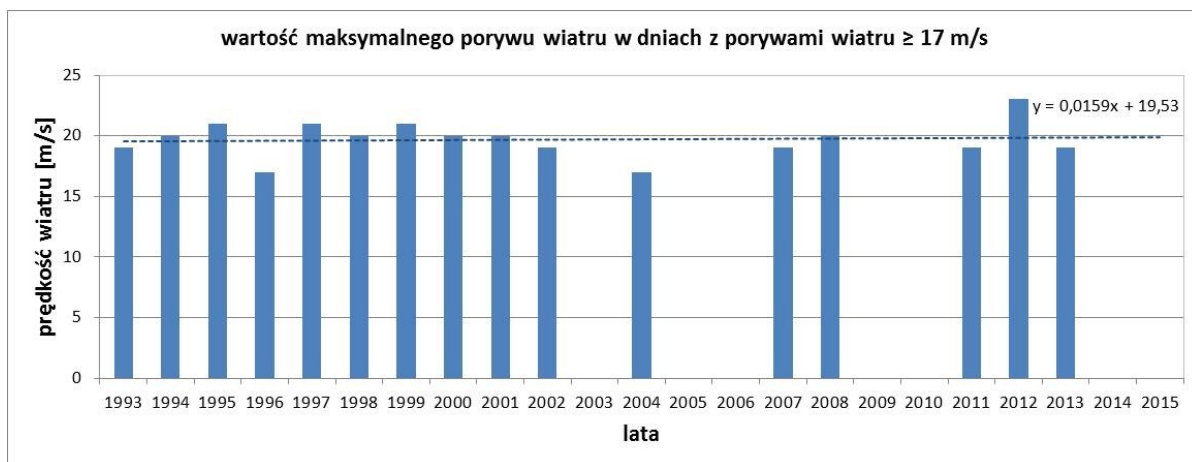
W analizowanym okresie w Katowicach odnotowano w ciągu roku do 8 dni z wiatrem o prędkości powyżej 17 m/s. Taką ilość przypadków zanotowano w latach 1994 i 1997. Występowały lata w których nie zanotowano porywistego wiatru: 2003, 2005, 2006, 2009, 2010, 2014 i 2015. Występowanie liczby dni z porywami wiatru powyżej 17 m/s wykazuje istotną statystycznie tendencję malejącą (rys.55).

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



Rys. 55 Występowanie dni z porywami wiatru w Katowicach wraz z linią trendu

Odnotowane w Katowicach maksymalne chwilowe prędkości wiatru (porywy) osiągały prędkość do 23 m/s. Na ogół maksymalne porywy wiatru w poszczególnych latach nie przekraczały jednak prędkości 20 m/s. Wyznaczona dla tej wielkości linia trendu w analizowanym okresie nie jest statystycznie istotna (rys.56).



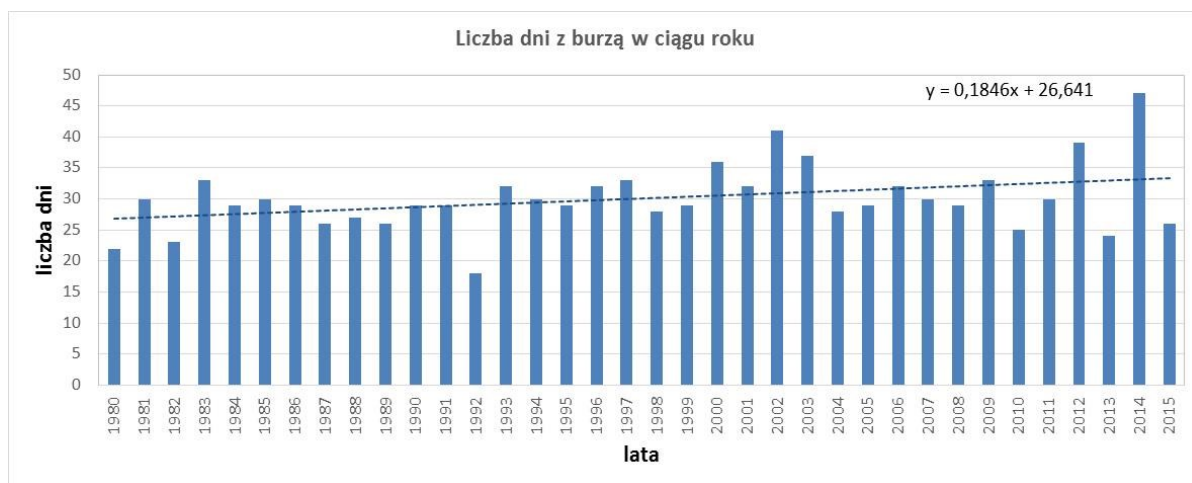
Rys. 56 Maksymalna roczna prędkość porywów wiatru w Katowicach wraz z linią trendu

• Burze

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

Średnia roczna liczba dni z burzą w Katowicach w analizowanym okresie 1980 - 2015 wynosiła 30. Najbardziej burzowy był rok 2014 - 47 dni z burzą, a najmniej przypadków wystąpienia tego zjawiska – 18 - zanotowano w 1992 roku. Burze mogą występować przez cały rok, jednak od grudnia do marca zjawisko to jest incydentalne. Burze występują przede wszystkim od maja do września z maksimum w miesiącach lipiec i sierpień. Zjawisko to, w Katowicach, w analizowanym okresie czasu wykazuje wyraźną tendencję wzrostową (rys.57).

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



Rys. 57 Liczba dni z burzami w Katowicach wraz z linią trendu

1.8 Charakterystyka jakości powietrza atmosferycznego

• Metodyka analizy

Podstawę przeprowadzenia analizy stężeń zanieczyszczeń powietrza na potrzeby opracowania Miejskich Planów Adaptacji (MPA) stanowiły wyniki badań jakości powietrza prowadzonych w latach 2006 - 2015 w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska (PMŚ). Dane te są publicznie dostępne na stronie internetowej Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska (GIOŚ), na Portalu Jakości Powietrza w Banku danych pomiarowych <http://powietrze.gios.gov.pl/pjp/archives>.

Zakres analizy stężeń zanieczyszczeń w powietrzu obejmował:

- ocenę występowania ponadnormatywnych stężeń ozonu, pyłu PM10 oraz pyłu PM2,5,
- analizę częstości występowania letnich i zimowych epizodów smogowych.

Dla celów analizy wykorzystano wyniki ze stacji pomiarowych tła miejskiego, dla których kompletność wyników w danym roku była wyższa od 75%. Jeżeli na terenie danego miasta nie było stacji pomiarowej, pomiary nie obejmowały któregoś z analizowanych zanieczyszczeń lub nie były prowadzone we wszystkich latach objętych analizą, lub wyniki pomiarów nie były kompletne dla całego okresu analizy, wówczas do określenia jakości powietrza wykorzystywano wyniki z innej reprezentatywnej stacji pomiarowej.

Zastosowane do analizy wartości kryterialne są zgodne z rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz.U. z 2012 r., poz. 1031).

Pył PM 10 - analizowano:

- występowanie przekroczenia w poszczególnych latach poziomu $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ czyli dopuszczalnego stężenia średniorocznego ustanowionego ze względu na ochronę zdrowia ludzi,
- częstość przekraczania poziomu $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ czyli dopuszczalnego stężenia 24-godzinnego ponad dopuszczalną częstość przekraczania wynoszącą 35 razy w roku kalendarzowym; jest to poziom dopuszczalny ustanowiony ze względu na ochronę zdrowia ludzi,
- smog zimowy analizowany jako wystąpienie wysokich epizodów stężeń, określonych poprzez stężenia powyżej 150% dopuszczalnego stężenia 24-godzinnego.

Pył PM 2,5 - analizowano występowanie przekroczenia w poszczególnych latach poziomu $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ czyli docelowego stężenia średniorocznego ustanowionego ze względu na ochronę zdrowia ludzi.

