Plan adaptacji miasta Sosnowiec do zmian klimatu do roku 2030 - Projekt

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

Głównym celem przedstawionej analizy jest określenie stopnia ekspozycji miasta na dany czynnik klimatyczny. 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 Sosnowca została opracowana w oparciu o następujące dane źródłowe:

- dane pomiarowe ze stacji synoptycznej IMGW w Katowicach Muchowcu za okres 1981 – 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 Łagisza i Radocha na Czarnej Przemszy, Jeleń na Przemszy, Dąbrowa Górnicza na Pogorii, Sławków i Niwka na Białej Przemszy, Niwka na Bobrku oraz Namiarki, Czeladź i Szabelnia na Brynicy;
- dane pomiarowe nt. jakości powietrza ze stacji monitoringu powietrza PMŚ w Sosnowcu, przy ul. Lubelskiej i ul. Narutowicza oraz w 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.

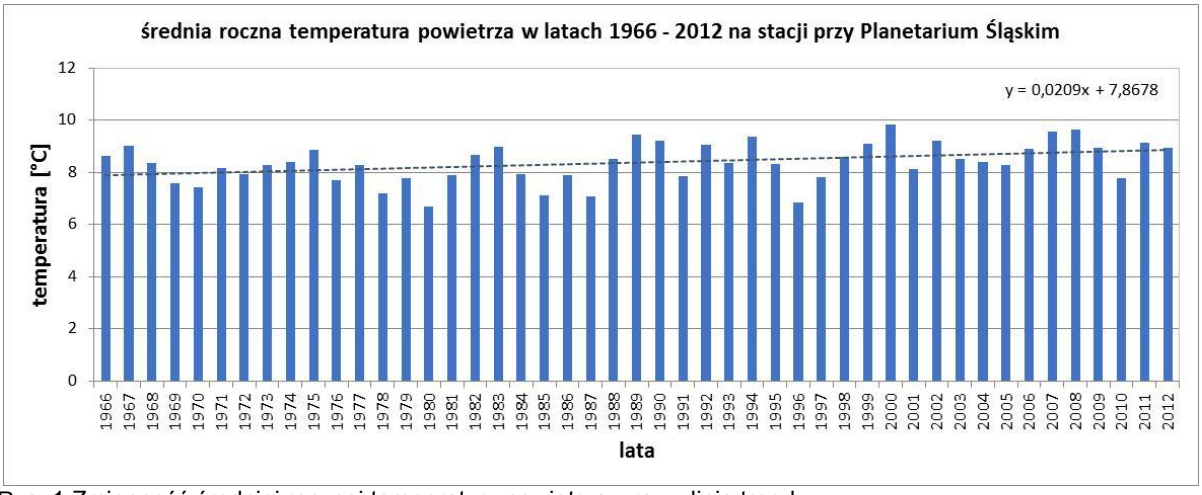
Przymrozki są zjawiskiem powodującym straty ekonomiczne w niektórych działach rolnictwa, zwłaszcza w sadownictwie i ogrodnictwie. Mogą one spowodować zniszczenia bezpośrednio wpływające na wielkość i jakość oczekiwanych plonów.

Silny mróz jest przyczyną wielu strat w gospodarce, zwłaszcza w produkcji rolnej i sadownictwie, powodując wymarzanie 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 +2,5°C przy jednoczesnym wystąpieniu opadów może powodować pojawienie się niebezpiecznych oblodzeń, gołoledzi, opadów deszczu ze śniegiem, itp. zjawisk.

- **Temperatura średnia**

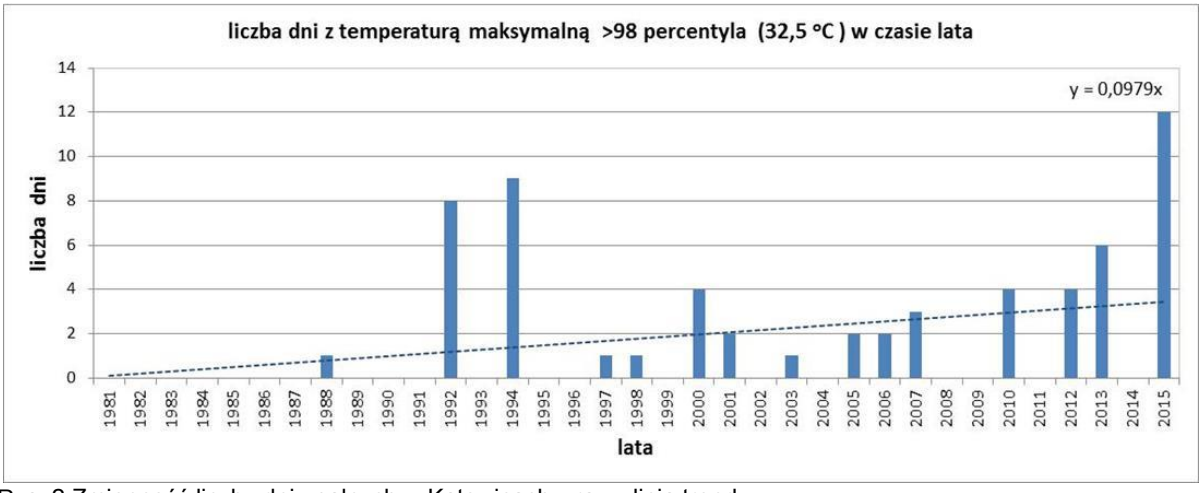
Zmienność średniej rocznej temperatury powietrza oceniono na podstawie danych pomiarowych z lat 1966 - 2012 pozyskanych ze stacji meteorologicznej przy Planetarium Śląskim. Międzyroczne wahania średniej temperatury powietrza w analizowanym wieloleciu były znaczne. Temperatura średnia roczna zmieniała 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**

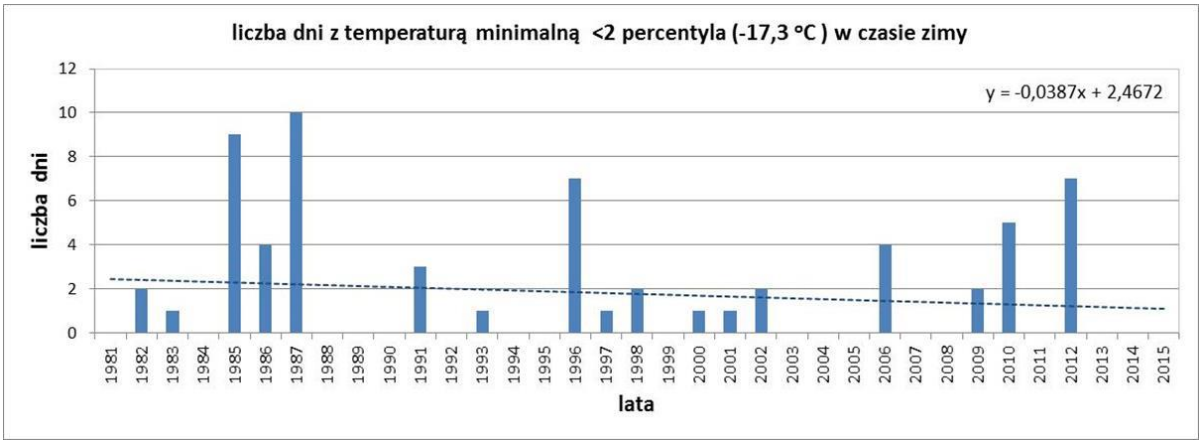
Do charakterystyki maksymalnej temperatury powietrza w rejonie miasta przyjęto poziom 32,5°C stanowiący 98 percentyl z dobowych temperatur maksymalnych w okresach letnich w analizowanym wieloleciu. Liczba takich dni w poszczególnych latach analizowanego okresu zmieniała się w zakresie od 0 do 12, przy 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

- **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°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).

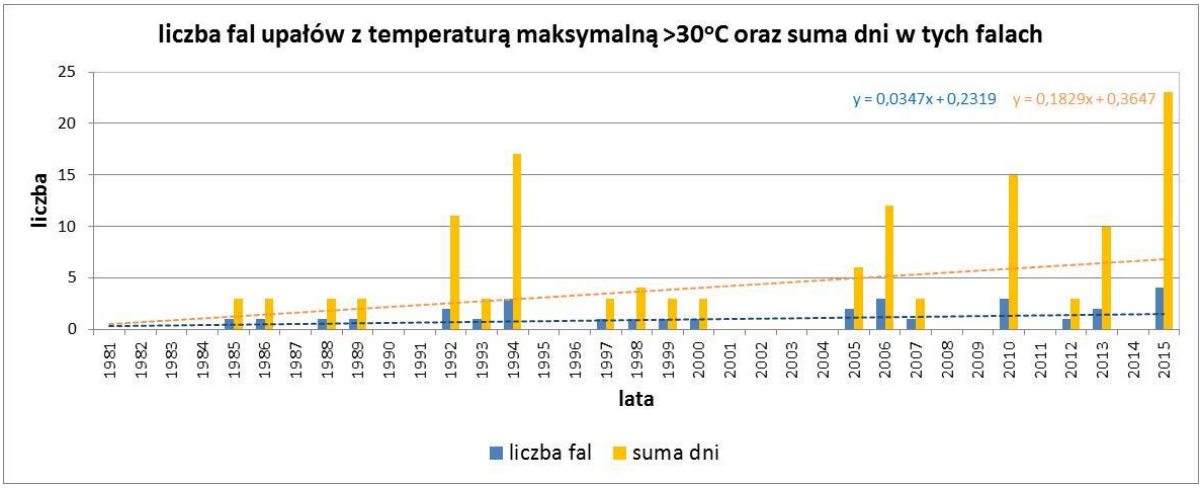


Rys. 3 Zmienność liczby dni mroźnych w Katowicach wraz z linią trendu

- **Fale upałów i fale zimna**

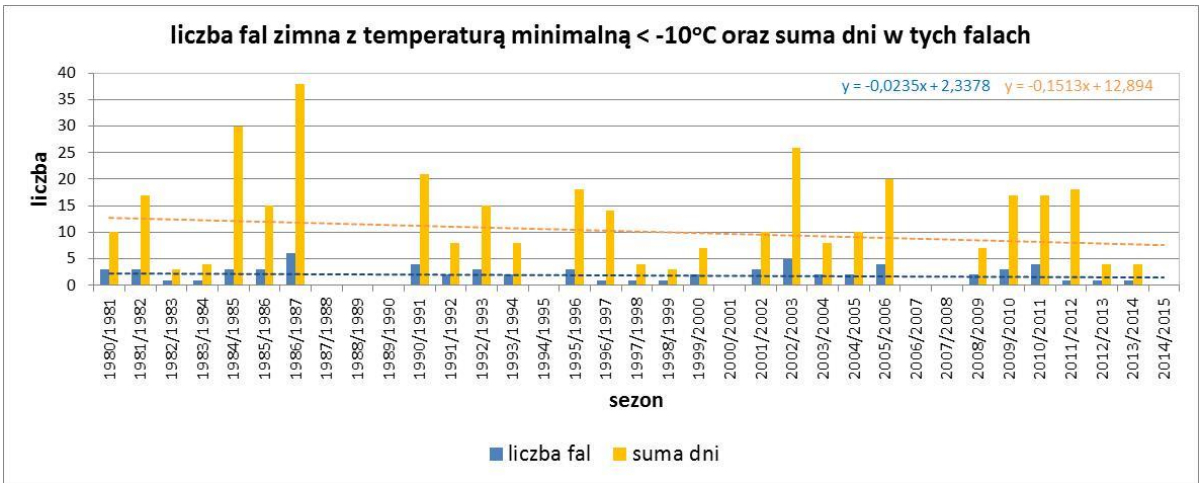
Fala upałów definiowana jest, jako okres co najmniej 3 dni z maksymalną temperaturą powietrza powyżej 30°C, natomiast fala zimna to okres co najmniej 3 dni w temperaturą minimalną poniżej -10°C. Zarówno fale upałów, jak i fale zimna stanowią poważne zagrożenie dla zdrowia i życia ludzi, a także wpływają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

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 trenu, 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

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 niezasklepionych 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 izotermy 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*

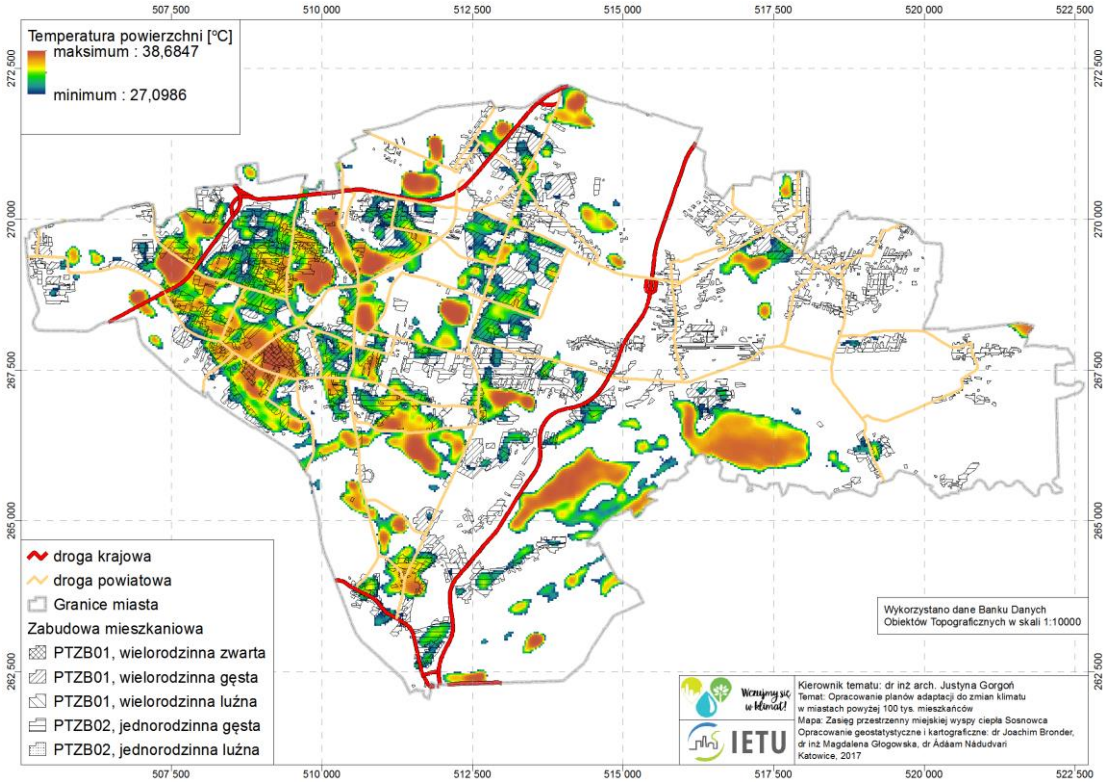
$T2_i$ - minimalna temperatura kinetyczna powierzchni w mieście *i*

STD_i - odchylenie standardowe średniej temperatury kinetycznej w mieście *i*.

Parametry do powyższego równania wyznaczono w oparciu o statystkę 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.

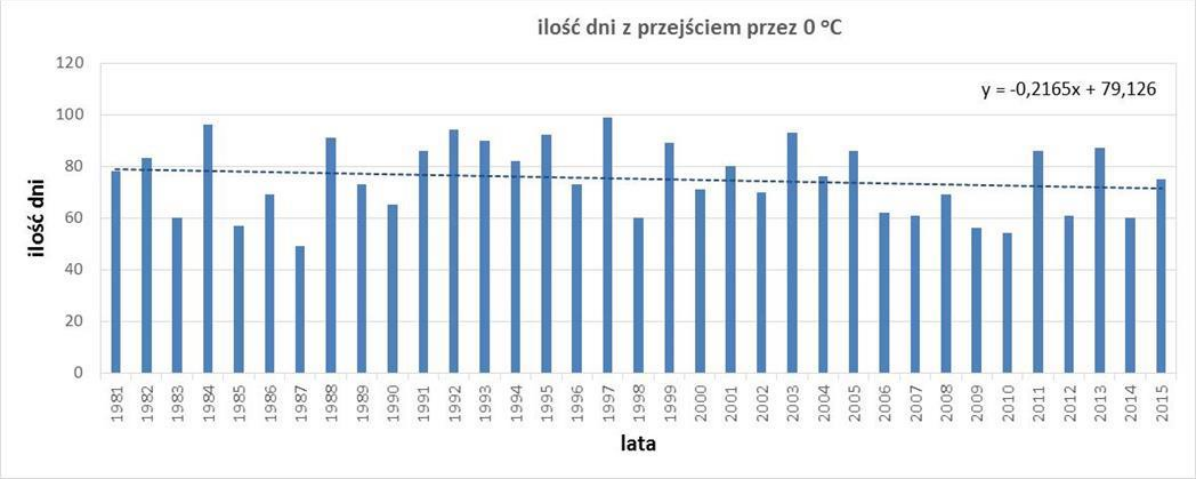
Na rys.6 przedstawiono określony przy zastosowaniu opisanej powyżej metodyki zasięg miejskiej wyspy ciepła w Sosnowcu.