Ozon - analizowano:

- częstość występowania przekroczenia poziomu $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, jako maksymalnej średniej ośmiogodzinnej spośród średnich kroczących w ciągu doby, ponad dopuszczalną częstość przekraczania poziomu docelowego wynoszącą 25 razy w roku kalendarzowym; jest to poziom docelowy ustanowiony ze względu na ochronę zdrowia ludzi,

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

- wartość wskaźnika AOT40 określaną dla okresu wegetacyjnego od 1 maja do 31 lipca, dla którego poziom docelowy ustanowiony ze względu na ochronę roślin wynosi $18\,000\ \mu\text{g}/\text{m}^3\text{ h}$,
- smog letni analizowany jako wystąpienie wysokich epizodów stężeń ozonu, powyżej wartości kryterialnej.

- **Ocena występowania ponadnormatywnych stężeń zanieczyszczeń powietrza w Dąbrowie Górniczej**

Ocenę przeprowadzono na podstawie wyników ze stacji monitoringu jakości powietrza pracującej ramach sieci Państwowego Monitoringu Środowiska (PMŚ), zlokalizowanej w Dąbrowie Górniczej, przy ul. Tysiąclecia 25a i klasyfikowanej jako stacja tła miejskiego. W analizowanym okresie 2006–2015 stacja ta prowadziła pomiary PM10 oraz ozonu. Natomiast ocena zanieczyszczenia powietrza pyłem PM2,5 została przeprowadzona na podstawie wyników ze stacji monitoringu jakości powietrza pracującej ramach sieci PMŚ, zlokalizowanej w Katowicach, przy ul. Kossutha 6, klasyfikowanej jako stacja tła miejskiego.

Jakość powietrza ze względu na pył PM10

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

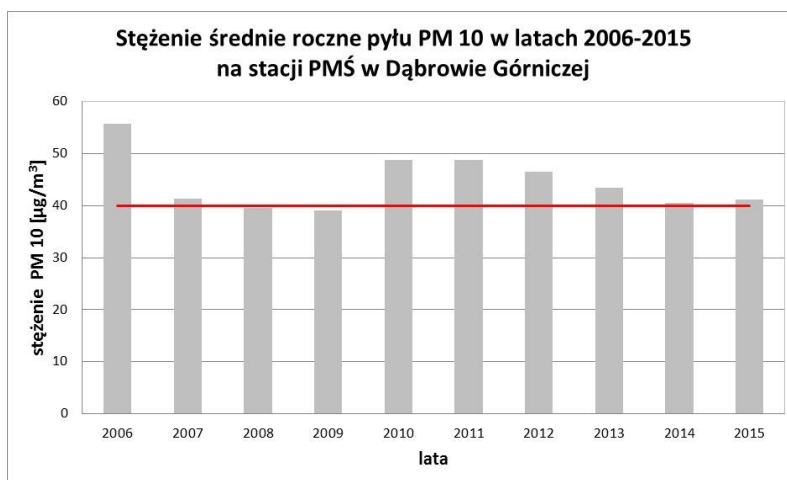
Czynniki klimatyczne mające wpływ na poziom pyłu zawieszonego PM10 w powietrzu to:

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

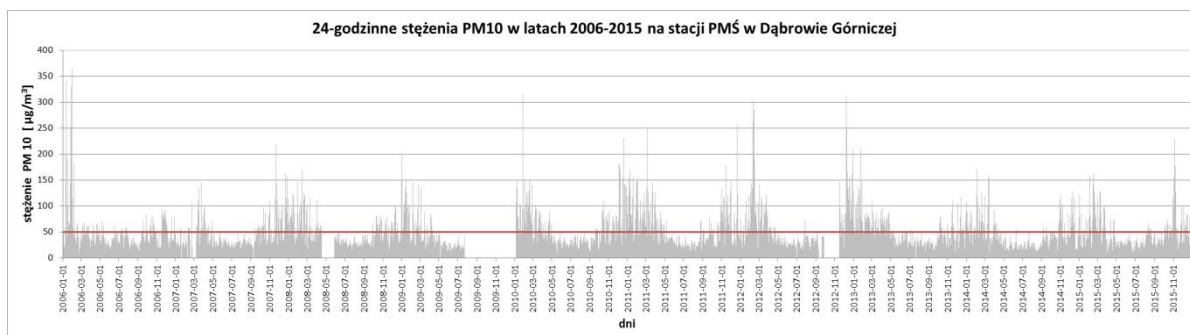
Na rys.58 przedstawiono stężenia średnioroczne pyłu PM10. Analiza wykazała, że sytuacja aerosanitarna w mieście jest zła, bowiem poziom dopuszczalny $40\ \mu\text{g}/\text{m}^3$, zaznaczony na wykresie czerwoną linią, w ciągu ostatnich 10 lat nie został przekroczony jedynie 2 razy: w 2008 oraz 2009 roku kiedy to stężenia średnioroczne spadły nieznacznie poniżej poziomu dopuszczalnego i wyniosły odpowiednio $39,6$ oraz $39,0\ \mu\text{g}/\text{m}^3$. W 2006 roku odnotowano maksymalne średnioroczne stężenie pyłu PM10 w analizowanym okresie, które osiągnęło wtedy poziom $55,7\ \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Następnie przeanalizowano poziomy 24-godzinnych stężeń pyłu PM10 jakie w rozpatrywanym okresie czasu odnotowano w Dąbrowie Górniczej (rys.59). Dopuszczalny poziom dla stężenia średniodobowego wynoszący $50\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ w ciągu ostatnich 10 lat był permanentnie przekraczany. W sezonach grzewczych stężenia średniodobowe dochodzące do 100 czy $150\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ są codziennością, a nie brak też stężeń wyższych sięgających maksymalnie $364\ \mu\text{g}/\text{m}^3$.

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

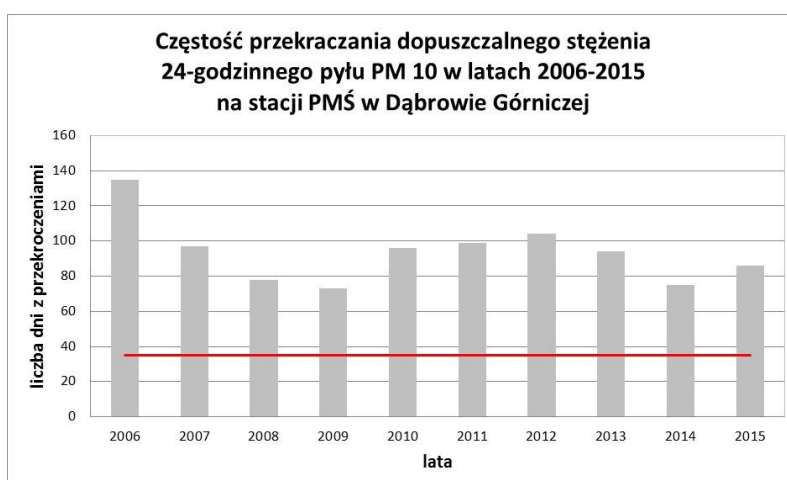


Rys. 58 Stężenie średnie roczne pyłu zawieszonego PM10 na stacji w Dąbrowie Górniczej. Czerwona linia wyznacza poziom dopuszczalny



Rys. 59 Stężenie 24-godzinne pyłu zawieszonego PM10 na stacji w Dąbrowie Górniczej. Czerwona linia wyznacza poziom dopuszczalny

Potwierdzeniem opisanej powyżej sytuacji jest analiza częstości przekraczania dopuszczalnego stężenia 24-godzinnego PM10, czyli liczby dni w roku z przekroczoną normą tego zanieczyszczenia. Wskazuje ona, że w całym analizowanym okresie dopuszczalna wartość 35 dni w roku była przekraczana, od 73 dni z przekroczeniami w 2009 roku do 135 dni z przekroczeniami w 2006 roku. Wartość średnia w analizowanym dziesięcioleciu wyniosła 94 dni w roku (rys.60).