Rys. 6 Rozkład przestrzenny MWC w Sosnowcu

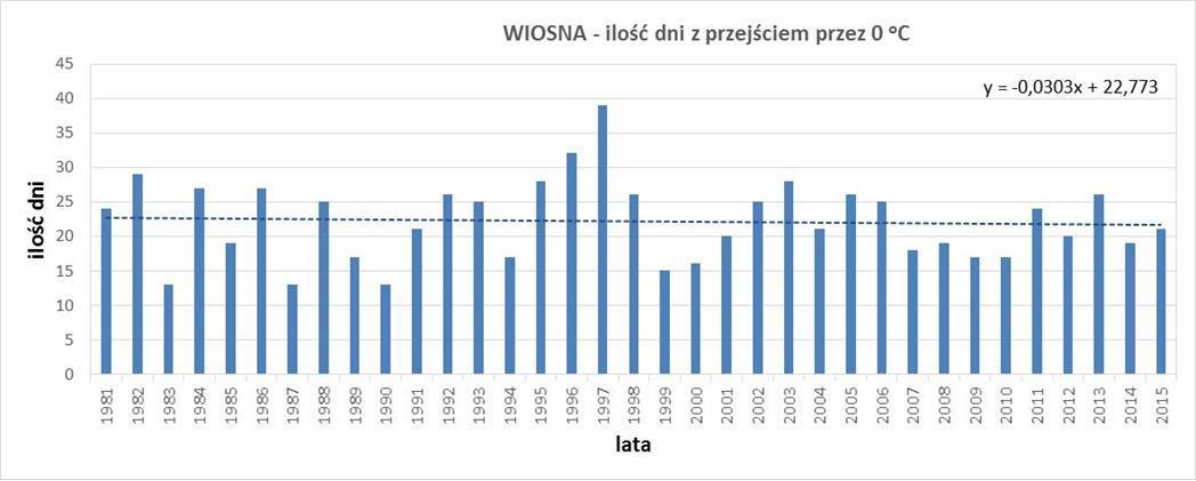
- **Temperatura przejściowa i dni charakterystyczne termiczne**

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.



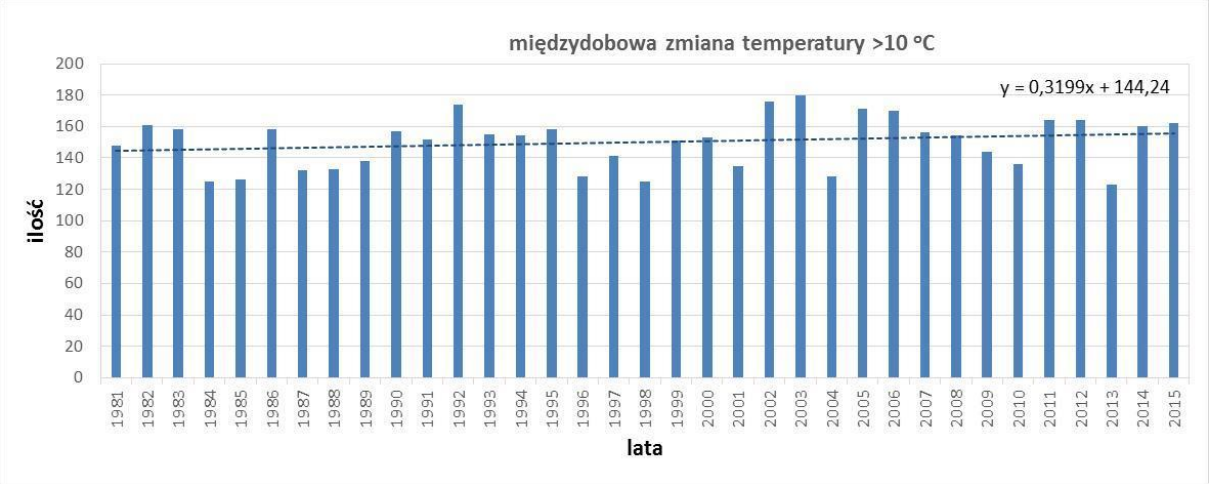
Rys. 7 Liczba dni z przejściem temperatury przez 0°C w poszczególnych latach w Katowicach wraz z linią trendu

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).



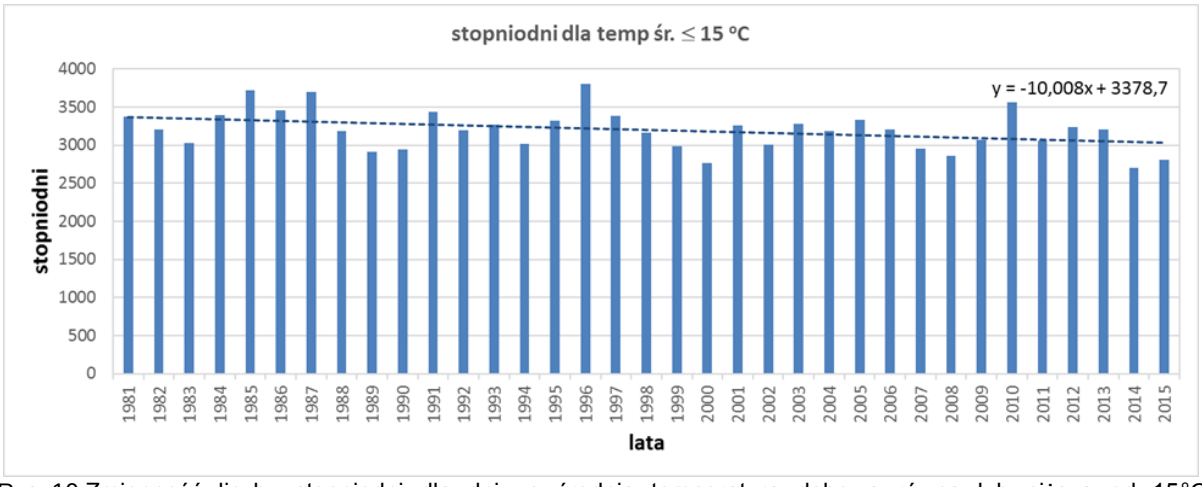
Rys. 9. Liczba dni z amplitudą temperatury powyżej 10°C w Katowicach wraz z linią trendu.

- **Zmienność liczby dni grzewczych i chłodzących**

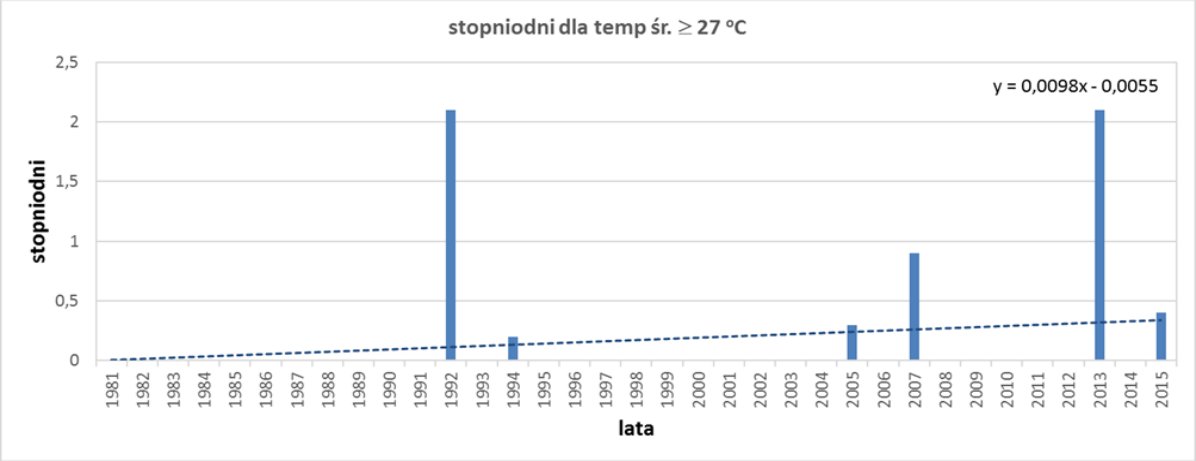
Wskaźnik liczby dni z temperaturą ≤ 15°C, czyli liczby dni grzewczych, to liczba dni ze średnią temperaturą dobową równą lub niższą od 15°C. Wskaźnik HDD (z ang. heating degree day) czyli liczby stopniodni ≤ 15°C został wyliczony na podstawie temperatury średniej dobowej dla dni ze średnią dobową temperaturą równą lub niższą od 15°C według następującego wzoru:
$Sd(17°C) = \sum_{i=1}^{n}[17°C - t_{sr}(i)]$ dla $t_{śr}(i) \leq 15°C$

Wskaźnik liczby dni z temperaturą ≥ 27°C, czyli liczby dni chłodzących, to liczba dni ze średnią dobową temperaturą równą lub wyższą od 27°C. Wskaźnik CDD (z ang. cooling degree day)czyli liczby stopniodni ≥ 27°C został wyliczony na podstawie temperatury średniej dobowej dla dni ze średnią dobową temperaturą równą lub wyższą od 27°C według następującego wzoru:
$Sd(27°C) = \sum_{i=1}^{n}[t_{sr}(i) - 27°C]$ dla $t_{śr}(i) \geq 27°C$

W analizie najistotniejszy wydaje się fakt, iż w przypadku Katowic roczna suma stopniodni ≤ 15°C systematycznie maleje (rys.10), natomiast liczba stopniodni ≥ 27°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



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 pluwialna 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. Podstawowym materiałem badawczym były dobowe sumy opadów w wybranych miastach. W przypadku Sosnowca przeanalizowano dane ze stacji synoptycznej w Katowicach Muchowcu. 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 ostrzeżeń o możliwości wystąpienia intensywnych opadów deszczu.

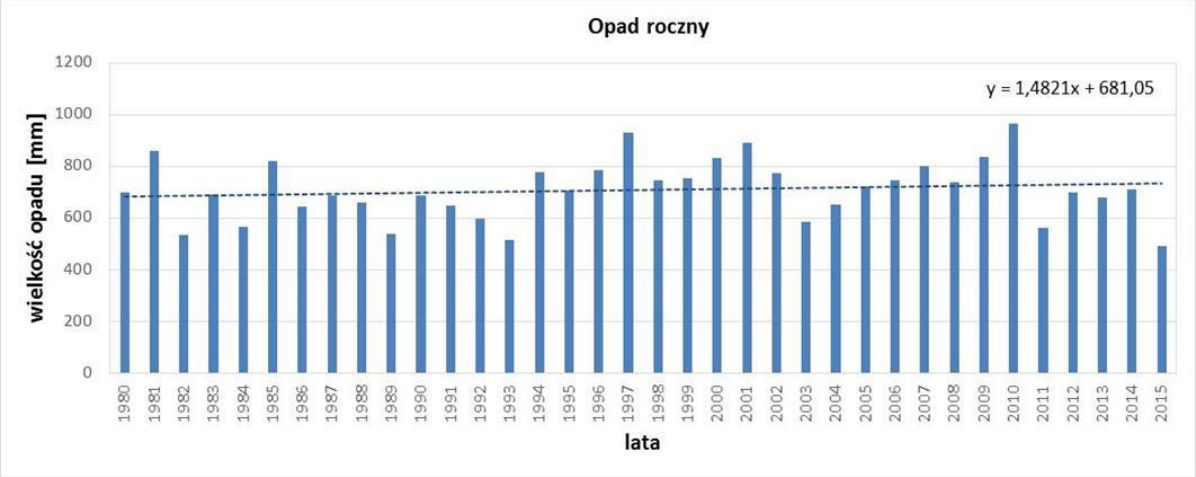
Zgodnie z metodyką dane opadowe zostały poddane analizie pod kątem otrzymania informacji dotyczących następujących wskaźników:

- suma roczna opadów,
- najwyższa i najniższa miesięczna suma opadów,
- najwyższa suma dobowa 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 w/w wskaźników obliczono wartości charakterystyczne oraz trendy.

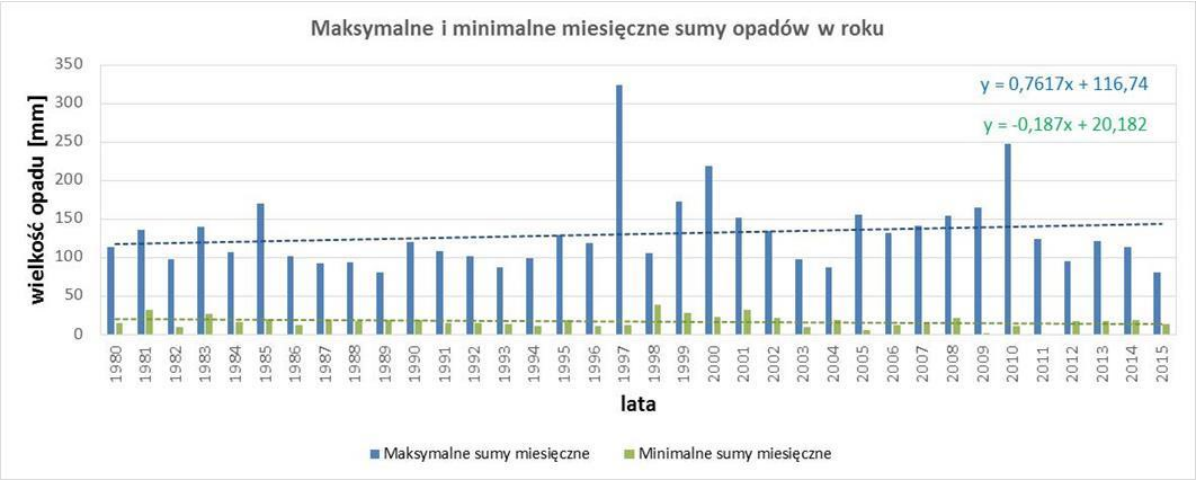
Analiza sum rocznych, miesięcznych i dobowych opadów

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).



Rys. 12 Roczna suma opadu w Katowicach 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.13).