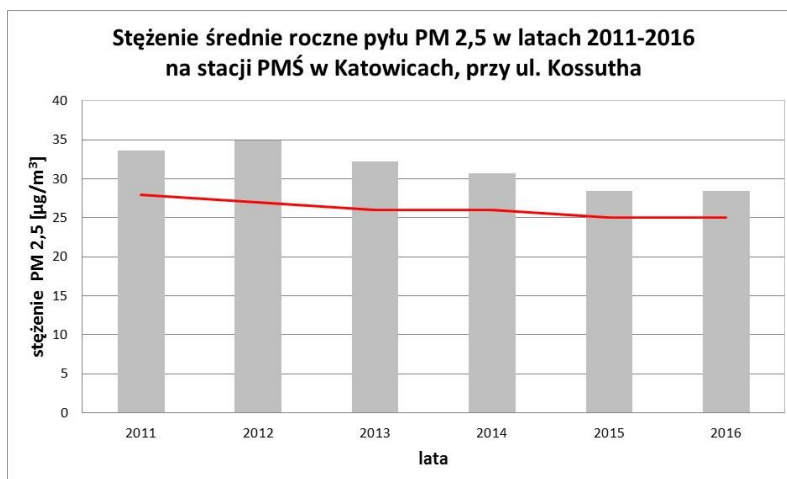


Rys. 60 Częstość przekraczania dopuszczalnego stężenia 24-godzinnego pyłu PM10 na stacji w Dąbrowie Górniczej. Czerwona linia wyznacza poziom dopuszczalny

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

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

Wyniki pomiarów PM_{2,5} przeanalizowano na stacji pomiarowej w Katowicach w okresie 6 lat (od 2011 do 2016 roku). Dopuszczalne, średnie roczne stężenie pyłu PM_{2,5} było w całym tym okresie przekraczane (rys.61). Czerwona linia wyznaczająca stężenie dopuszczalne nie jest linią prostą bowiem w latach 2011–2014 dla średniej rocznej wartości dopuszczalnej PM_{2,5} istniały, według obowiązujących przepisów, marginesy tolerancji. Najwyższą wartość stężenia odnotowano w 2012 roku i wyniosła ona 34,9 µg/m³. Od tego czasu na stacji w Katowicach obserwowany jest stały spadek wartości średniego rocznego stężenia pyłu PM_{2,5}.



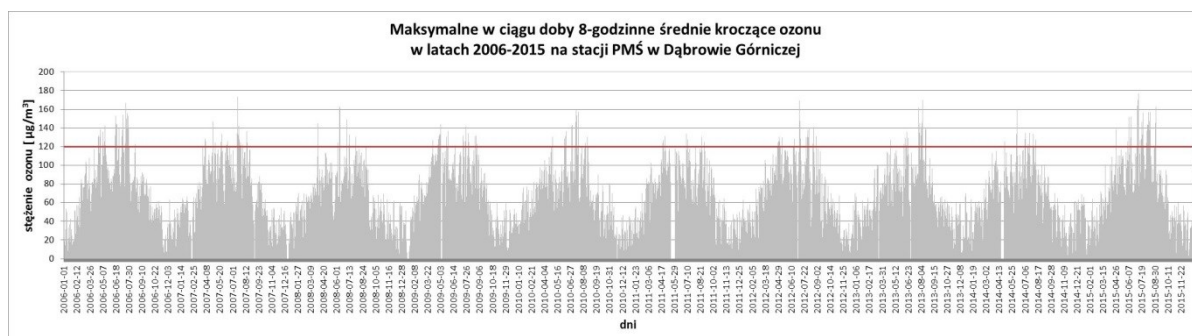
Rys. 61 Średnie roczne stężenie pyłu PM_{2,5} na stacji w Katowicach.
Czerwona linia wyznacza poziom dopuszczalny

Jakość powietrza ze względu na ozon

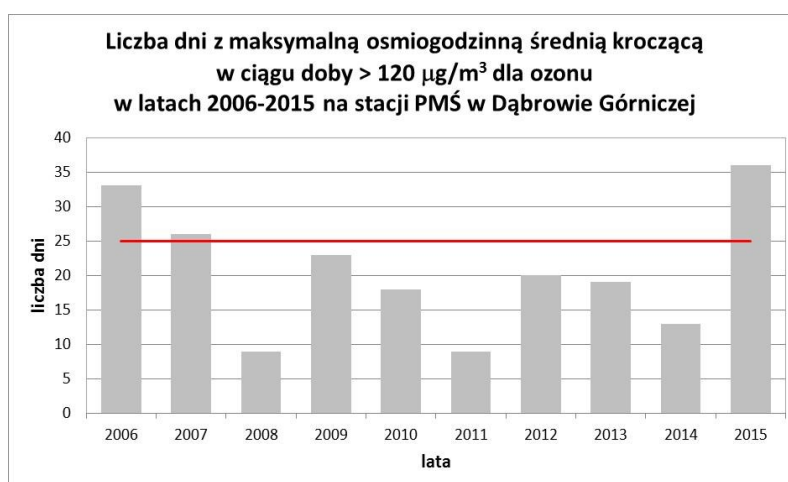
Ozon niskotroposferyczny jako zanieczyszczenie powietrza powstaje przy powierzchni ziemi na skutek przemian fotochemicznych (czyli zachodzących pod wpływem światła słonecznego), w których uczestniczą m.in. lotne związki organiczne i tlenki azotu. Maksymalne stężenia ozonu obserwowane są w okresie letnim,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

Poziom docelowy dla ozonu ustanowiony ze względu na ochronę zdrowia ludzi wynosi 120 µg/m³ i jest wyznaczany jako stężenie maksymalne z 8-godzinnych średnich kroczących w ciągu doby. Na wykresie (rys.62) przedstawiono przebieg maksymalnych w ciągu doby 8-godzinnych średnich kroczących ozonu na stacji w Dąbrowie Górniczej w analizowanym dziesięcioleciu. Czerwona linia na wykresie wyznacza poziom docelowy i jak widać w okresach letnich jest on przekraczany. Maksymalny w analizowanym dziesięcioleciu poziom osiągnięty został 7 lipca 2015 roku i wyniósł on 177 µg/m³. Liczba dni z przekroczeniami wynosi od 9 (rok 2008 i 2011) do 36 w roku (rok 2015) przy wartości dopuszczalnej 25 dni w roku i w analizowanym dziesięcioleciu została ona przekroczona trzykrotnie: w 2006, 2007 i 2015 roku (rys.63).

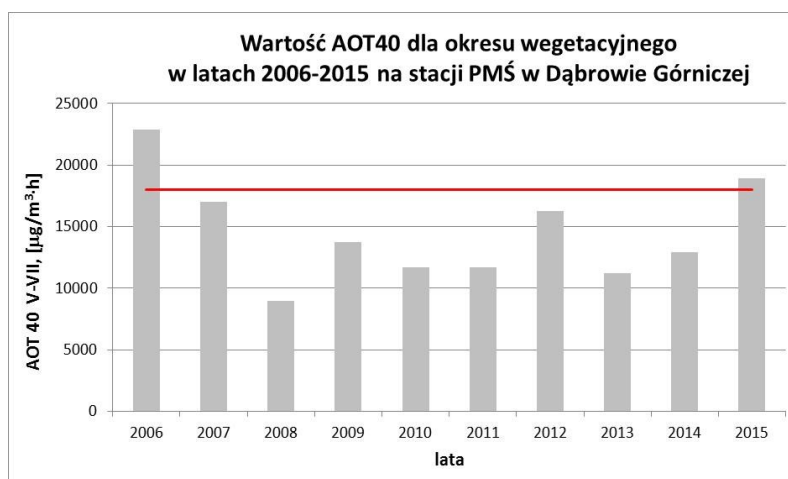
OPRACOWANIE PLANÓW ADAPTACJI DO ZMIAN KLIMATU W MIASTACH POWYŻEJ 100 TYS. MIESZKAŃCÓW



Rys. 62 Stężenia maksymalne z 8-godzinnych średnich kroczących w ciągu doby dla ozonu na stacji w Dąbrowie Górniczej.
Czerwona linia wyznacza poziom docelowy



Rys. 63 Częstość przekraczania docelowego stężenia ozonu ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, liczonego jako stężenie maksymalne z 8-godzinnych średnich kroczących w ciągu doby) na stacji w Dąbrowie Górniczej.
Czerwona linia wyznacza poziom dopuszczalny



Rys. 64 Wartość AOT40 dla okresu wegetacyjnego V-VII na stacji w Dąbrowie Górniczej.
Czerwona linia wyznacza poziom docelowy

Kryterium dla ozonu pod kątem ochrony roślin stanowi wartość AOT40 obliczona ze stężeń jednogodzinnych dla okresu wegetacyjnego od maja do lipca. AOT40 obliczany jest jako suma różnic pomiędzy stężeniem jednogodzinnym, a wartością $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ w godzinach od 8:00 do 20:00, gdy

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

stężenie przekracza $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Poziom docelowy ustanowiony ze względu na ochronę roślin wynosi $18\,000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$.