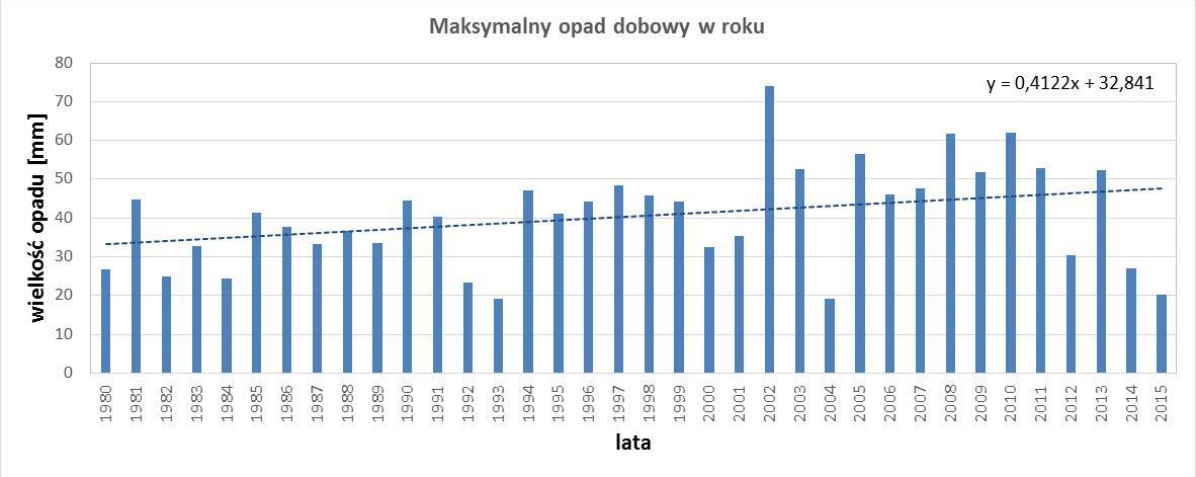


Rys. 13 Maksymalne i minimalne miesięczne sumy opadów w Katowicach wraz z liniami trendu

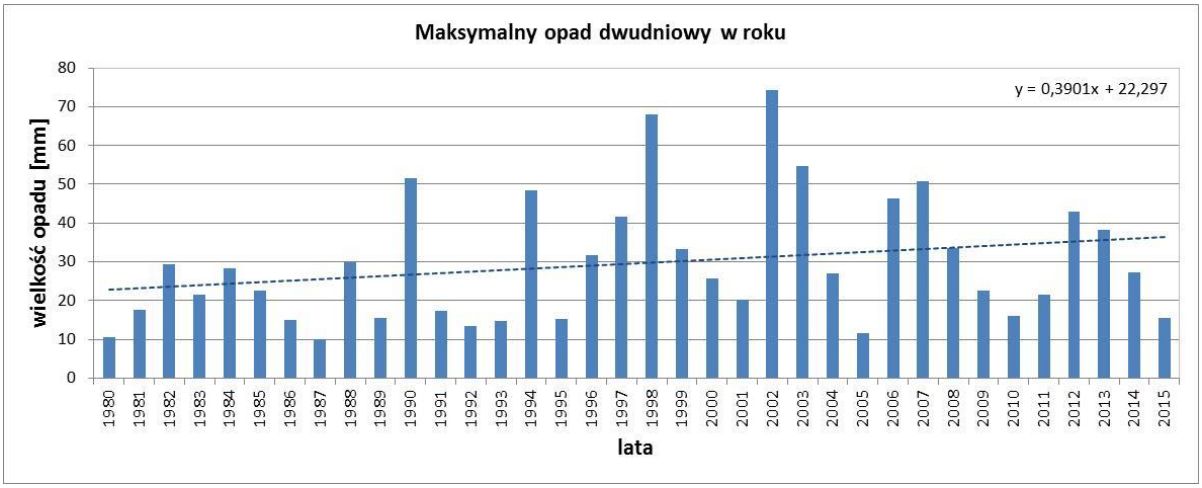
Przeanalizowano także maksymalne opady dobowe, maksymalne opady w ciągu dwudniowym oraz maksymalne opady w ciągu pięciodniowym. W latach 1980 – 2015 na stacji w Katowicach:

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

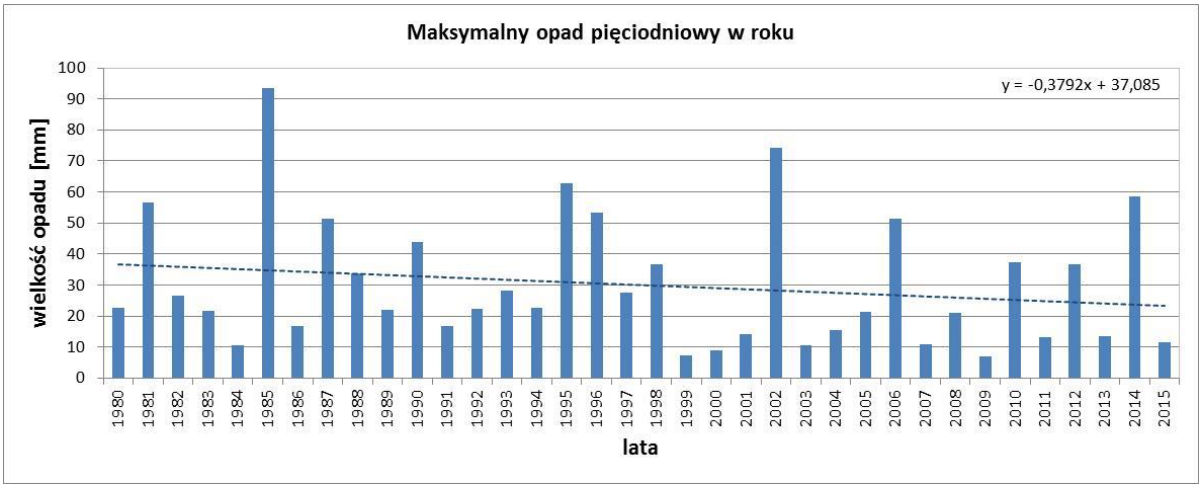
Wyznaczono statystycznie istotny rosnący trend dla maksymalnego opadu dobowego (rys.14). Rosnąca linia trendu maksymalnego opadu w ciągu dwudniowym (rys.15) oraz malejąca linia trendu maksymalnego opadu w ciągu pięciodniowym (rys.16) nie jest statystycznie istotna.



Rys. 14 Maksymalna dobowa suma opadu w Katowicach wraz z linią trendu



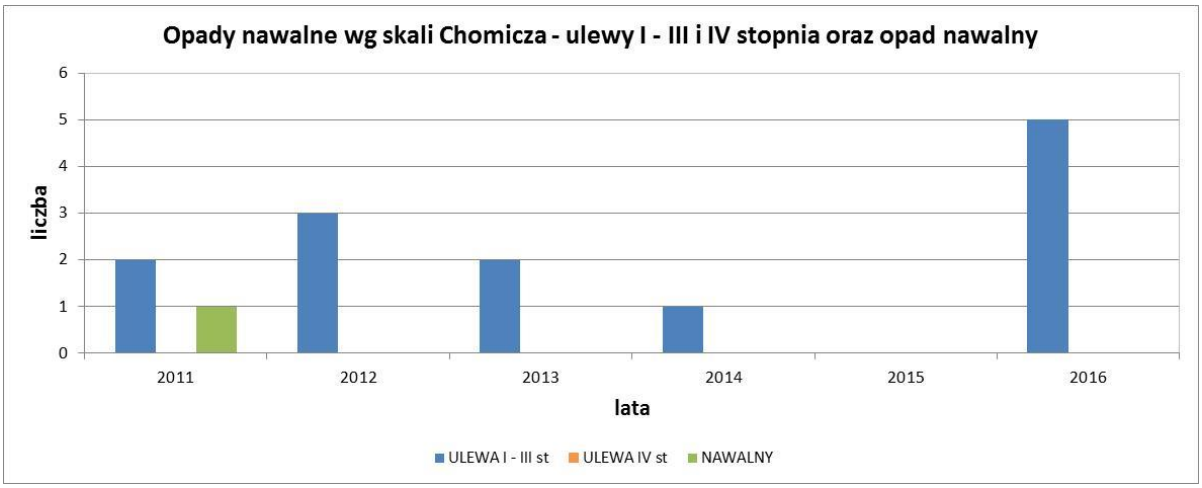
Rys. 15 Maksymalna suma opadu w ciągu dwudniowym w Katowicach wraz z linią trendu



Rys. 16 Maksymalna suma opadu w ciągu pięciodniowym w Katowicach 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,

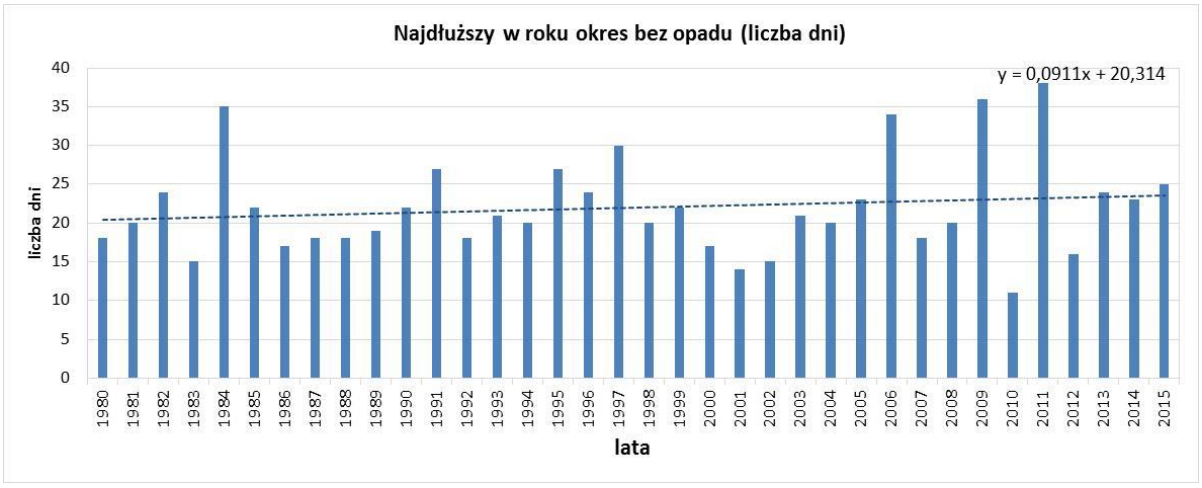
od zera w 2015 roku do pięciu w 2016 roku (rys.17). Ulewa IV stopnia w analizowanym okresie czasu nie wystąpiła ani razu, a deszcz nawalny wystąpił tylko raz, w 2011 roku.



Rys. 17 Częstość występowania ulew I-III i IV stopnia oraz deszczy nawalnych wg skali Chomicza na stacji w Katowicach

- **Długotrwałe okresy bezopadowe**

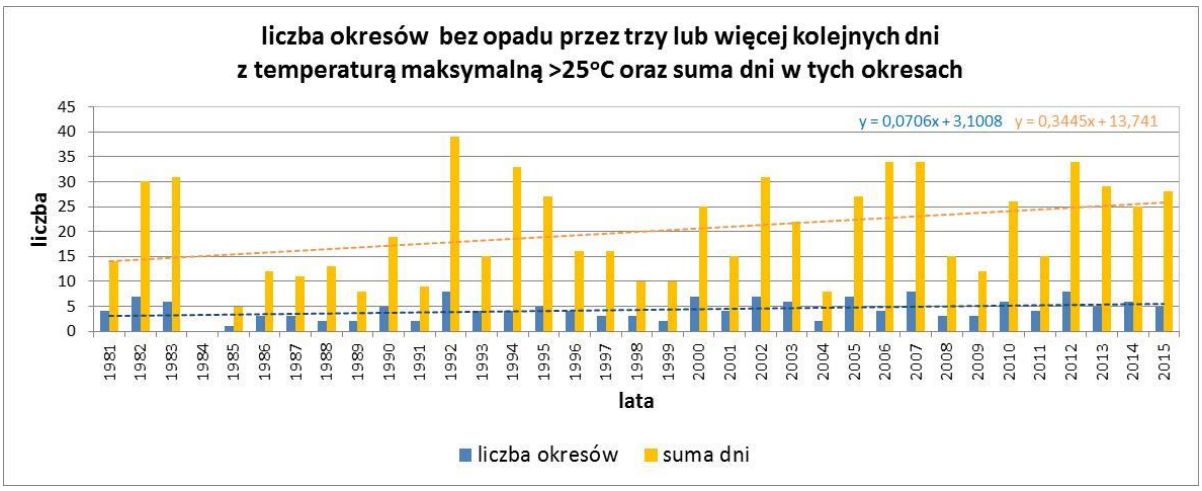
Na poniższym wykresie (rys.18) przedstawiono dane dotyczące długotrwałych okresów bezopadowych, czyli takich, w których opad nie wystąpił, a jeżeli wystąpił, to wysokość tego opadu nie przekroczyła 1 mm. Najdłuższy 38-dniowy okres bezopadowy w analizowanym wieloleciu 1980 – 2015 zarejestrowano w roku 2011, natomiast wartość średnia wynosiła około 22 dni. Wyznaczona dla analizowanej wielkości linia trendu nie jest statystycznie istotna.



Rys. 18 Najdłuższy w ciągu roku okres bez opadu na stacji w Katowicach 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 dobowa temperatura w każdym dniu przekraczała poziomu 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 ilości dni objętych okresami bezopadowymi połączonymi z wysoką temperaturą rosnąca linia trendu jest statystycznie istotna (rys.19).



Rys. 19 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, 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 powodzie miejskie, w których występują powierzchniowe zalania terenu oraz niżej położonych pomieszczeń. Opad ≥ 70 mm/dobę powoduje powodzie 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 kilkudniowe opady deszczu, o charakterze rozlewnym, obejmują duże obszary i są często przyczyną powodzi, natomiast krótkotrwałe deszcze ulewne i nawalne powodują m.in. wezbrania i powodzie 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.20).

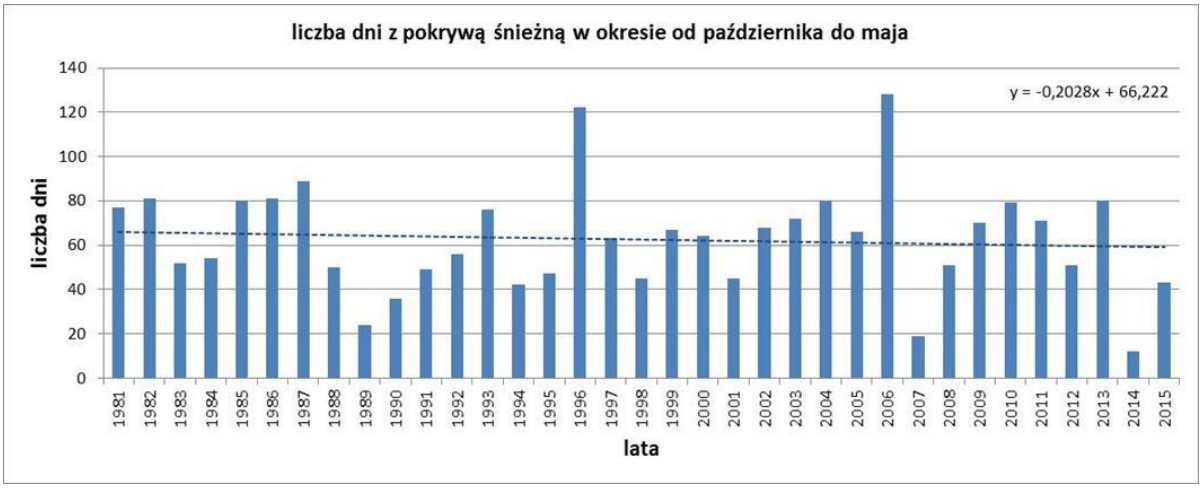
Rys. 20 Prawdopodobieństwo wystąpienia maksymalnego opadu dobowego dla zadanych wartości P[%] na stacji w Katowicach

- **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, nieprzejezdność 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).

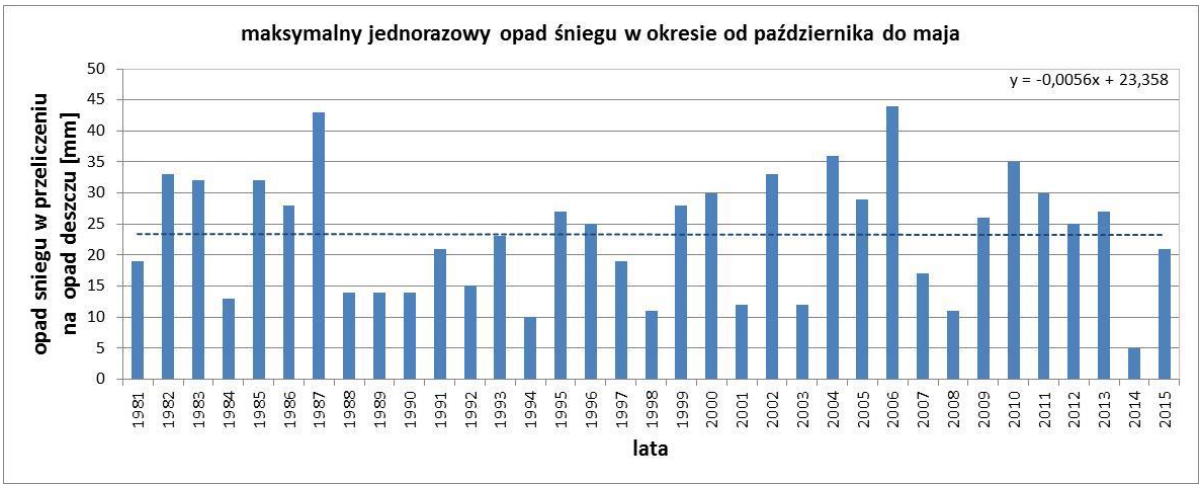
Średnia roczna liczba dni z pokrywą śnieżną w Katowicach w okresie 1981 – 2015 wynosiła ok. 63. Najwięcej dni z pokrywą śnieżną: 122 i 128 zanotowano odpowiednio w latach 1996 oraz 2006. Zdarzyły się 2 lata (2007, 2014), w których zanotowano mniej niż 20 dni z pokrywą śnieżną. Wyznaczony malejący trend liczby dni z pokrywą śnieżną nie jest statystycznie istotny (rys.21).



Rys. 21 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.22).