Na stacji w Dąbrowie Górniczej poziom docelowy dla parametru AOT40 w analizowanym dziesięcioleciu został przekroczony dwukrotnie: w 2006 roku kiedy AOT40 wyniósł $22\,848 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$ oraz w 2015 roku kiedy AOT40 osiągnął poziom $18\,934 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$ (rys.64).

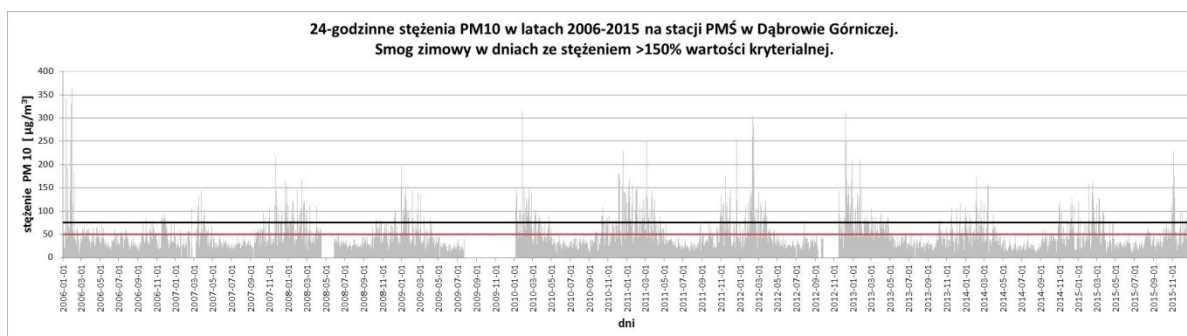
- Analiza częstości występowania zimowych i letnich epizodów smogowych**

Smog zimowy (kwaśny)

W ramach opracowania Miejskich Planów Adaptacji (MPA) do zmian klimatu przeprowadzono analizę występowania epizodów wysokich stężeń pyłu PM₁₀ czyli smogu zimowego (kwaśnego). Jako wartość graniczną decydującą o wystąpieniu na danym terenie smogu zimowego, zgodnie z metodyką uzgodnioną w MPA przyjęto poziom 150% dobowej wartości dopuszczalnej ustanowionej dla pyłu PM₁₀ czyli poziom $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Poziom stężen średniodobowych notowanych na stacji w Dąbrowie Górniczej przedstawiono na rys.65. Zaznaczona tam czerwona linia oznacza poziom dopuszczalny, a czarna - poziom $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$, świadczący o wystąpieniu stanu smogowego.

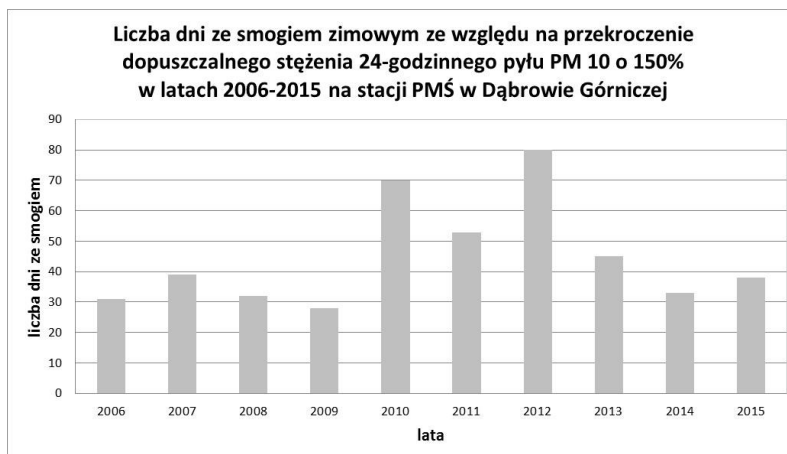
W ocenie występowania smogu zimowego ważnym miernikiem jest liczba dni z przekroczeniem poziomu 150% wartości dopuszczalnej. W analizowanym dziesięcioleciu liczba dni z przekroczeniem poziomu progowego $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wynosiła od 28 do 80 dni w roku (rys.66). Oznacza to, że w okresie grzewczym na terenie Dąbrowy Górniczej smog zimowy utrzymuje się co roku przez okres od 1 do ponad 2,5 miesięcy. Najwięcej dni smogowych wystąpiło w 2015 roku.

W przypadku wystąpienia sytuacji smogowej i przekroczenia poziomu informowania dla pyłu PM₁₀ w powietrzu ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$), w celu zmniejszenia narażenia na wysokie stężenia zanieczyszczeń w powietrzu, małym dzieciom, kobietom w ciąży, osobom starszym oraz osobom z chorobami serca lub układu oddechowego, zaleca się ograniczenie przebywania poza budynkami. Dorosłym bez kłopotów ze zdrowiem zaleca się powstrzymanie się od aktywności fizycznej na otwartym powietrzu. W przypadku wystąpienia przekroczenia poziomu alarmowego dla pyłu PM₁₀ ($300 \mu\text{g}/\text{m}^3$), ze względu na bardzo wysokie stężenia zanieczyszczeń w powietrzu, zaleca się całej populacji ograniczenie przebywania poza budynkami do niezbędnego minimum. Należy podkreślić też, że wysokość poziomu informowania i alarmowego obowiązujące w Polsce są najbardziej liberalne wśród wszystkich krajów Unii Europejskiej.



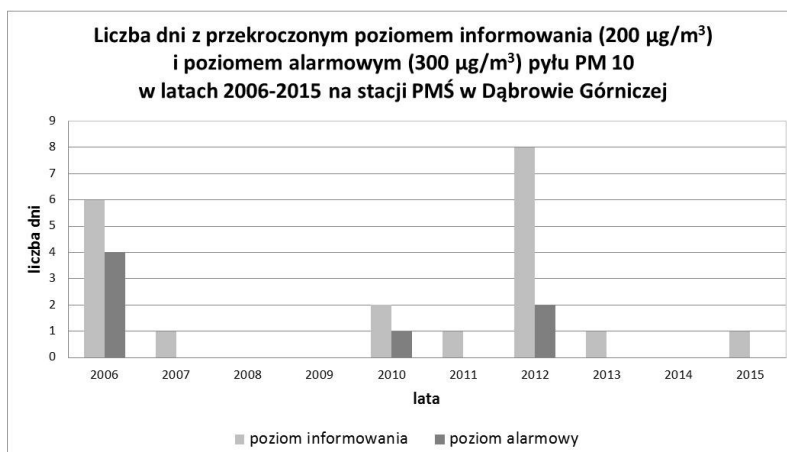
Rys. 65 Stężenie 24-godzinne pyłu zawieszonego PM₁₀ na stacji w Dąbrowie Górniczej. Czerwona linia wyznacza poziom dopuszczalny, a czarna przekroczenie powyżej 150% poziomu dopuszczalnego, świadczące o wystąpieniu smogu zimowego

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



Rys. 66 Liczba dni z epizodami wysokich stężeń dobowych pyłu PM₁₀ (dni smogowych) na stacji w Dąbrowie Górniczej

Na rys.67 przedstawiono liczbę dni, kiedy na stacji w Dąbrowie Górniczej odnotowano przekroczenie poziomu informowania 200 µg/m³ oraz poziomu alarmowego 300 µg/m³ dla pyłu PM₁₀. W analizowanym dziesięcioleciu w poszczególnych latach odnotowano od 0 do 8 dni, w których przekroczony został poziom informowania oraz od 0 do 4 dni, w których przekroczony został poziom alarmowy. Żaden z tych poziomów nie został przekroczony tylko w trzech latach w analizowanym dziesięcioleciu: w 2008, 2009 i 2014 roku.