Rys. 22 Maksymalny jednorazowy opad śniegu na stacji w Katowicach wraz z linią trendu

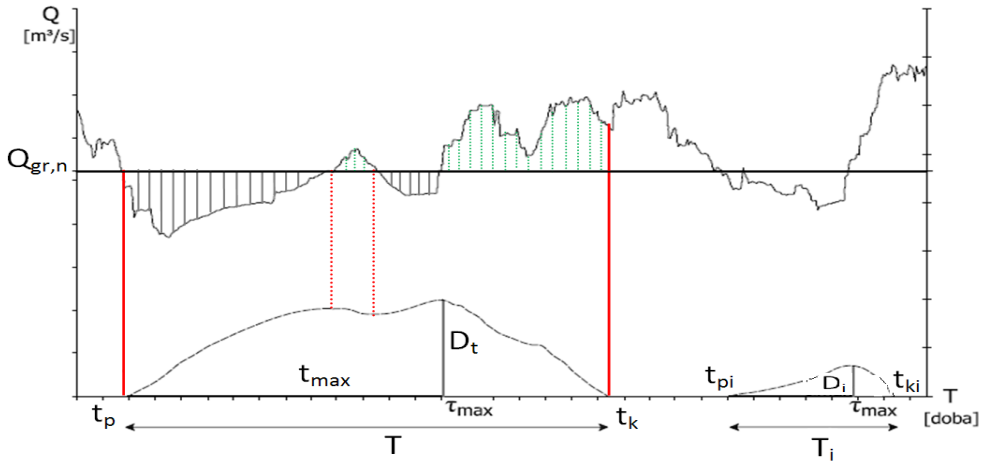
- **Okresy niżówkowe (rzeki)**

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 $Q_{min,n}$.

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. 23), polegającą na wyznaczeniu objętości niedoboru przepływu (deficytu niżówki) na podstawie krzywej sumowej odpływu (Tallaksen, 1997).



Rys. 23 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:

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

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 – dystrybuanta 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],
- 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:

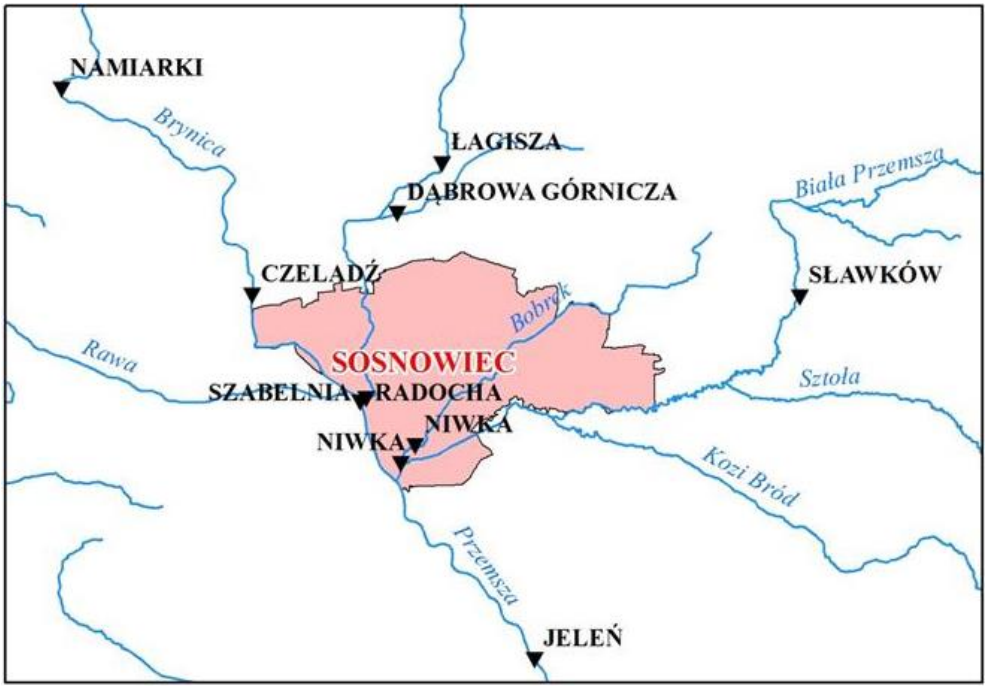
$$WSH = \frac{D_i T}{D_{95\%} T_{95\%}}$$

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.

Sosnowiec położony jest w zlewniach rzek: Czarnej Przemszy i Białej Przemszy, a po ich połączeniu Przemszy oraz Brynicy. Analizę przeprowadzono w oparciu o dane dla wytypowanych przez IMGW reprezentatywnych dla Sosnowca punktów wodowskazowych (rys.24):

- 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,
- Jeleń na Przemszy, na 12,84 km rzeki (kod 10490), dane dla lat 1981 – 2015,
- Dąbrowa Górnicza na Pogorii, na 0,89 km rzeki (kod 10520), dane dla lat 1981 – 2014,
- Sławków na Białej Przemszy, na 26,92 km rzeki (kod 10610), dane dla lat 1981 – 2015,
- Niwka na Białej Przemszy, na 0,76 km rzeki (kod 10630), dane dla lat 1981 – 2015,
- Niwka na Bobrku, na 1,15 km rzeki (kod 10660), dane dla lat 1981 – 2014,
- Namiarki na Brynicy, na 22,85 km rzeki (kod 10540), dane dla lat 1981 – 2015,
- Czeladź na Brynicy, na 7,87 km rzeki (kod 10550), dane dla lat 1981 – 1989 oraz 1991 – 2014,
- Szabelnia na Brynicy, na 0,09 km rzeki (kod 10570), dane dla lat 1981 – 2015.

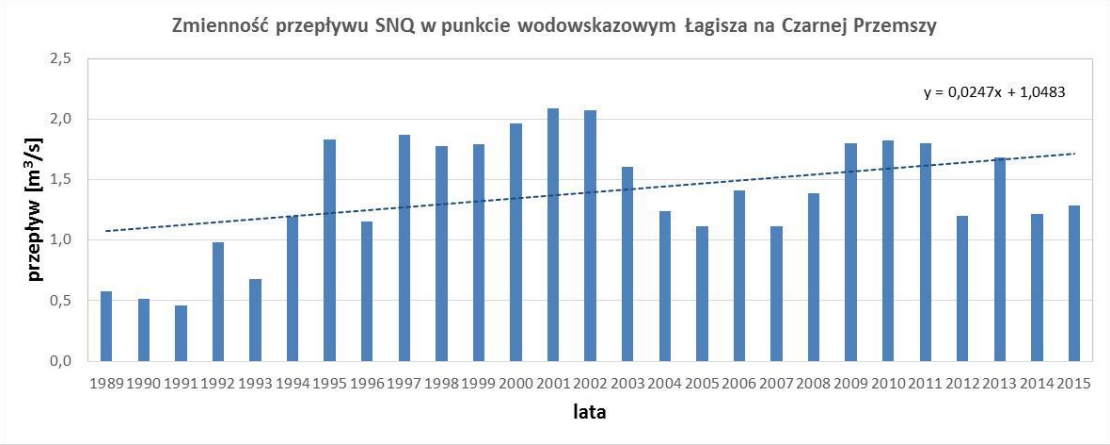


Rys. 24 Punkty wodowskazowe uwzględnione w analizie niżówek dla miasta Sosnowiec

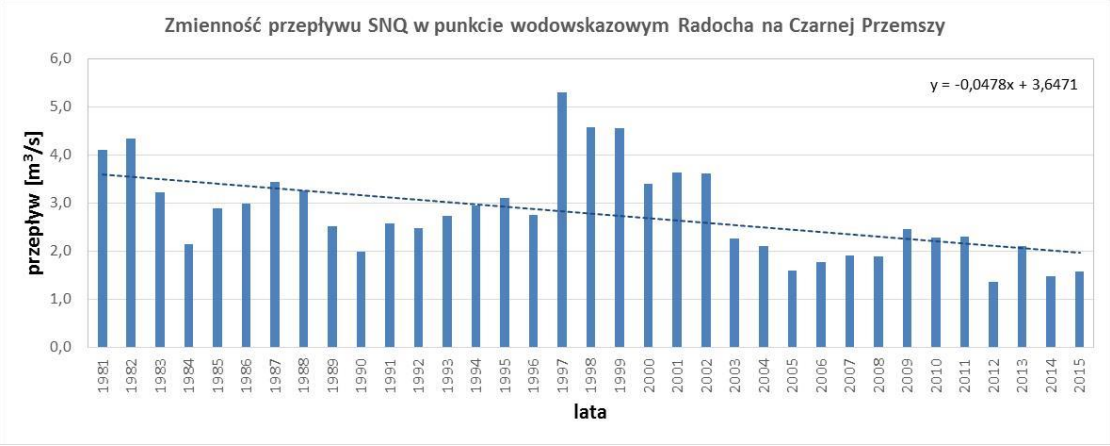
Analiza przepływów niskich

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.

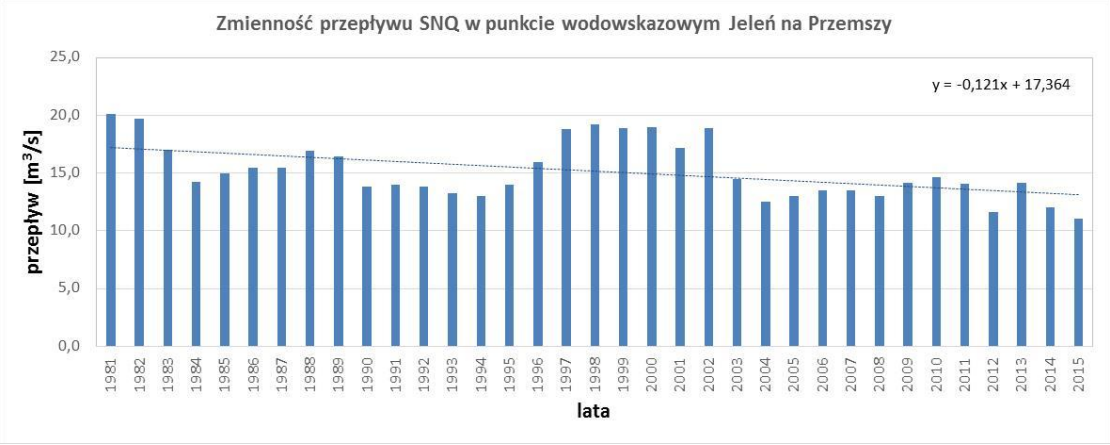
Na rys.25 do rys.34 przedstawiono zmienność przepływu minimalnego rocznego SNQ w analizowanym wieloleciu na posterunkach wodowskazowych reprezentatywnych dla obszaru miasta.



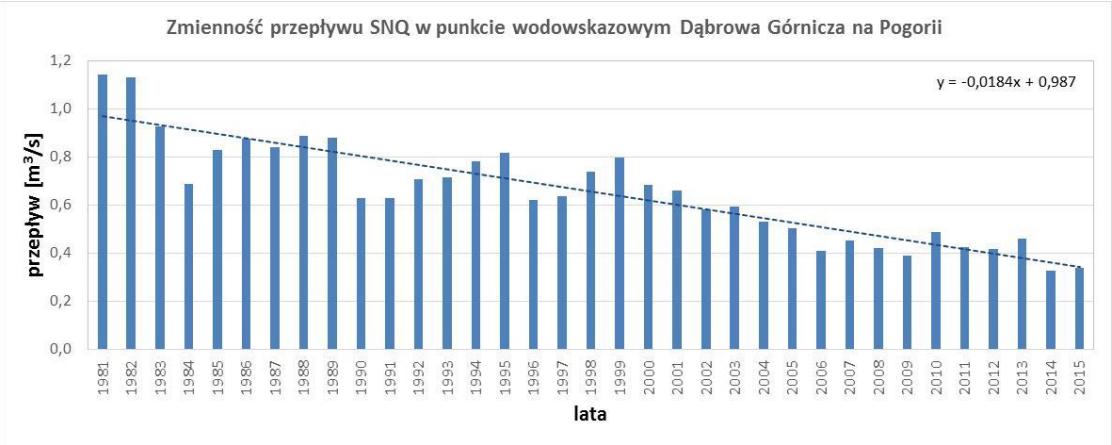
Rys. 25. Zmienność przepływu minimalnego w punkcie wodowskazowym Łagisza na Czarnej Przemszy wraz z linią trendu



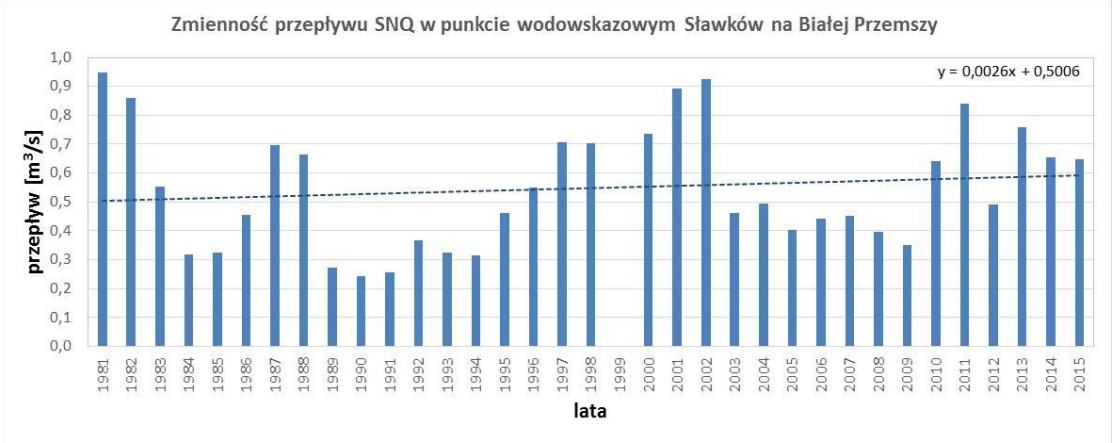
Rys. 26 Zmienność przepływu minimalnego w punkcie wodowskazowym Radocha na Czarnej Przemszy wraz z linią trendu



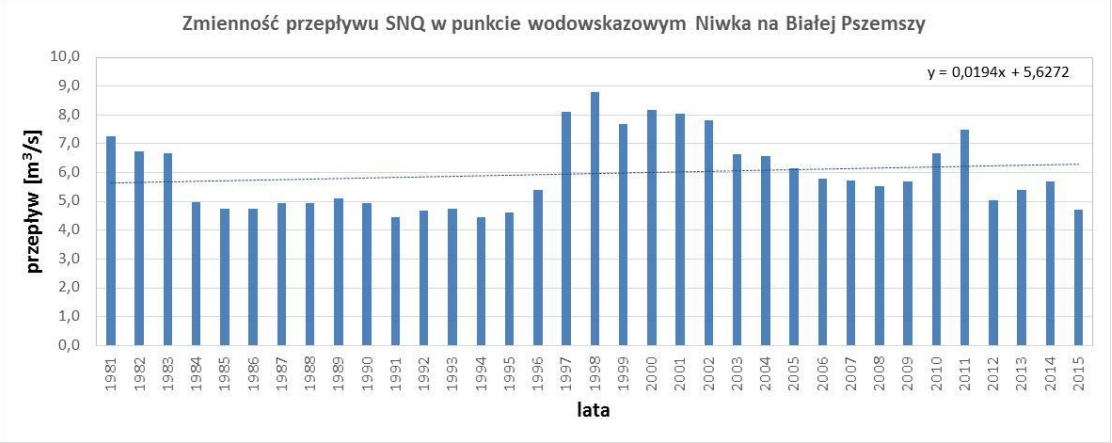
Rys. 27 Zmienność przepływu minimalnego w punkcie wodowskazowym Jeleń na Przemszy wraz z linią trendu



Rys. 28 Zmienność przepływu minimalnego w punkcie wodowskazowym Dąbrowa Górnicza na Pogorii wraz z linią trendu

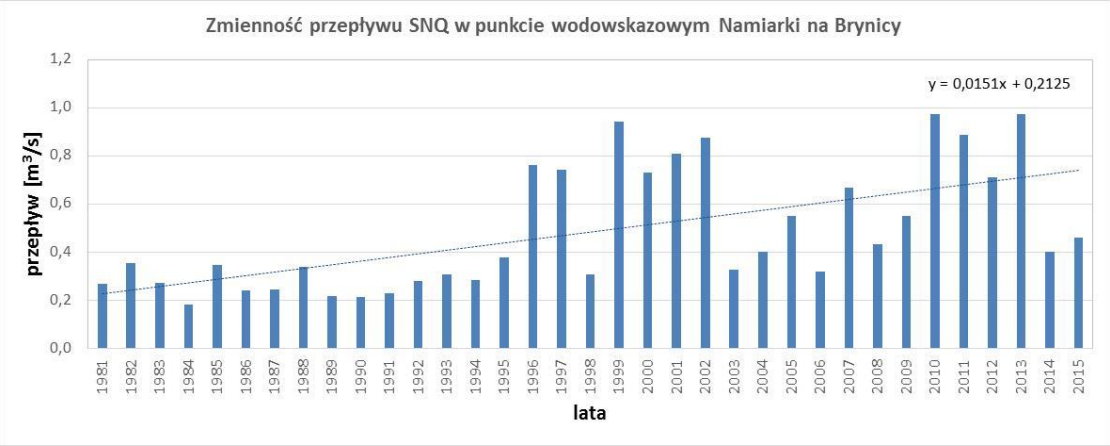


Rys. 29 Zmienność przepływu minimalnego w punkcie wodowskazowym Sławków na Białej Przemszy wraz z linią trendu