Rys. 67 Liczba dni z przekroczonym poziomem informowania i poziomem alarmowym pyłu PM₁₀ na stacji w Dąbrowie Górniczej

Smog letni (fotochemiczny)

W miastach Aglomeracji Górnośląskiej poziom docelowy dla ozonu ustanowiony ze względu na ochronę zdrowia ludzi, wynoszący 120 µg/m³ i wyznaczany jako stężenie maksymalne z 8-godzinnych średnich kroczących w ciągu doby, nie jest permanentnie przekraczany, a odnotowywane wartości maksymalne nie przekraczają 150% poziomu docelowego (rys.62). W związku z powyższym przyjęto, że dla miast regionu 8 za stany smogowe letnie uważane będą dni, w których nastąpiło przekroczenie poziomu docelowego dla ozonu.

Na wykresie (rys.62) przedstawiono przebieg maksymalnych w ciągu doby 8-godzinnych średnich kroczących ozonu na stacji w Dąbrowie Górniczej w analizowanym dziesięcioleciu. Czerwona linia na wykresie wyznacza poziom docelowy i jak widać w okresach letnich jest on przekraczany, a dni kiedy przekroczenia te występują są dniami, w których wystąpił stan smogowy. Maksymalny w analizowanym dziesięcioleciu poziom osiągnięty został 7 lipca 2015 roku i wyniósł on 177 µg/m³. Liczba dni, w których smog letni wystąpił odpowiada liczbie dni z przekroczeniami i wynosi od 9 (rok 2008 i 2011) do 36 dni w roku (rok 2015) (rys.63).

Wnioski

Przeprowadzona analiza wykazała, że sytuacja aerosanitarna w mieście jest zła, szczególnie ze względu na występowanie ponadnormatywnych stężeń pyłu PM₁₀, bowiem przekraczane są zarówno dopuszczalne stężenia 24-godzinne, jak i stężenia średnie roczne. Czas trwania przekroczeń dopuszczalnych stężeń dobowych w skali roku jest znaczący, bo wynosi od 1,5 do 4,5 miesięcy (średnio w analizowanym dziesięcioleciu 94 dni w roku). Wysokość przekroczeń jest również znacząca, stężenia osiągają poziom przekraczający poziom alarmowy czyli 300 µg/m³. W okresie grzewczym na terenie Dąbrowy Górniczej smog zimowy utrzymuje się co roku przez okres od 1 do ponad 2,5 miesięcy. Co więcej na terenie Aglomeracji Górnośląskiej przekraczane są również co roku roczne poziomy dopuszczalne pyłu PM_{2,5}.

Nieco lepiej kształtuje się jakość powietrza w okresie letnim. Poziom docelowy dla ozonu ustanowiony ze względu na ochronę zdrowia ludzi nie jest permanentnie przekraczany, a odnotowywane wartości maksymalne nie przekraczają 150% poziomu docelowego. Odnotowane w analizowanym dziesięcioleciu stężenie maksymalne z 8-godzinnych średnich kroczących w ciągu doby osiągnęło poziom 177 µg/m³. Liczba dni, w których wystąpiły przekroczenia poziomu docelowego, a tym samym liczba dni, w których wystąpił smog letni wyniosła od 9 do 36 dni w roku, a przekroczenie wartości 25 dni z przekroczeniami, czyli wartości dopuszczalnej wystąpiło w analizowanym dziesięcioleciu trzykrotnie. Docelowa wartość wskaźnika AOT₄₀ dla okresu wegetacyjnego w analizowanym dziesięcioleciu została przekroczona dwukrotnie.

2. Scenariusze klimatyczne

2.1 Przyjęte założenia i zasady opracowania scenariuszy klimatycznych

Opracowanie scenariuszy klimatycznych dla projektu MPA obejmowało przeprowadzenie zarówno analiz dla klimatu przyszłego (prognozowanego), jak i dla klimatu bieżącego (stanowiącego informacje wyjściowe umożliwiające określenie tendencji i wielkości prognozowanych zmian).

Analizy warunków klimatu przyszłego obejmowały dwa horyzonty czasowe:

- Horyzont 2030 (obliczony jako średnia z 10 lat 2026-2035),
- Horyzont 2050 (obliczony jako średnia z 10 lat 2046-2055).

Dla warunków klimatu bieżącego przeprowadzono obliczenia dla horyzontu 2010 (obliczonego jako średnia z 10 lat 2006-2015).

Wszystkie obliczenia wykonano z wykorzystaniem wyników modelowania oraz danych obserwacyjnych (wyników dla obserwacji historycznych). Dane obserwacyjne pozwoliły oszacować systematyczną różnicę pomiędzy wartością obserwowaną (2006-2015) i uzyskaną na podstawie wyników modelowania, zaś dane z modelowania pozwoliły ocenić trend prognozowanych zmian w długim horyzoncie czasowym (2006-2055).

Jako dane referencyjne dla klimatu bieżącego wykorzystane zostały obserwacje IMGW-PIB.

Warunki przyszłego klimatu odtworzono w oparciu o wyniki symulacji klimatycznych obliczonych w ramach projektu Euro-CORDEX¹, przy zastosowaniu najnowszych dostępnych projekcji klimatycznych wg. 5 Raportu Oceny Międzyrządowego Panelu ds. Zmian Klimatu² (AR5 IPCC) z roku 2013. Wykorzystano wyniki dostępnych realizacji symulacji regionalnych modeli klimatu (RCM – ang. *Regional Climate Model*) dla obszaru obejmującego całą Europę na siatce regularnej w rozdzielczości 0,11° (ok. 12,5 km). Ze względu na konieczność zachowania jednorodności pola obliczeń dla całej Polski, w analizie uwzględniono wyniki wszystkich modeli dostępnych w repozytorium EuroCORDEX, dla których nie stwierdzono istnienia tzw. błędów grubych (przesunięcia serii modelowanej w cyklu rocznym). W analizach wykorzystano również symulacje pochodzące z globalnego modelu klimatu (GCM – ang. *Global Climate Model*) jako warunki brzegowe dla modeli RCM. Należy podkreślić, że wyniki modeli globalnych (GCM) nie są elementem

¹ <http://www.euro-cordex.net>

² <https://www.ipcc.ch/report/ar5>

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

repozytorium EuroCORDEX, stąd w projekcie wykorzystano gotowe wyniki z tego typu modeli, które nie podlegały żadnym korektom.

Celem uchwycenia niepewności wyników modelowania, wynikającego z różnych możliwych ścieżek rozwoju gospodarczego i związanego z nim tempa wzrostu zawartości gazów cieplarnianych w atmosferze, analizy przeprowadzono dla dwóch scenariuszy³ opisanych akronimami RCP4.5⁴ oraz RCP8.5⁵ (RCP – ang. *Representative Concentration Pathway*). Umiarkowany scenariusz RCP4.5 zakłada dalszy wzrost stężeń CO₂, odpowiednio do 540 ppm w roku 2100 oraz osiągnięcie wymuszenia radiacyjnego na poziomie 4,5 W/m², zaś scenariusz ekstrapolacyjny RCP8.5 odpowiada wzrostowi stężeń CO₂ do 940 ppm w roku 2100 i ciągły wzrost wymuszenia radiacyjnego do poziomu 8,5 W/m².