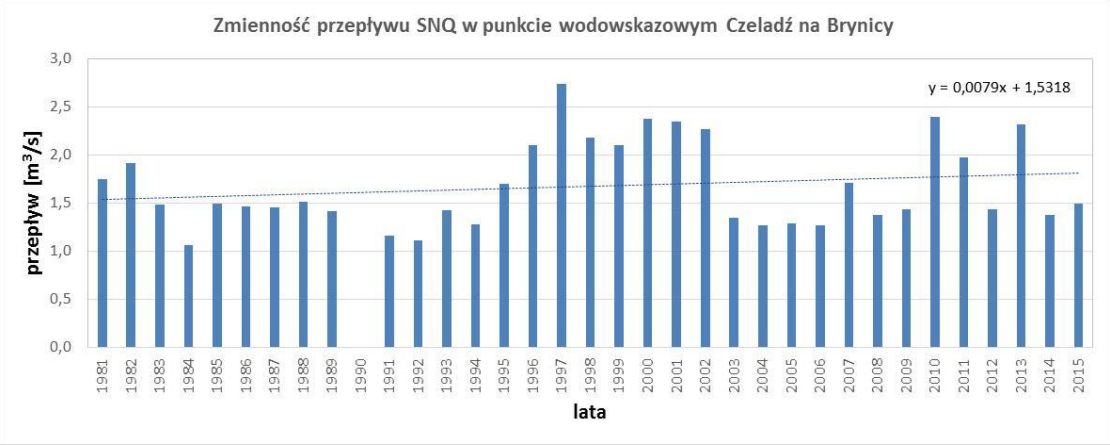


Rys. 30 Zmienność przepływu minimalnego w punkcie wodowskazowym Niwka na Białej Przemszy wraz z linią trendu

Rys. 31 Zmienność przepływu minimalnego w punkcie wodowskazowym Niwka na Bobrku wraz z linią trendu



Rys. 32 Zmienność przepływu minimalnego w punkcie wodowskazowym Namiarki na Brynicy wraz z linią trendu



Rys. 33 Zmienność przepływu minimalnego w punkcie wodowskazowym Czeladź na Brynicy wraz z linią trendu

Rys. 34 Zmienność przepływu minimalnego w punkcie wodowskazowym Szabelnia na Brynicy wraz z linią trendu

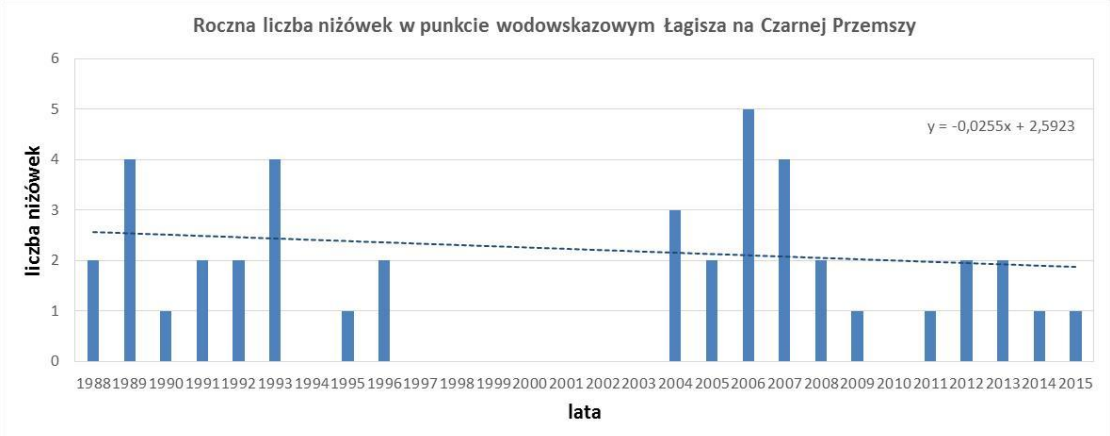
Przepływ SNQ na wszystkich posterunkach ulegał znacznym wahaniom w analizowanym okresie. Można zaobserwować, że w punkcie wodowskazowym Łagisza na Czarnej Przemszy wyznaczona linia trendu ma charakter rosnący, podczas gdy w punkcie wodowskazowym Radocha na Czarnej Przemszy, w punkcie wodowskazowym Jeleń na Przemszy oraz w punkcie wodowskazowym Dąbrowa Górnicza na Pogorii obserwowana jest wyraźna tendencja spadkowa. Podobnie silny trend malejący przepływu SQN widoczny jest w punkcie wodowskazowym Niwka na Bobrku. W przypadku Brynicy w punkcie wodowskazowym Namiarki stwierdzono silny trend rosnący przepływu SQN w analizowanym wieloleciu, podczas gdy w punkcie wodowskazowym Szabelnia widać wyraźną tendencję spadkową. Linie trendu przepływu SNQ w pozostałych punktach wodowskazowych nie są statystycznie istotne. Jednak we wszystkich przypadkach obserwowane trendy mogą być wynikiem działalności gospodarczej (poboru wody lub zrzutu ścieków).

Analiza okresów niżówkowych

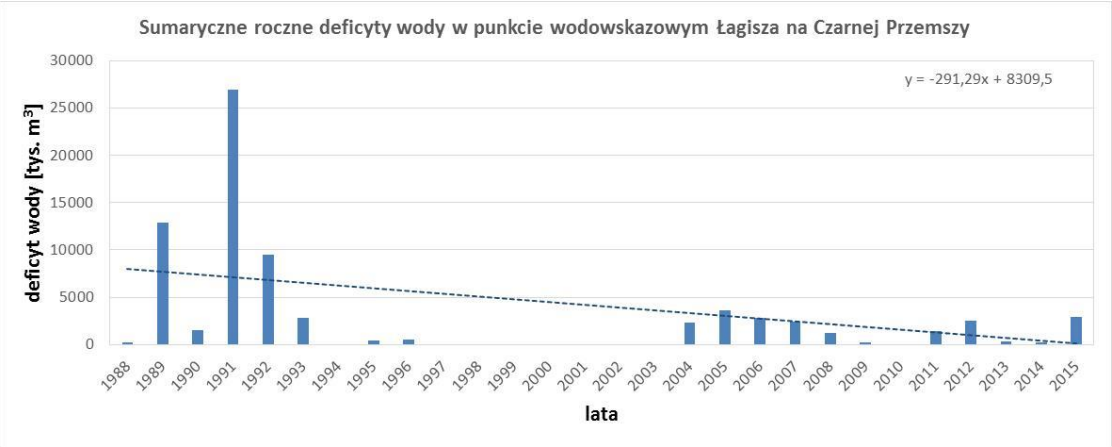
Poniższe rysunki przedstawiają ilość niżówek w poszczególnych latach dla każdego z reprezentatywnych dla Sosnowca punktów wodowskazowych oraz sumaryczne roczne deficyty wody w ciągu roku wynikające z wystąpienia tych niżówek.

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.35), a sumaryczny deficyt wody osiągał do 27 mln m^3/rok (rys.36). Wyznaczone dla liczby niżówek oraz dla sumarycznego deficytu wody linie trendu charakteryzują się wyraźną tendencją spadkową.



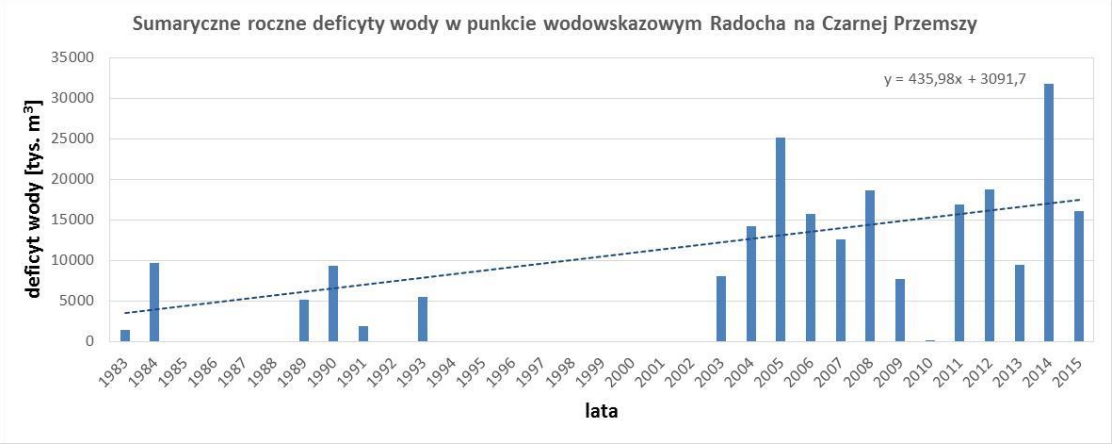
Rys. 35 Roczna liczba niżówek w punkcie wodowskazowym Łagisza na Czarnej Przemszy wraz z linią trendu



Rys. 36 Sumaryczne roczne deficyty wody w punkcie wodowskazowym Łagisza na Czarnej Przemszy wraz z linią trendu

Punkt wodowskazowy Radocha na Czarnej Przemszy

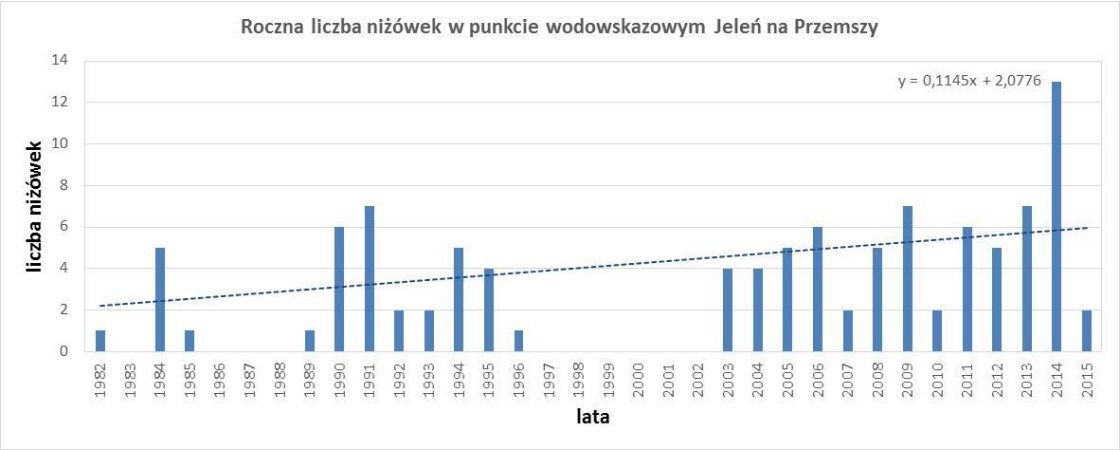
W punkcie wodowskazowym Radocha na Czarnej Przemszy w analizowanym wieloleciu występowało w poszczególnych latach od 0 do maksymalnie 7 niżówek w ciągu roku, wartość średnia w analizowanym okresie wyniosła 3 niżówki. Maksymalny sumaryczny deficyt wody, podobnie jak maksymalna ilość niżówek, wystąpił w 2014 roku i wyniósł 32 mln m^3 (rys.37). Wyznaczony dla liczby niżówek trend nie jest statystycznie istotny, natomiast sumaryczny deficyt wody wykazuje wyraźną tendencję rosnącą.



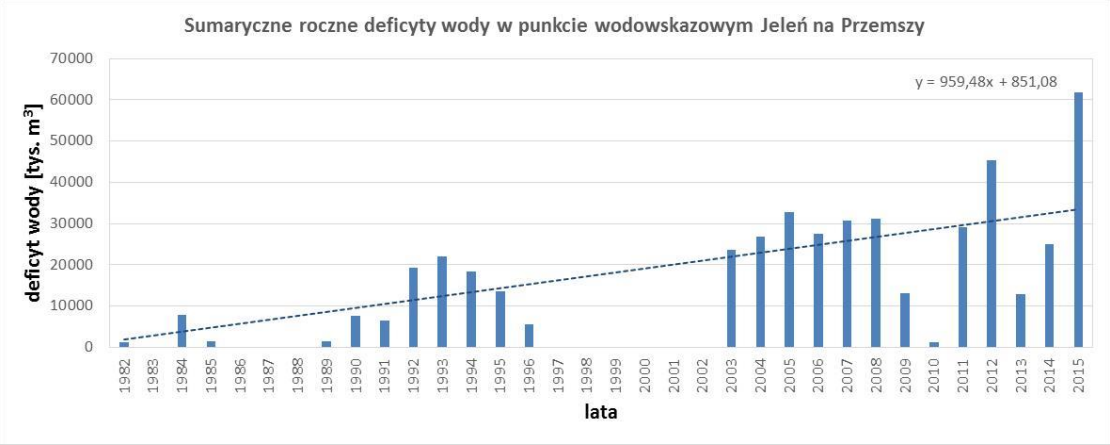
Rys. 37 Sumaryczne roczne deficyty wody w punkcie wodowskazowym Radocha na Czarnej Przemszy wraz z linią trendu

Punkt wodowskazowy Jeleń na Przemszy

W punkcie wodowskazowym Jeleń na Przemszy w analizowanym wieloleciu występowało w poszczególnych latach od 0 do maksymalnie 13 niżówek w ciągu roku, wartość średnia w analizowanym okresie wyniosła 4 niżówki (rys.38). Maksymalna ilość niżówek została odnotowana w 2014 roku Natomiast maksymalny sumaryczny deficyt wody wystąpił rok później, bo w 2015 roku i wyniósł 62 mln m^3 (rys.39). Wyznaczone dla liczby niżówek oraz sumarycznego deficytu wody linie trendu wykazują wyraźną tendencję rosnącą.



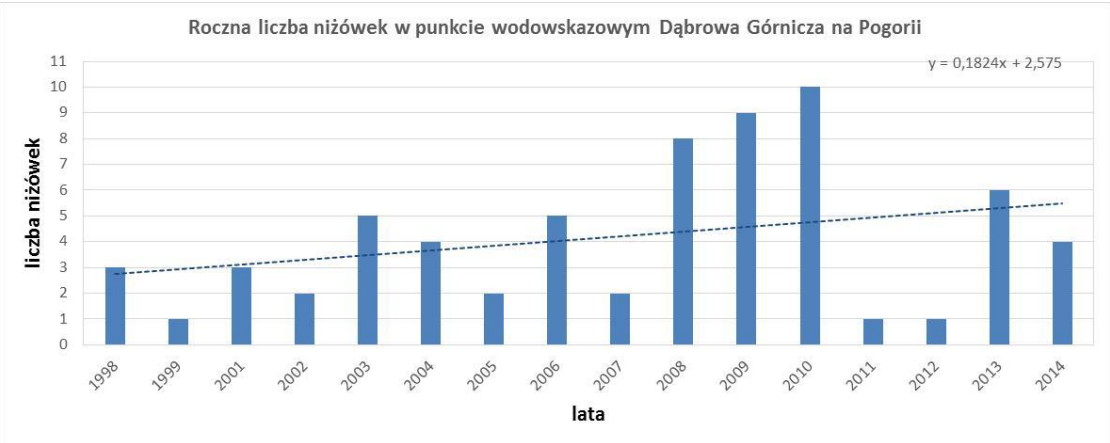
Rys. 38 Roczna liczba niżówek w punkcie wodowskazowym Jeleń na Przemszy wraz z linią trendu



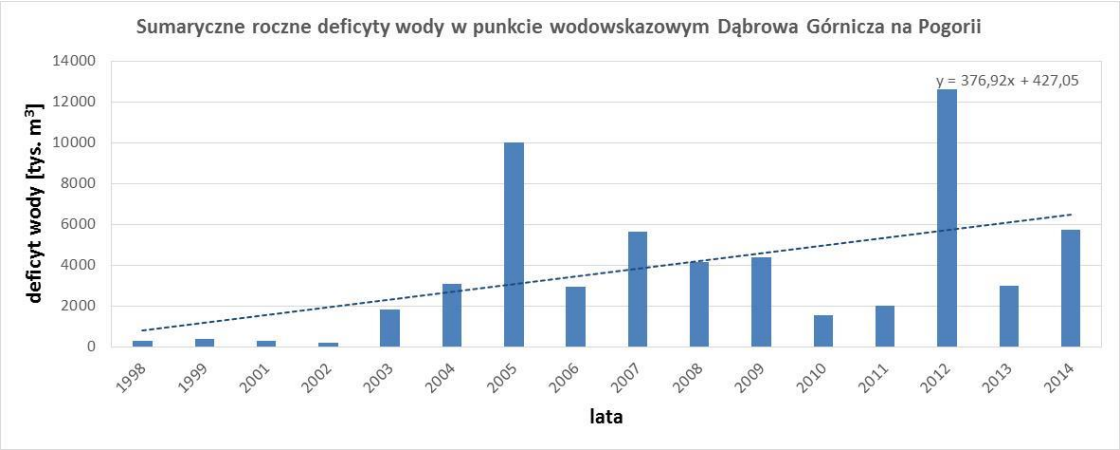
Rys. 39 Sumaryczne roczne deficyty wody w punkcie wodowskazowym Jeleń na Przemszy wraz z linią trendu

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.40), a sumaryczne deficyty wody wynosiły od 0,2 (rok 2002) do 12,5 mln m^3 (rok 2012) (rys.41). Wyznaczone dla liczby niżówek oraz sumarycznego deficytu wody linie trendu wykazują na rzece Pogorii wyraźną tendencję rosnącą.



Rys. 40 Roczna liczba niżówek w punkcie wodowskazowym Dąbrowa Górnicza na Pogorii wraz z linią trendu



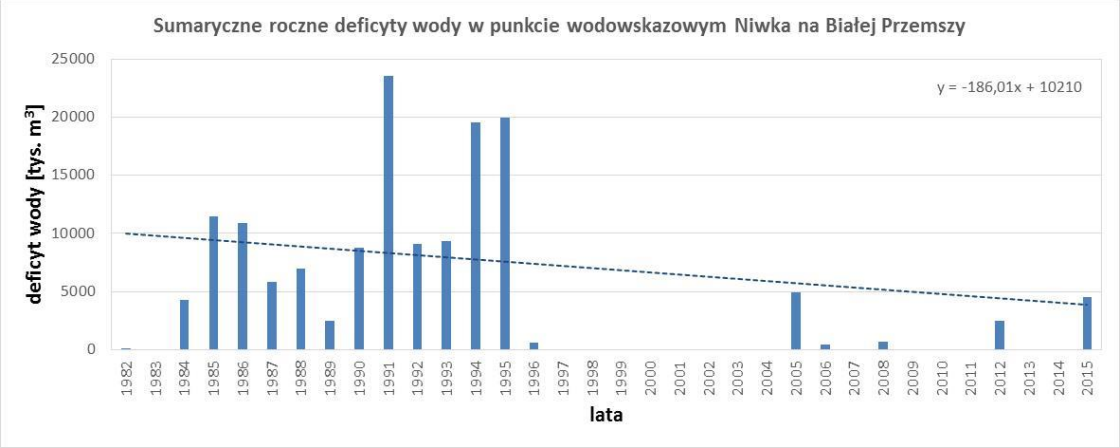
Rys. 41 Sumaryczne roczne deficyty wody w punkcie wodowskazowym Dąbrowa Górnicza na Pogorii wraz z linią trendu

Punkt wodowskazowy Sławków na Białej Przemszy

W punkcie tym w analizowanym okresie czasu występowało od 0 do maksymalnie 6 niżówek w ciągu roku, a sumaryczny deficyt wody osiągał do 75 mln m^3/rok. Wyznaczone dla liczby niżówek oraz dla sumarycznego deficytu wody trendy o charakterze malejącym nie są statystycznie istotne.

Punkt wodowskazowy Niwka na Białej Przemszy

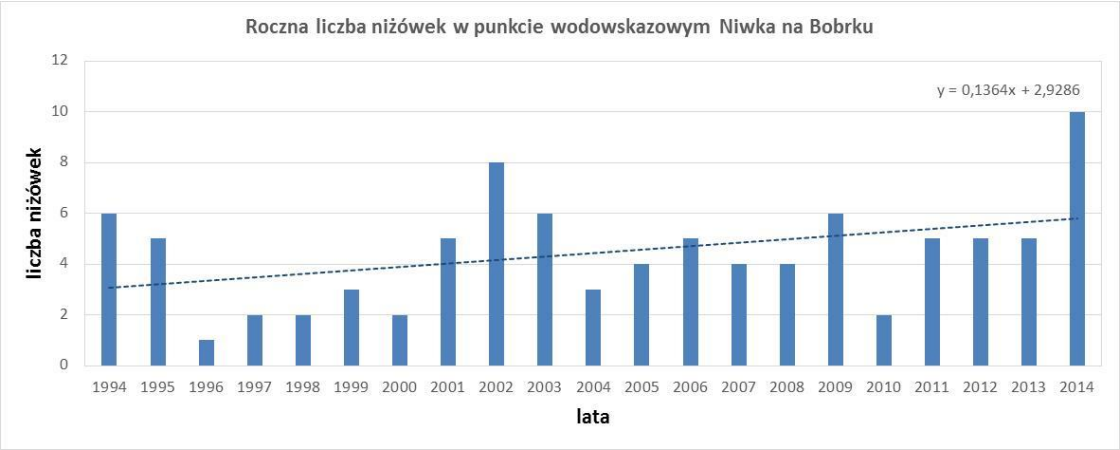
W punkcie wodowskazowym Niwka na Białej Przemszy w analizowanym wieloleciu występowało w poszczególnych latach od 0 do maksymalnie 10 niżówek w ciągu roku, wartość średnia w analizowanym okresie wyniosła 3 niżówki. Maksymalna ilość niżówek została odnotowana w 1990 roku. Natomiast maksymalny sumaryczny deficyt wody wystąpił rok później, bo w 1991 roku i wyniósł 23,5 mln m^3 (rys.42). Wyznaczone dla liczby niżówek oraz sumarycznego deficytu wody linie trendu wykazują tendencję malejącą, przy czym ten ostatni jest statystycznie istotny.



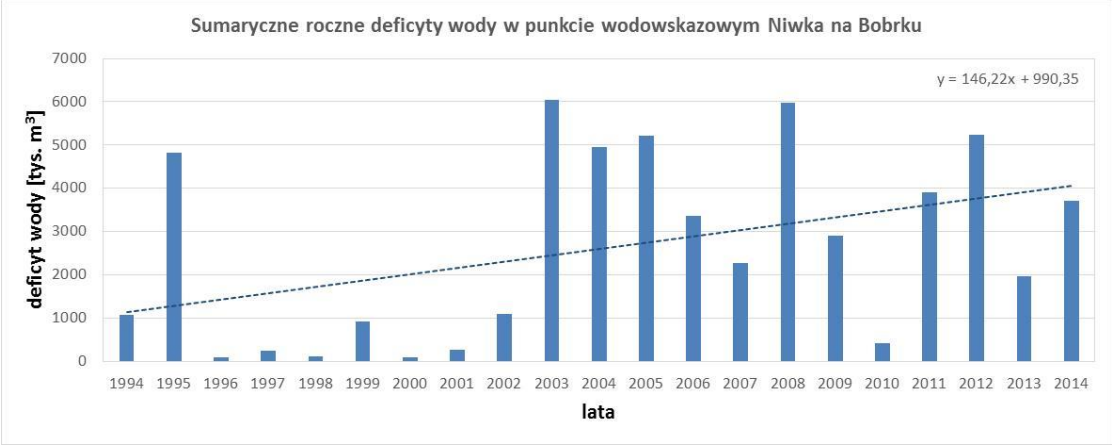
Rys. 42 Sumaryczne roczne deficyty wody w punkcie wodowskazowym Niwka na Białej Przemszy wraz z linią trendu

Punkt wodowskazowy Niwka na Bobrku

W punkcie wodowskazowym Niwka na Bobrku w analizowanym wieloleciu występowało w poszczególnych latach od 1 do maksymalnie 10 niżówek w ciągu roku. Maksymalna ilość niżówek została odnotowana w 2014 roku. Wartość średnia w analizowanym okresie wyniosła 4 niżówki w roku (rys.43). Maksymalny sumaryczny deficyt wody wystąpił w 1991 roku i wyniósł 6 mln m^3 (rys.44). Wyznaczone dla liczby niżówek oraz sumarycznego deficytu wody linie trendu wykazują wyraźną tendencję rosnącą.



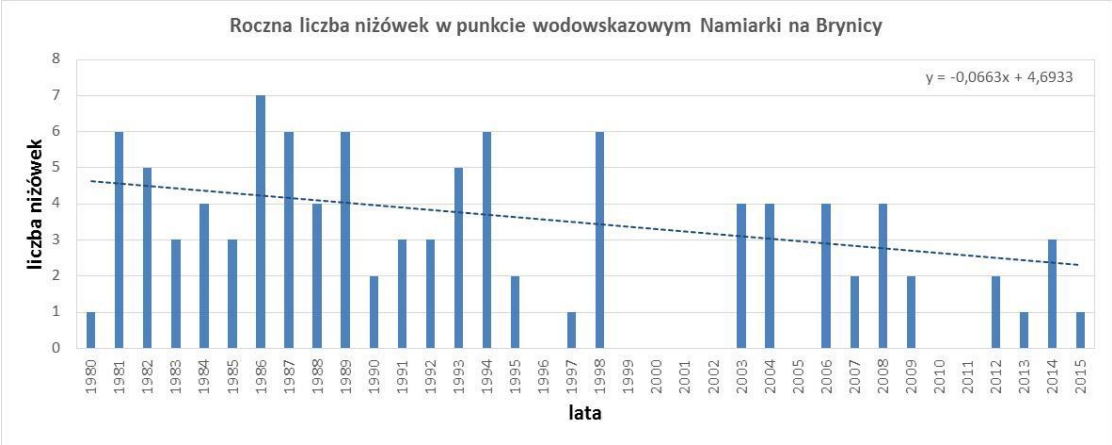
Rys. 43 Roczna liczba niżówek w punkcie wodowskazowym Niwka na Bobrku wraz z linią trendu



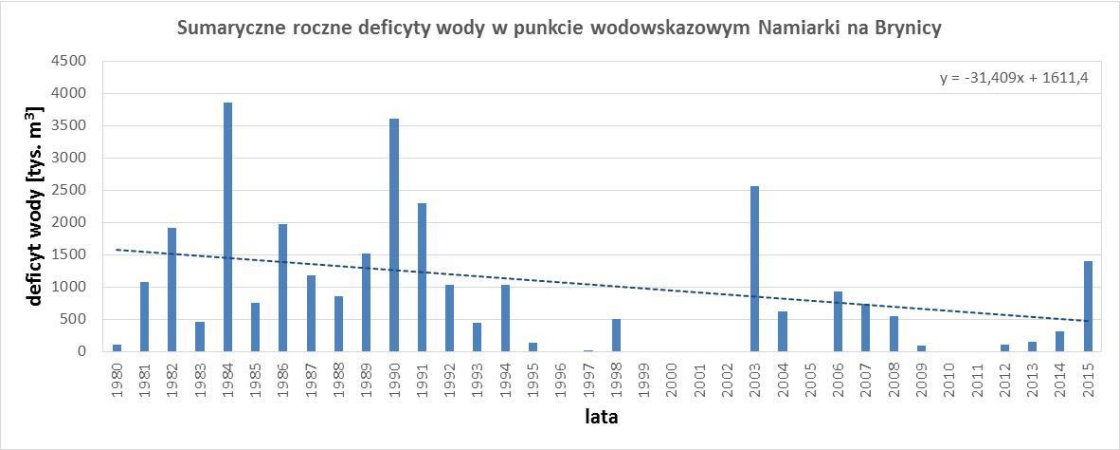
Rys. 44 Sumaryczne roczne deficyty wody w punkcie wodowskazowym Niwka na Bobrku wraz z linią trendu

Punkt wodowskazowy Namiarki na Brynicy

W punkcie tym w analizowanym wieloleciu występowało w poszczególnych latach od 0 do maksymalnie 7, w 1986 roku, niżówek. Wartość średnia w analizowanym okresie wyniosła 3 niżówki w roku (rys.45). Maksymalny sumaryczny deficyt wody wystąpił w 1984 roku i wyniósł ok. 3,9 mln m^3 (rys.46). Wyznaczone dla liczby niżówek oraz sumarycznego deficytu wody linie trendu wykazują wyraźną tendencję malejącą.



Rys. 45 Roczna liczba niżówek w punkcie wodowskazowym Namiarki na Brynicy wraz z linią trendu



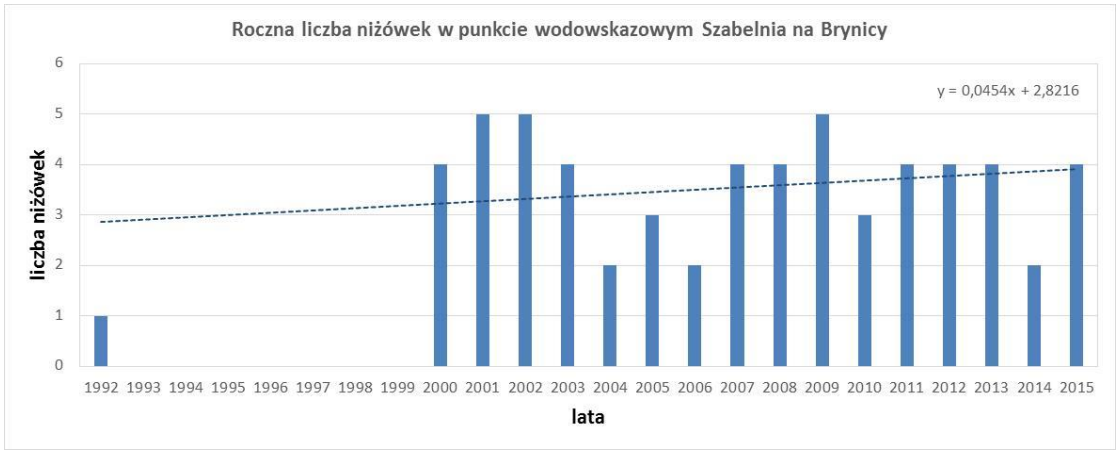
Rys. 46 Sumaryczne roczne deficyty wody w punkcie wodowskazowym Namiarki na Brynicy wraz z linią trendu

Punkt wodowskazowy Czeladź na rzece Brynicy

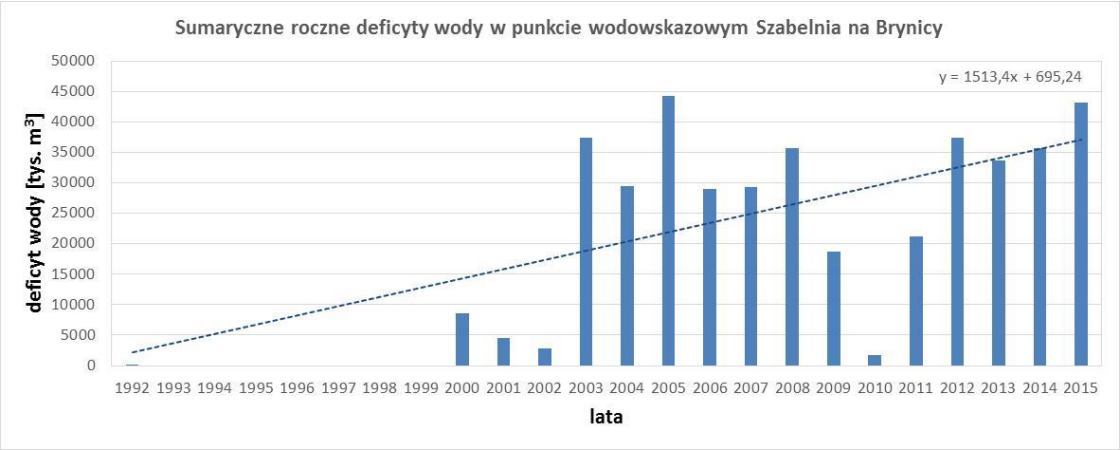
W punkcie wodowskazowym Czeladź na rzece Brynicy w analizowanym okresie wystąpiło maksymalnie 9 niżówek w ciągu roku (lata 1993, 2008) przy średniej liczbie około 4, przy czym okresie 1996 – 2002 niżówki w tym punkcie praktycznie nie występowały. sumaryczny deficyt wody osiągnął ponad 9 mln m^3/rok dwukrotnie, w 1991 i 2003 roku. Wyznaczone dla liczby niżówek i sumarycznego rocznego deficytu wody trend nie są statystycznie istotne.