Przedstawione w projekcie wyniki scenariuszy klimatycznych uzyskano w drodze downscalingu dynamicznego. Dla wyników EuroCORDEX przeprowadzono postprocessing (downscaling) statystyczny z wykorzystaniem narzędzi dostępnych w środowisku R (statystycznej metody dopasowania produktów modelu⁶).

Podstawowe parametry meteorologiczne EuroCORDEX (dostępne zarówno dla klimatu bieżącego jak i przyszłego) pozwalające na określenie ekspozycji i wrażliwości na zmiany klimatu obejmowały:

- temperaturę średniodobową [°C],
- temperaturę maksymalną dobową [°C],
- temperaturę minimalną dobową [°C],
- wysokość opadu w ciągu doby (suma) [mm/doba].

Metodyka przygotowania wyników scenariuszy polegała na wykonaniu szeregu obliczeń i zestawień. Ogólne zasady przygotowania danych obejmowały:

1. Stworzenie wektorów obserwacji średniodobowych w okresie 2006-2015 dla klimatu bieżącego - wykonanie obliczeń dla każdego parametru metrologicznego EuroCORDEX i stacji metrologicznej wybranej dla miasta (dane z IMGW-PIB).
2. Stworzenie wektorów wartości średniodobowych 2006-2055 dla klimatu przyszłego - wykonanie obliczeń dla każdego uwzględnionego w analizach modelu Euro-Cordex, każdego scenariusza (RCP4.5 i RCP8.5), każdego parametru metrologicznego EuroCORDEX i miasta (oczek siatki obliczeniowej EuroCORDEX, odpowiadającej położeniu geograficznemu miasta).
3. Wykonanie korekty statystycznej (statystyczny downscaling) z wykorzystaniem pakietu statystycznego R mającej na celu redukcję systematycznego błędu - wykonanie obliczeń dla każdego modelu Euro-Cordex, każdego scenariusza (RCP4.5 i RCP8.5), każdego parametru metrologicznego EuroCORDEX i miasta (oczek siatki obliczeniowej EuroCORDEX, odpowiadającej położeniu geograficznemu miasta).
4. Wykonanie oceny zgodności wyników skorygowanych z obserwacjami na podstawie danych IMGW-PIB - wykonanie obliczeń dla każdego modelu Euro-Cordex, każdego scenariusza (RCP4.5 i RCP8.5), każdego parametru metrologicznego EuroCORDEX i miasta (oczek siatki obliczeniowej EuroCORDEX, odpowiadającej położeniu geograficznemu miasta).
5. Wykonanie analizy wiązki uzyskanych wyników w oparciu o wartości skorygowane - analiza dla dla każdego scenariusza (RCP4.5 i RCP8.5), każdego parametru metrologicznego EuroCORDEX i miasta (oczek siatki obliczeniowej EuroCORDEX, odpowiadającej położeniu geograficznemu miasta).
6. Obliczenie zestawu wskaźników klimatycznych - wykonanie obliczeń dla każdego modelu Euro-Cordex, każdego scenariusza (RCP4.5 i RCP8.5) i miasta (oczek siatki obliczeniowej EuroCORDEX, odpowiadającej położeniu geograficznemu miasta):
 - a. na podstawie skorygowanych wyników projekcji klimatycznych dla 3 horyzontów czasowych dla 2010 (jako średnia z okresu 2006-2015), dla 2030 (jako średnia z okresu 2026-2035) i dla 2050 (jako średnia z okresu 2046-2055),
 - b. na podstawie obserwacji (dane IMGW-PIB) jako średnia z 10-lecia 2006-2015.

³ http://sedac.ipcc-data.org/ddc/ar5_scenario_process/RCPs.html

⁴ Allison M. et al (2011): RCP4.5: a pathway for stabilization of radiative forcing by 2100. *Climatic Change* (2011) 109:77–94

⁵ Keywan R. et al. (2011): RCP 8.5 - A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions. *Climatic Change* (2011) 109:33–57

⁶ <ftp://ftp.gr.vim.org/mirrors/CRAN/web/packages/qmap/qmap.pdf>

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

7. Obliczenie średnich wartości wskaźników klimatycznych (wyniki uśrednione dla wiązki modeli EuroCORDEX dla każdego z horyzontów czasowych) - wykonanie obliczeń dla każdego scenariusza (RCP4.5 i RCP8.5) i miasta.

Należy podkreślić, że wybór okresów 10-letnich podyktowany był dostępem danych w EuroCORDEX dla analizowanych scenariuszy (obecnie dostępne dane są dla okresu od 2006 do 2100). Z tego powodu oraz by zachować jednolite podejście do analiz, dla klimatu bieżącego wybrano jedyny wspólny okres dostępny do „kalibracji” modeli obejmujący lata 2006-2015.

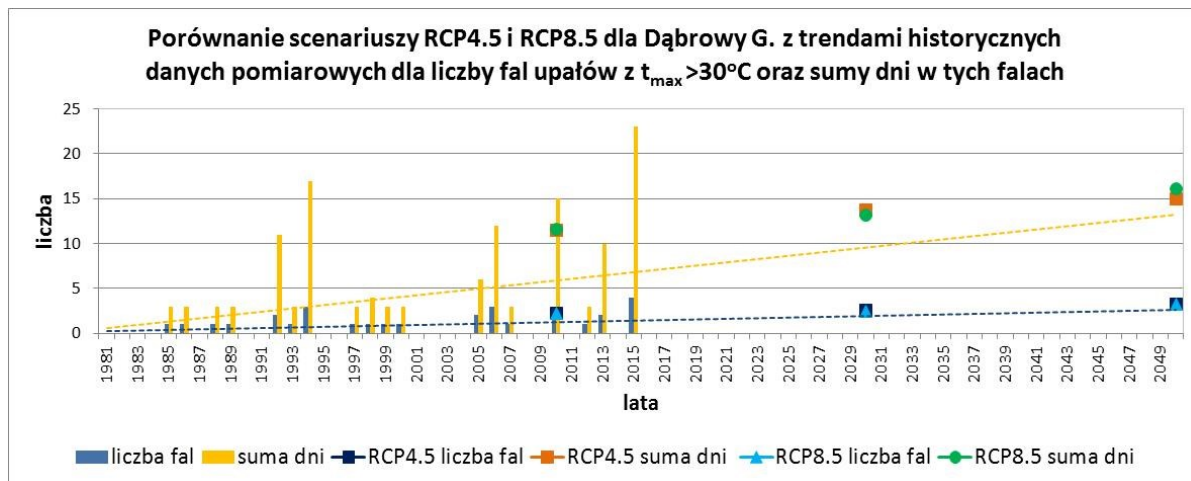
Na podstawie wyników parametrów podstawowych, celem wykonania oceny narażenia na zmiany klimatu na obszarze miasta, dla obu scenariuszy (RCP4.5 i RCP 8.5) oraz dwóch horyzontów czasowych (2030 i 2050) i dla klimatu bieżącego (2015), obliczono wybrane termiczne i opadowe wskaźniki klimatyczne (tabela 3).