Punkt wodowskazowy Szabelnia na rzece Brynicy

W punkcie wodowskazowym Szabelnia na rzece Brynicy występowało maksymalnie 5 niżówek w ciągu roku (lata 2001, 2002, 2009) przy średniej liczbie około 3 (rys.47), zaś sumaryczny deficyt wody osiągnął 44 mln m^3/rok (rys.48). Występowanie niżówek nasiliło się od 2000 roku, co może być rezultatem mniejszego dopływu ścieków przemysłowych z kopalń. Zarówno liczba niżówek jak i sumaryczny deficyt wody w analizowanym wieloleciu charakteryzowały się trendem wzrostowym.



Rys. 47 Roczna liczba niżówek w punkcie wodowskazowym Szabelnia na Brynicy wraz z linią trendu



Rys. 48 Sumaryczne roczne deficyty wody w punkcie wodowskazowym Szabelnia na Brynicy 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 2.

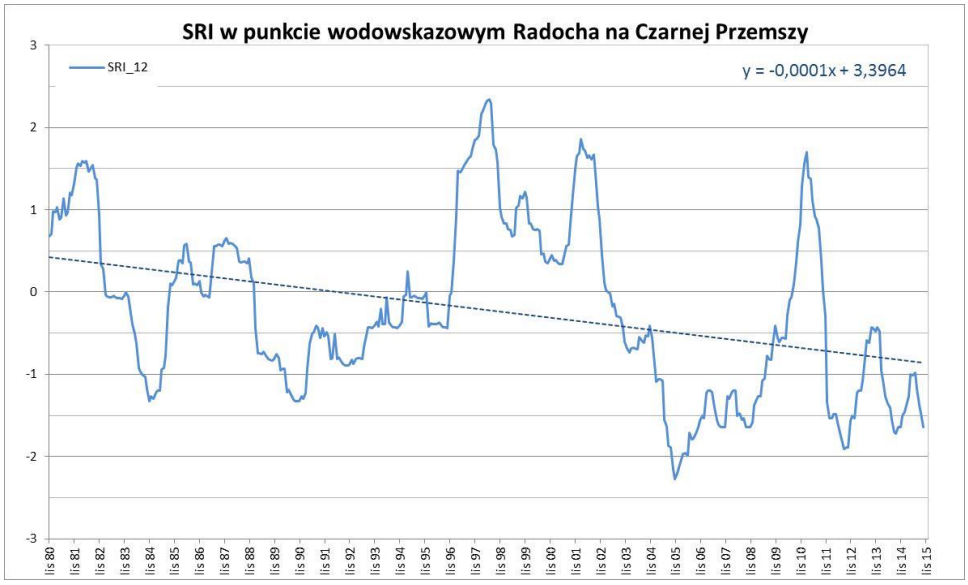
Tabela 1. Ocena warunków hydrologicznych w zlewni na podstawie wskaźnika SRI.

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 7 punktów wodowskazowych reprezentatywnych dla obszaru Sosnowca:

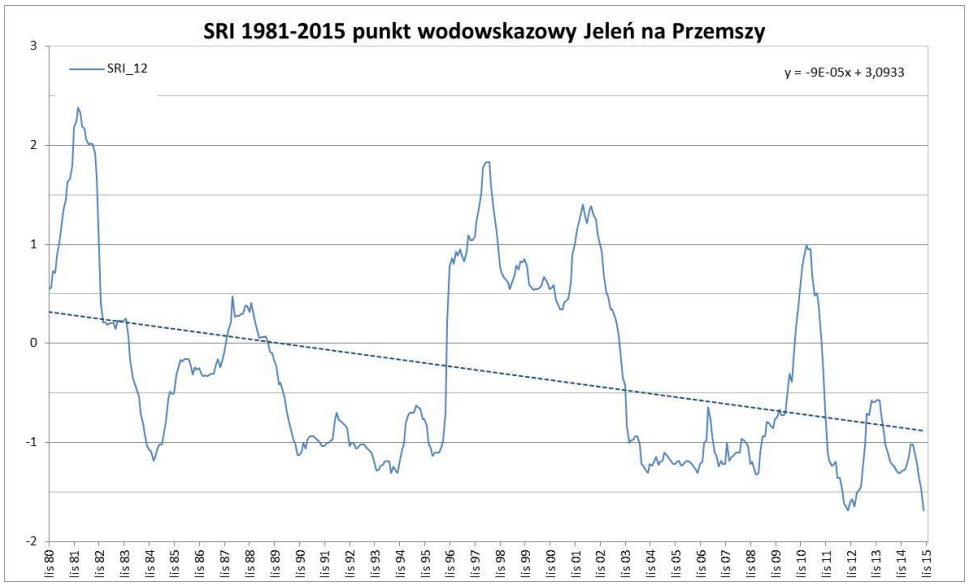
- Radocha na Czarnej Przemszy, na 27,55 km rzeki (kod 10480), dane dla lat 1980 – 2015,
- Jeleń na Przemszy, na 12,84 km rzeki (kod 10490), dane dla lat 1981 – 2015,
- Sławków na Białej Przemszy, na 26,92 km rzeki (kod 10610), dane dla lat 1980 – 2015,
- Niwka na Białej Przemszy, na 0,76 km rzeki (kod 10630), dane dla lat 1981 – 2015,
- Niwka na Bobrku, na 1,15 km rzeki (kod 10660), dane dla lat 1981 – 2014,
- Namiarki na Brynicy, na 22,85 km rzeki (kod 10540), dane dla lat 1981 – 2015,
- Szabelnia na Brynicy, na 0,09 km rzeki (kod 10570), dane dla lat 1981 – 2015.

Przebieg wskaźnika znacznie się różni w zależności od punktu pomiarowego. Na Czarnej Przemszy w punkcie pomiarowym Radocha wyznaczona dla wskaźnika SRI malejąca linia trendu jest statystycznie istotna (rys.49). 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.



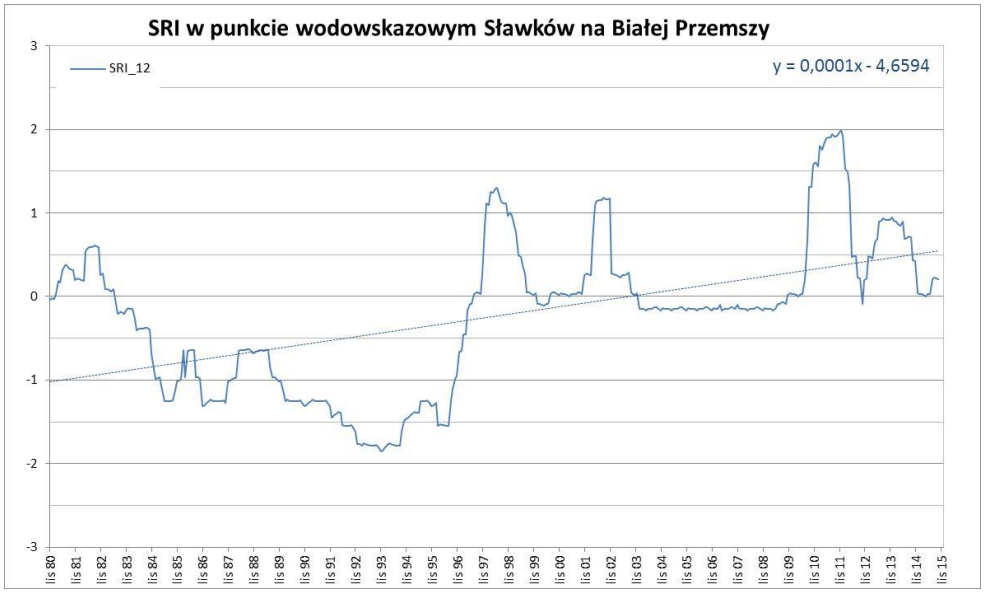
Rys. 49 Zmienność wskaźnika SRI w puncie wodowskazowym Radocha na Czarnej Przemszy wraz z linią trendu

W Jeleniu na Przemszy w analizowanym okresie wskaźnik SRI przyjmował wartości z przedziału od ok. -1,7 do 2,2. Najwyższe wartości SRI, powyżej 2 wystąpiły od listopada 1981 do sierpnia 1982 (wartość maksymalną odnotowano w marcu 1982) i świadczyły o wystąpieniu okresu ekstremalnie mokrego, natomiast najniższe wartości SRI, poniżej -1,5 odnotowano w okresie od lipca 2012 do lutego 2013 (wartość minimalną odnotowano w październiku 2012) i świadczyły one o wystąpieniu na terenie zlewni suszy hydrologicznej (rys.50). Wyznaczona dla wskaźnika SRI w tym punkcie wodowskazowym malejąca linia trendu nie jest statystycznie istotna.



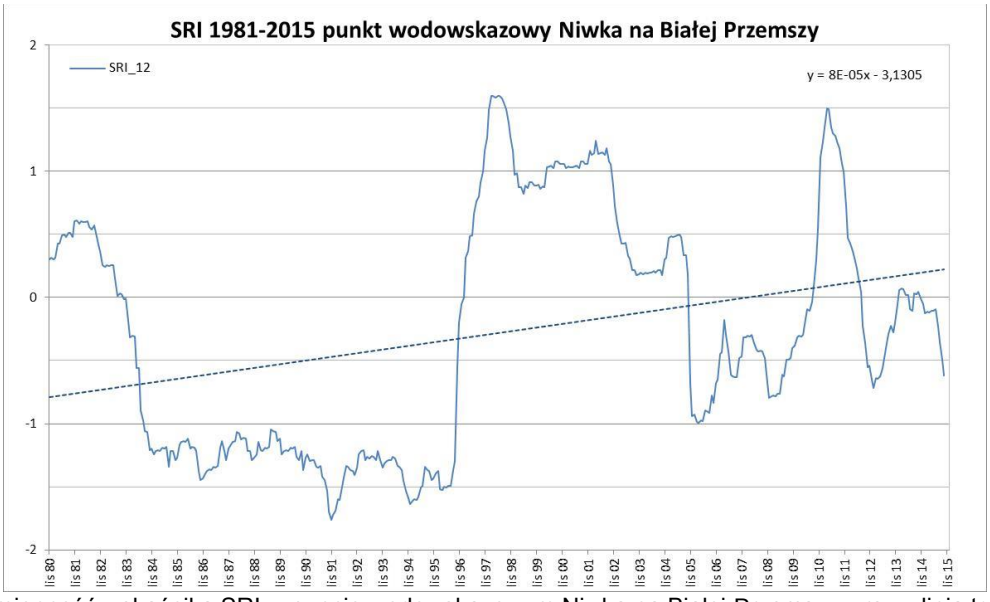
Rys. 50 Zmienność wskaźnika SRI w puncie wodowskazowym Jeleń na Przemszy wraz z linią trendu

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 o wystąpieniu okresu bardzo mokrego. Wyznaczona dla wskaźnika SRI w zlewni Białej Przemszy rosnąca linia trendu jest statystycznie istotna (rys.51).

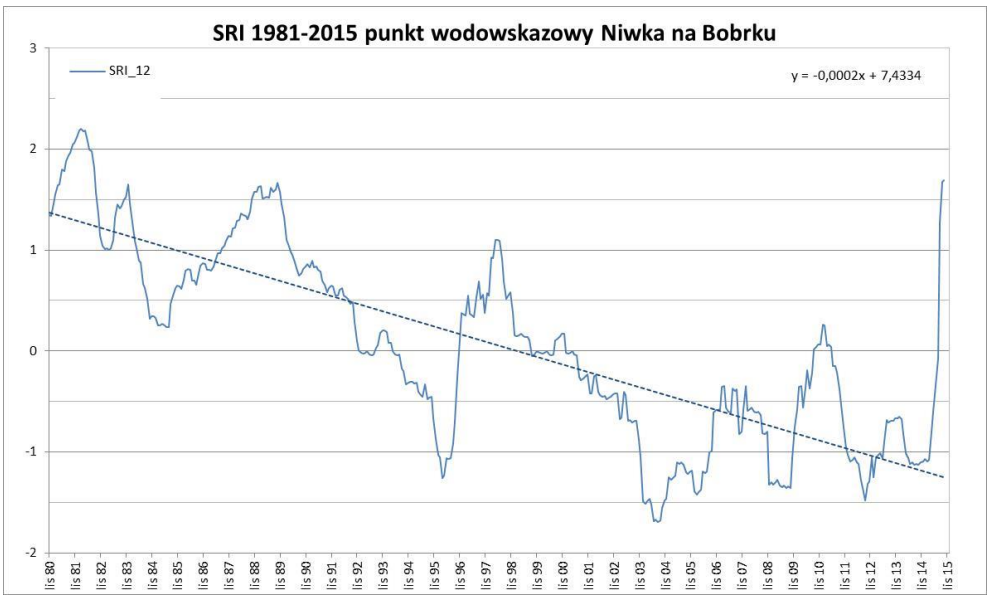


Rys. 51 Zmienność wskaźnika SRI w puncie wodowskazowym Sławków na Białej Przemszy wraz z linią trendu

Na Białej Przemszy w Niwce w analizowanym wieloleciu stan zagrożenia suszą hydrologiczną występował przez okres 12 lat, od sierpnia 1984 do września 1996. W tym czasie wartości wskaźnika SRI dwukrotnie osiągnęły wartości poniżej -1,5. Najniższe wartości wystąpiły od września 1991 do marca 1992 (z minimum wynoszącym -1,8 w listopadzie 1991) oraz od października 1994 do maja 1995 (z minimum wynoszącym -1,6 w grudniu 1994) i świadczyły one o wystąpieniu na terenie zlewni suszy hydrologicznej. Najwyższe wartości wskaźnika SRI, większe od 1,5, wystąpiły od lutego do sierpnia 1998 i świadczyły o wystąpieniu okresu bardzo mokrego. Wyznaczona dla wskaźnika SRI w zlewni Białej Przemszy rosnąca linia trendu nie jest statystycznie istotna (rys.52).



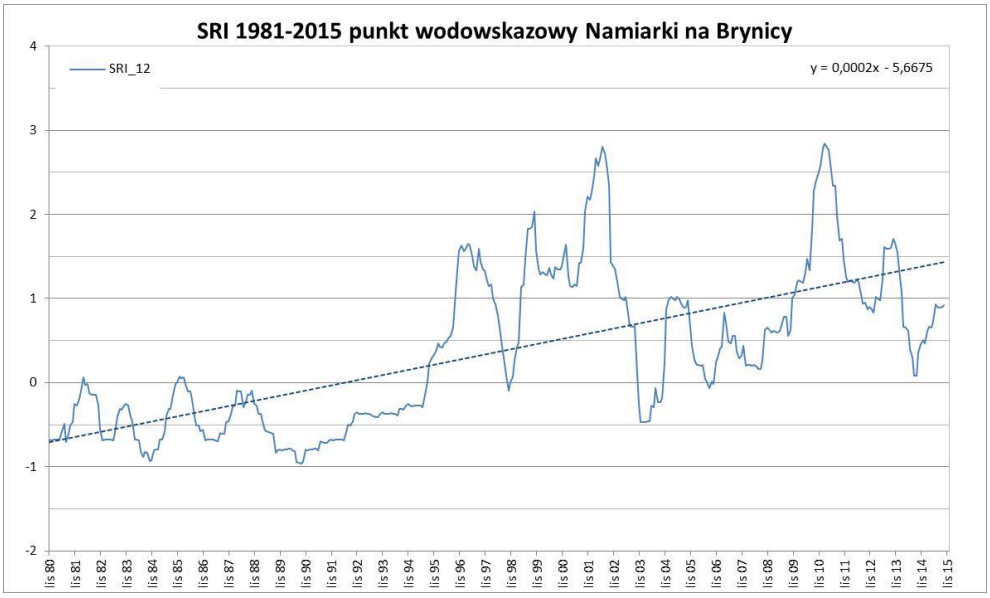
Rys. 52 Zmienność wskaźnika SRI w puncie wodowskazowym Niwka na Białej Przemszy wraz z linią trendu



Rys. 53 Zmienność wskaźnika SRI w puncie wodowskazowym Niwka na Bobrku wraz z linią trendu

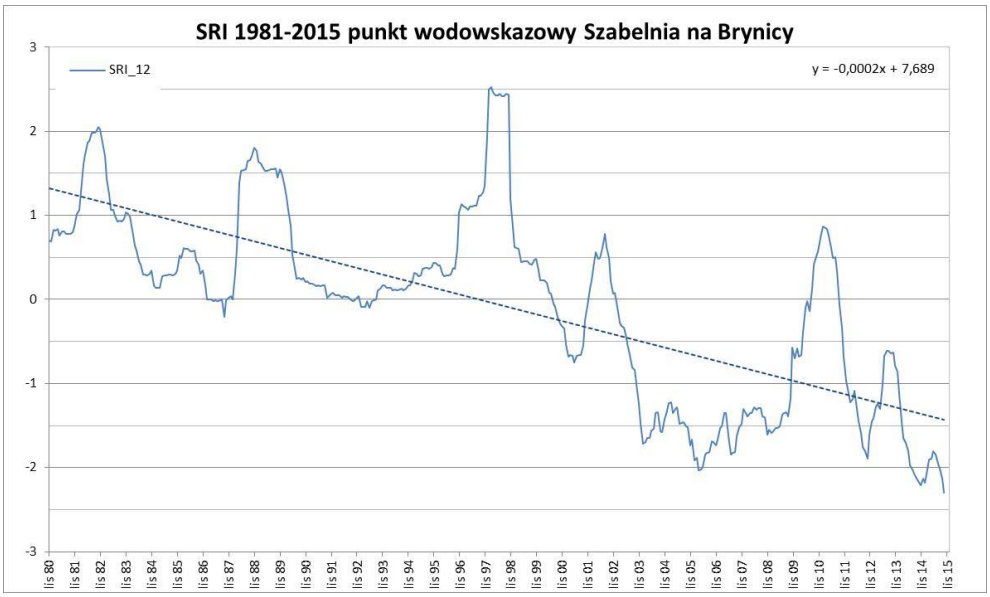
Na Bobrku w punkcie pomiarowym Niwka wyznaczona dla wskaźnika SRI malejąca linia trendu jest statystycznie istotna, co świadczy o systematycznym wysychaniu obszaru zlewni (rys.53). W analizowanym okresie wskaźnik SRI przyjmował wartości z przedziału od ok. -1,7 do 2,2. Najniższe wartości SRI z przedziału od -1,7 do -1,5 odnotowano w okresie od lutego do października 2004 i świadczyły one o wystąpieniu na obszarze zlewni suszy hydrologicznej. Najwyższe wartości, z przedziału od 2 do 2,2, wystąpiły od października 1981 do maja 1982 (z maksimum w lutym 1982), co świadczy o wystąpieniu w tym czasie na obszarze zlewni okresu ekstremalnie mokrego.