Tabela 3. Wskaźniki klimatyczne dla scenariuszy klimatycznych

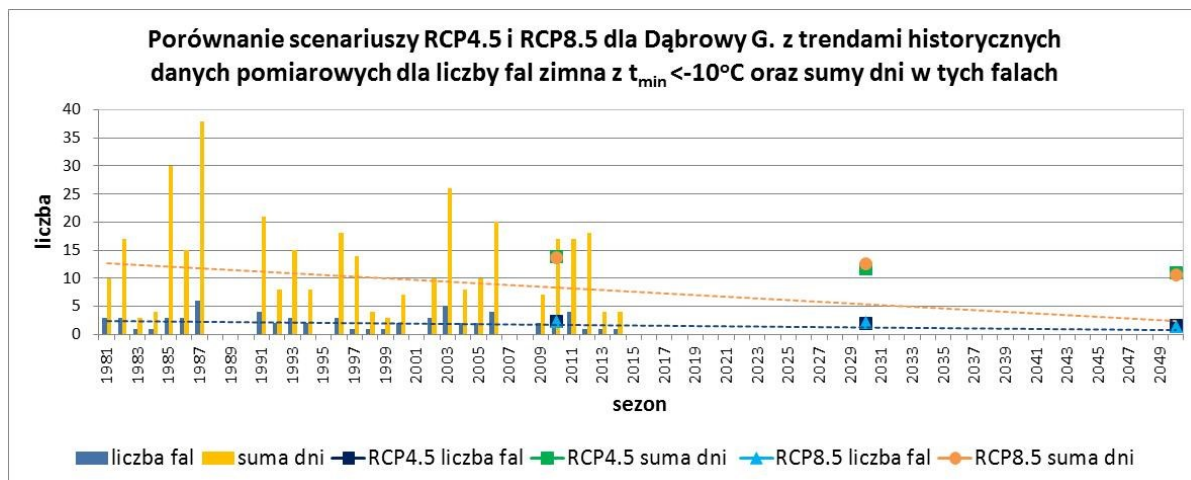
| Zagrożenie | Wskaźnik |
|-----------------------------|--|
| Wskaźniki termiczne | |
| Upały | Percentyl 98% temperatury maksymalnej dobowej w roku |
| | Liczba dni z temperaturą maksymalną > 30°C w roku |
| | Liczba okresów o długości przynajmniej 3 dni (i czas trwania) z temperaturą maksymalną > 30°C w roku |
| | Liczba dni z temperaturą maksymalną > 25°C w roku |
| | Liczba okresów o długości przynajmniej 5 dni (i czas trwania) z temperaturą maksymalną > 25°C w roku |
| | Liczba dni z temperaturą minimalną > 20°C w roku |
| Chłody | Percentyl 2% temperatury minimalnej dobowej w roku |
| | Liczba dni z temperaturą maksymalną < 0°C w roku |
| | Liczba dni z temperaturą minimalną < -10°C w roku |
| | Liczba okresów o długości przynajmniej 3 dni (i czas trwania) z temperaturą minimalną < -10°C w roku |
| Przymrozki | Liczba dni z temperaturą minimalną < 0°C w roku |
| | Liczba okresów o długości przynajmniej 5 dni (i czas trwania) z temperaturą minimalną < 0°C w roku |
| | Liczba dni z przejściem temperatury przez 0°C w roku |
| Średnie warunki termiczne | Stopniodni dla temperatury średniodobowej < 17°C w roku |
| | Stopniodni dla temperatury średniodobowej > 27°C w roku |
| | Liczba dni z temperaturą średniodobową > 10°C w roku |
| | Wartość temperatury średniorocznej |
| | Wartości temperatury średniomiesięcznej |
| Wskaźniki opadowe | |
| Susze | Najdłuższy okres bez opadu (opad < 1mm/d) w roku |
| | Liczba okresów bez opadu dłuższych od 5 dni w roku |
| Dni z opadem | Suma roczna opadu |
| | Liczba dni z opadem ≤ 1mm/d w roku |
| | Liczba okresów z opadem ≥ 1mm/d dłuższych od 5 dni w roku |
| Opad ekstremalny | Liczba dni z opadem ≥ 10 mm/d w roku |
| | Liczba dni z opadem ≥ 20 mm/d w roku |
| Średnie warunki opadowe | Miesięczna suma opadu |
| | Maksymalny opad dobowy w miesiącu |
| Wskaźniki łączone | |
| Wskaźniki termiczno-opadowe | Liczba dni z opadem przy temp. -5°C do 2,5°C |

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

Na poniższych wykresach (rys.68 - 71) przedstawiono porównanie wyników uzyskanych ze scenariuszy RCP4.5 i RCP8.5 dla Dąbrowy Górniczej z trendami wyznaczonymi na podstawie historycznych danych pomiarowych dla stacji synoptycznej w Katowicach (wskaźniki termiczne) i dla stacji opadowej w Czeladzi (wskaźniki pluwialne) dla kilku przykładowych wskaźników klimatycznych. Analiza wykresów wskazuje na zbieżność przewidywanych różnymi metodami analitycznymi zmian kluczowych wskaźników klimatycznych.

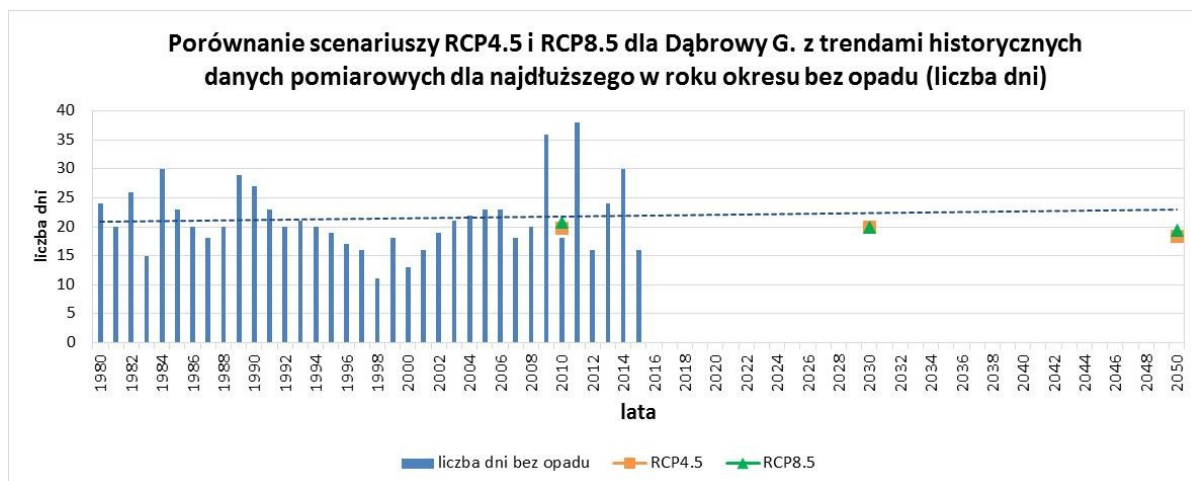


Rys. 68 Porównanie wyników uzyskanych ze scenariuszy RCP4.5 i RCP8.5 z trendami wyznaczonymi na podstawie historycznych danych pomiarowych dla liczby fal upałów oraz sumy dni w tych falach

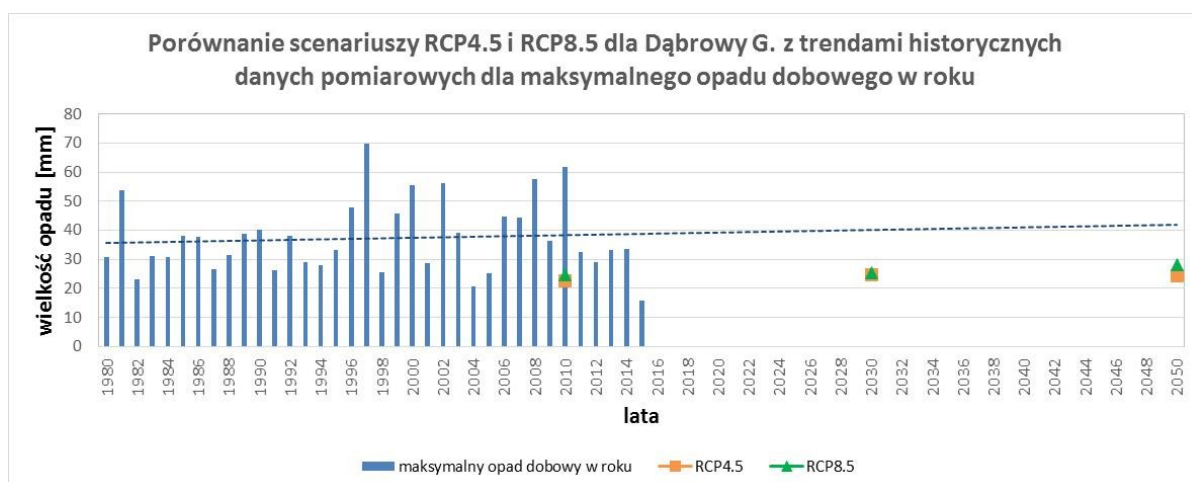


Rys. 69 Porównanie wyników uzyskanych ze scenariuszy RCP4.5 i RCP8.5 z trendami wyznaczonymi na podstawie historycznych danych pomiarowych dla liczby fal zimna oraz sumy dni w tych falach

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



Rys. 70 Porównanie wyników uzyskanych ze scenariuszy RCP4.5 i RCP8.5 z trendami wyznaczonymi na podstawie historycznych danych pomiarowych dla najdłuższego w roku okresu bez opadu



Rys. 71 Porównanie wyników uzyskanych ze scenariuszy RCP4.5 i RCP8.5 z trendami wyznaczonymi na podstawie historycznych danych pomiarowych dla maksymalnego opadu dobowego w roku

2.2 Omówienie wyników uzyskanych dla miasta

Predykcja zmian parametrów charakteryzujących poszczególne zjawiska klimatyczne dla przyjętych scenariuszy emisji gazów cieplarnianych pozwoliła na tym etapie wskazać generalne trendy tych zmian.

Scenariusze klimatyczne dla Dąbrowy Górniczej opracowane zostały w ramach projektu, w postaci zmienności wartości wybranych parametrów meteorologicznych.

Poniżej w tabeli 4, przedstawiono skalę oceny prawdopodobieństwa wystąpienia zjawisk pogodowych. Przyjęta w dokumencie wielkość prawdopodobieństwa bazuje na częstotliwości występowania czynników klimatycznych oraz trendach ich zmian, a także ocenie istotności tych zmian przy użyciu testu istotności Mann'a Kendalla. Zakres danych historycznych przyjętych w opracowaniu obejmuje lata 1981-2015. Dla uzupełnienia w tabeli przedstawiono wyniki oceny prawdopodobieństwa wg scenariuszy RCP4.5. i RCP8.5.

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

Tabela 4. Skala prawdopodobieństwa opracowana według analizy trendów zmian parametrów klimatycznych

| Trend | Skala i kierunek zmian | | Prawdopodobieństwo |
|---|------------------------|---|--------------------|
| rosnący, wzmocniony wzrostem częstotliwości występowania zjawiska | ↗ | 5 | b. duże |
| rosnący dla zjawisk opisywanych jednym parametrem | ↗ | 4 | duże |
| duża zmienność wartości parametru opisującego zjawisko | ↕ | 3 | średnie |
| stały, malejący | ↘ | 2 | okazjonalne |
| silnie malejący | ↘ | 1 | małe |

Predykcja zmian parametrów charakteryzujących poszczególne zjawiska klimatyczne dla przyjętych scenariuszy emisji gazów cieplarnianych pozwoliła na tym etapie wskazać generalne trendy tych zmian. Przyjęta w opisie skala jest prezentowana poniżej (Tabela 5).

Tabela 5. Skala zmian parametrów klimatycznych według prognoz zmian klimatycznych opracowanych dla scenariuszy emisji gazów cieplarnianych

| Symbol | Opis trendu |
|--------|---------------------|
| ^^^ | bardzo silny wzrost |
| ^^ | silny wzrost |
| ^ | umiarkowany wzrost |
| - | brak trendu |
| v | umiarkowany spadek |
| vv | silny spadek |
| vvv | bardzo silny spadek |

Przyjęte w oparciu o porównanie analizy trendów i scenariuszy klimatycznych wartości prawdopodobieństwa zmian parametrów reprezentujących czynniki klimatyczne są prezentowane w tabeli 6. Porównując poniższe dane historyczne z 35-lecia oraz scenariusze klimatyczne można zauważyć, że predykcja kierunków zmian klimatycznych jest podobna.

Tabela 6. Analiza prawdopodobieństwa trendów zmian czynników klimatycznych i zjawisk pochodnych dla Dąbrowy Górniczej na lata 2030-2050

| CZYNNIKI KLIMATYCZNE I ZJAWISKA POCHODNE ANALIZY | Temperatura maksymalna | Temperatura minimalna | Stopniodni <17 | Stopniodni >27 | Fale upałów | Fale zimna | Temperatura przejściowa | Międzydobowa zmiana temperatury | Liczba dni z T _{sr} -5 do 2,5°C i opadem | MWC | Deszcze nawalne |
|--|------------------------|-----------------------|----------------|----------------|-------------|------------|-------------------------|---------------------------------|---|--------|-----------------|
| Prawdopodobieństwo i trendy dla danych IMGW za okres 1981-2015 na podstawie testu istotności Mann'a-Kendalla | ↗ 5 | ↕ 3 | ↕ 3 | ↗ 5 | ↗ 5 | ↗ 4 | ↘ 2 | ↗ 4 | ↕ 3 | ↗ 4 | ↗ 5 |
| Scenariusze RCP4.5 | ^^ | ^ | | | ^ | v | v | | v | | ^ |
| Scenariusze RCP8.5 | ^^ | ^ | | | ^^ | v | vv | | v | | ^^ |
| Wartość prawdopodobieństwa przyjęta w analizie ryzyka | 5 | 3 | 3 | 5 | 5 | 4 | 2 | 4 | 3 | 4 | 5 |

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

tabela 6. cd.

| CZYNNIKI KLIMATYCZNE I ZJAWISKA POCHODNE ANALIZY | Ekstremalne opady śniegu | Długotrwałe okresy bezopadowe | Okresy bezopadowe z wysoką temperaturą | Okresy niżówkowe | Niedobory wody | Powódź od strony rzek | Powódzie nagłe/ powódzie miejskie | Koncentracja zanieczyszczeń powietrza | Smog | Silny i bardzo silny wiatr | Burze (w tym burze z gradem) |
|---|--------------------------|----------------------------------|---|------------------|----------------|-----------------------|--------------------------------------|--|------|----------------------------|---------------------------------|
| Prawdopodobieństwo trendy danych za okres 1981-2015 na podstawie testu istotności Mann'a-Kendalla | ↑ | ↓ | ↗ | ↓ | ↓ | ↓ | ↗ | ↗ | ↗ | ↗ | ↗ |
| | 3 | 3 | 5 | 3 | 3 | 3 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Scenariusze RCP4.5 | | v | | | | | | | | | |
| Scenariusze RCP8.5 | | v | | | | | | | | | |
| Wartość prawdopodobieństwa przyjęta w analizie ryzyka | 3 | 3 | 5 | 3 | 3 | 3 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 |

3. Podsumowanie

Wykonana analiza parametrów meteorologicznych oraz aerosanitarnych ukierunkowana była na potrzeby oceny wrażliwości miasta na te stresory. Celem jej było zwrócenie uwagi na główne zagrożenia występujące w mieście, a wynikające ze zmian klimatu. Z przeprowadzonych analiz wynika, iż główne zagrożenie w Dąbrowie Górniczej powodują:

- wzrost liczby dni upalnych w okresie letnim (temperatury maksymalne - w lecie powyżej 32,5°C) oraz wzrost liczby fal upałów i dni objętych falami upałów (z temperaturą powyżej 30°C),
- występowanie miejskiej wyspy ciepła,
- wzrost liczby okresów bezopadowych połączonych z wysoką temperaturą powietrza (powyżej 25°C) oraz liczby dni objętych tymi okresami,
- występowanie krótkich lecz intensywnych opadów, które mogą powodować lokalne podtopienia ulic i budynków,
- rosnąca liczba dni burzowych,
- silne i bardzo silne wiatry,
- zła sytuacja aerosanitarna w mieście, szczególnie w kontekście zanieczyszczenia powietrza pyłami oraz występowania smogu zimowego.

Do pozytywnych zidentyfikowanych zjawisk występujących na terenie miasta należy zaliczyć:

- coraz rzadsze występowanie fal zimna i dni mroźnych,
- sporadyczne i ograniczone przestrzennie występowanie powodzi rzecznych.