Jeszcze inaczej zmieniała się wartość wskaźnika SRI w Namiarkach na Brynicy, gdzie w analizowanym okresie czasu susza hydrologiczna nie wystąpiła ani razu. Wskaźnik SRI przyjmował na obszarze zlewni wartości z przedziału od -0,9 do 2,8. Najwyższe wartości SRI, powyżej 2 wystąpiły dwukrotnie: od października 2001 do września 2002 (wartość maksymalną wynoszącą 2,8 odnotowano w czerwcu 2002) oraz od września 2010 do lipca 2011 (wartość maksymalną wynoszącą 2,8 odnotowano w marcu 2011) i świadczyły one o wystąpieniu na terenie zlewni okresu ekstremalnie mokrego. Wyznaczona dla wskaźnika SRI w tej części zlewni Brynicy rosnąca linia trendu jest statystycznie istotna (rys.54).



Rys. 54 Zmienność wskaźnika SRI w puncie wodowskazowym Namiarki Brynicy wraz z linią trendu

Dokładnie przeciwnie zmieniała się wartość wskaźnika SRI na Brynicy w punkcie pomiarowym Szabelnia. Wyznaczona dla niego, statystycznie istotna, linia trendu wykazuje wyraźną tendencję malejącą (rys.55). Wskaźnik SRI przybierał w analizowanym okresie czasu wartości z przedziału od -2,3 do 2,5. Najniższe wartości, poniżej -1,5 wystąpiły od marca 2014 do października 2015 (z minimum wynoszącym -2,3 w październiku 2015) i świadczyły one o wystąpieniu na terenie zlewni suszy hydrologicznej. Najwyższe wartości wskaźnika SRI, większe od 2, wystąpiły od stycznia do października 1998 (z maksimum wynoszącym 2,5 w lutym 1998) i świadczyły o wystąpieniu okresu ekstremalnie mokrego.



Rys. 55 Zmienność wskaźnika SRI w puncie wodowskazowym Szabelnia na Brynicy 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 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 Sosnowca (tab.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 Sosnowcu w latach 1970-2012.

Lp.	Data wystąpienia powodzi	Wysokość opadu [mm]	Czas trwania opadu	Skutki powodzi
1	1991.07.14	21,50	100 min.	b.d.
2	1992.07.05	48,00	50 min.	połamane drzewa, zniszczone uprawy
3	2003.07.01	52,00	563 min.	zalany teren
4	2008.07.13	10,50	120 min.	liczne zalania ulic i piwnic, paraliż komunikacyjny
5	2008.07.25	41,60	1440 min.	podtopione budynki, zalane ulice, uszkodzenia linii energetycznych, paraliż komunikacyjny aglomeracji śląskiej
6	2010.08.16	41,00	1440 min.	zalane piwnice, pola, drogi
7	2012.07.03	16,10	120 min.	zalane główne ulice, tunele pod wiaduktami

1.5 Powodzie od strony rzek

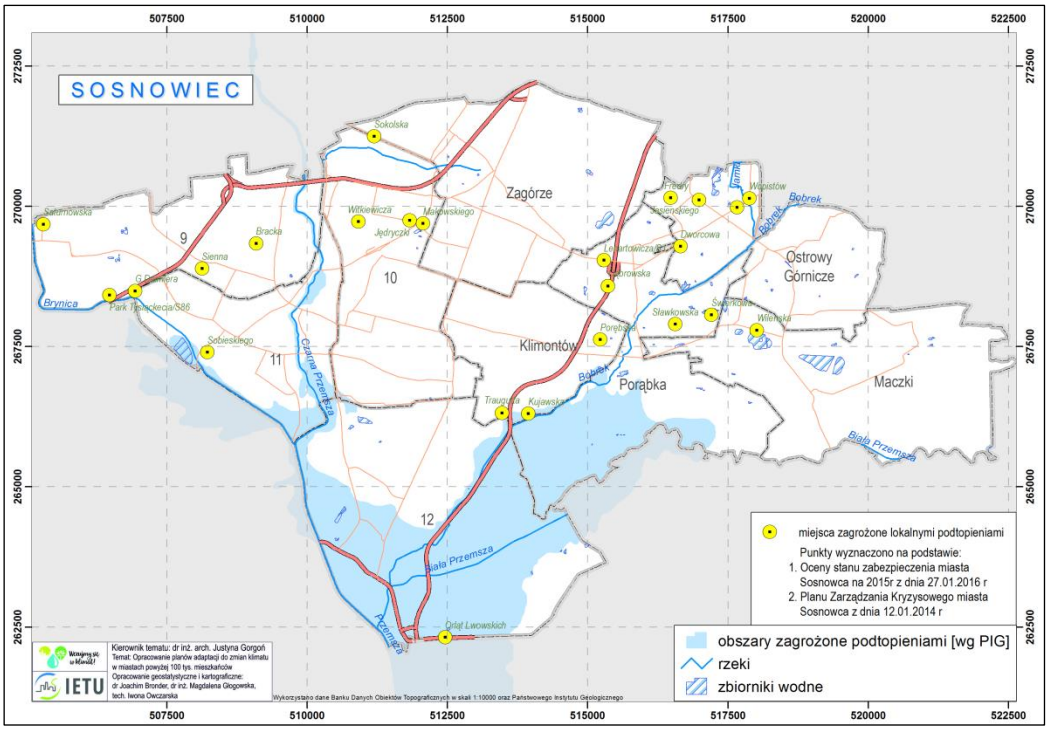
Podstawowymi aktami prawnymi regulującymi zasady postępowania w zakresie określenia zagrożenia i ryzyka powodziowego oraz przeciwdziałania ich negatywnym skutkom są Dyrektywa 2007/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2007 r. w sprawie oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim (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.

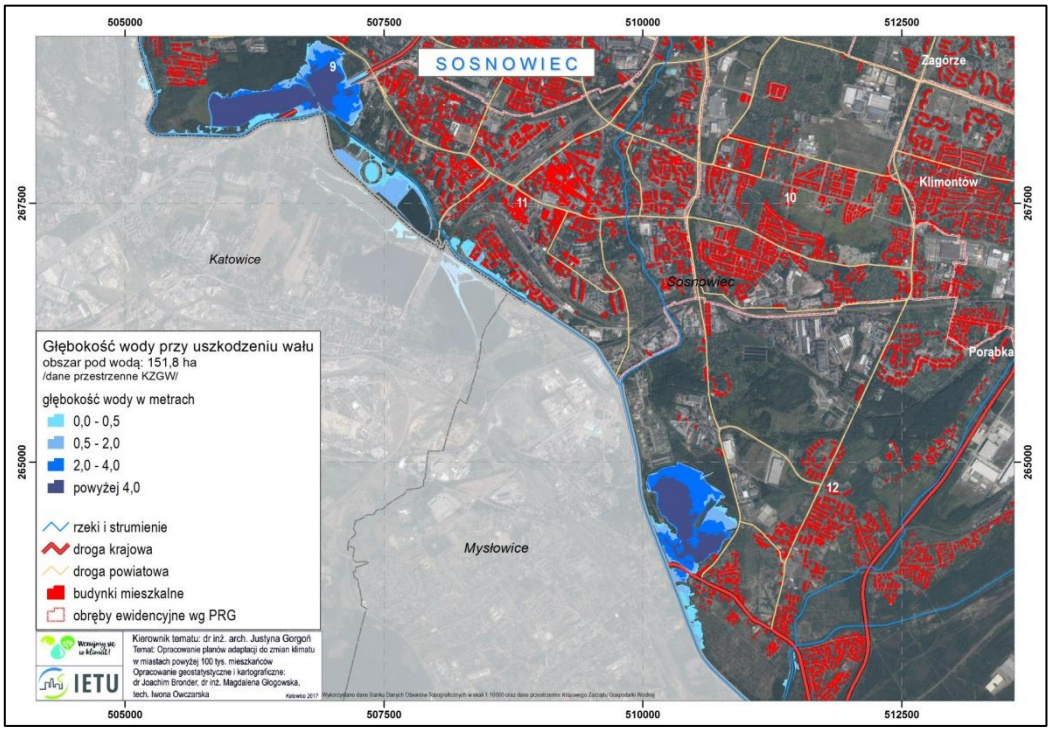
Dla rzek przepływających przez teren Sosnowca: Czarna Przemsza, Biała Przemsza, Bobrek oraz Brynica określono, wg danych Państwowego Instytutu Geologicznego, możliwe zasięgi występowania podtopień, jak również na podstawie danych pozyskanych z miasta wyznaczono miejsca zagrożone lokalnymi podtopieniami (rys.56).

Na podstawie danych KZGW dla rzek przepływających przez teren miasta zostały wyznaczone również tereny zalewowe przy wystąpieniu powodzi o prawdopodobieństwie 1% (tzw. woda stuletnia). Tereny te wyznaczono dla wariantu zakładającego zniszczenie wałów przeciwpowodziowych. W takim wypadku pod wodą mogą znaleźć się obszary o łącznej powierzchni 151,8 ha położone wzdłuż granicy miasta w dwóch lokalizacjach (rys.57):

- wzdłuż koryta Brynicy - w okolicach Parku Tysiąclecia, drogi krajowej S86, Stadionu Ludowego oraz Osiedla Naftowa,
- wzdłuż koryta Czarnej Przemszy – w rejonie oczyszczalni ścieków Radocha II.



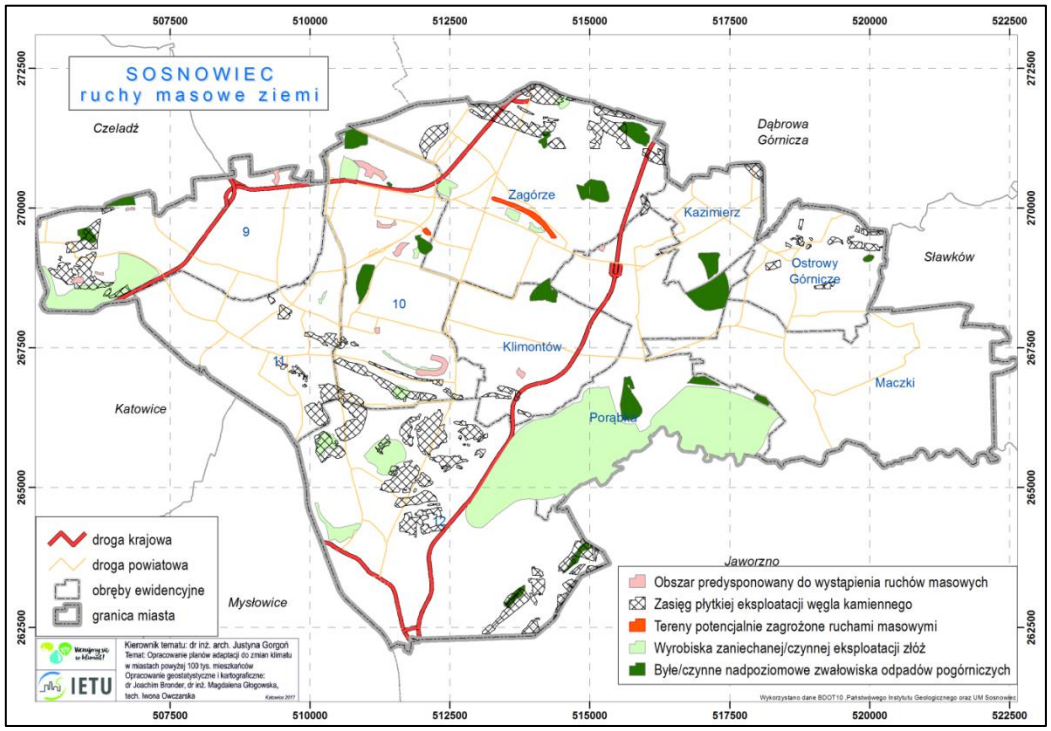
Rys. 56 Tereny zagrożone podtopieniami w Sosnowcu



Rys. 57 Tereny zagrożone powodzią w Sosnowcu. Głębokość wody stuletniej dla wariantu zakładającego uszkodzenie wałów przeciwpowodziowych.

1.6 Osuwiska

Zgodnie z informacjami zawartymi w opracowaniu wykonanym dla Sosnowca przez zespół Oddziału Górnośląskiego Państwowego Instytutu Geologicznego (2007) w granicach miasta stwierdzono obszary zagrożenia geodynamicznego przedstawione na rys.58 Interpretacje przedstawione w tej analizie oparto na dokumentach archiwalnych oraz obserwacjach terenowych do roku 2007.



Rys. 58 Przegląd sytuacji zagrożeń geodynamicznych na terenie Sosnowca

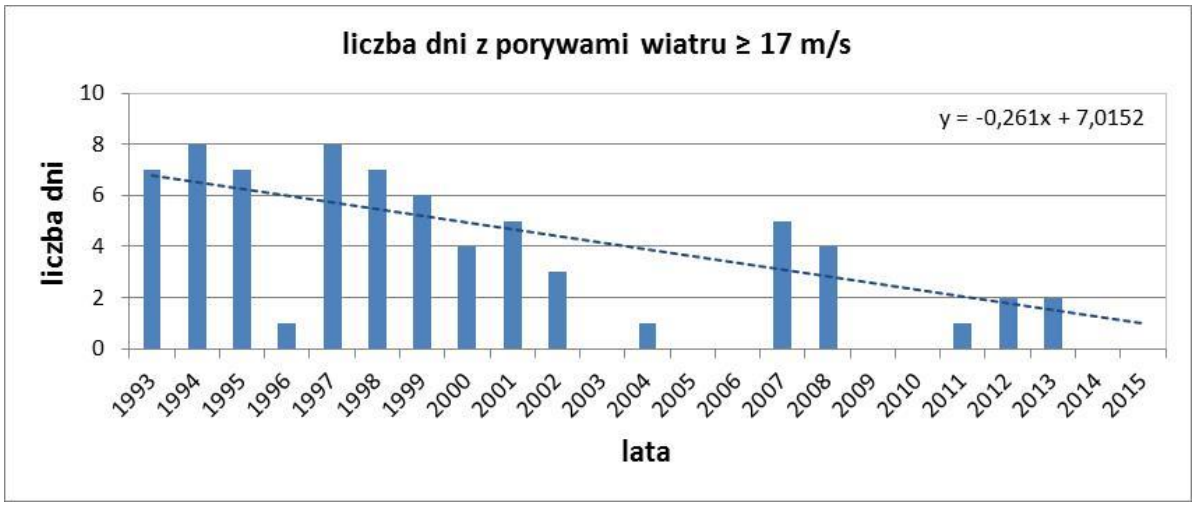
1.7 Charakterystyka warunków anemometrycznych miasta

- **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.

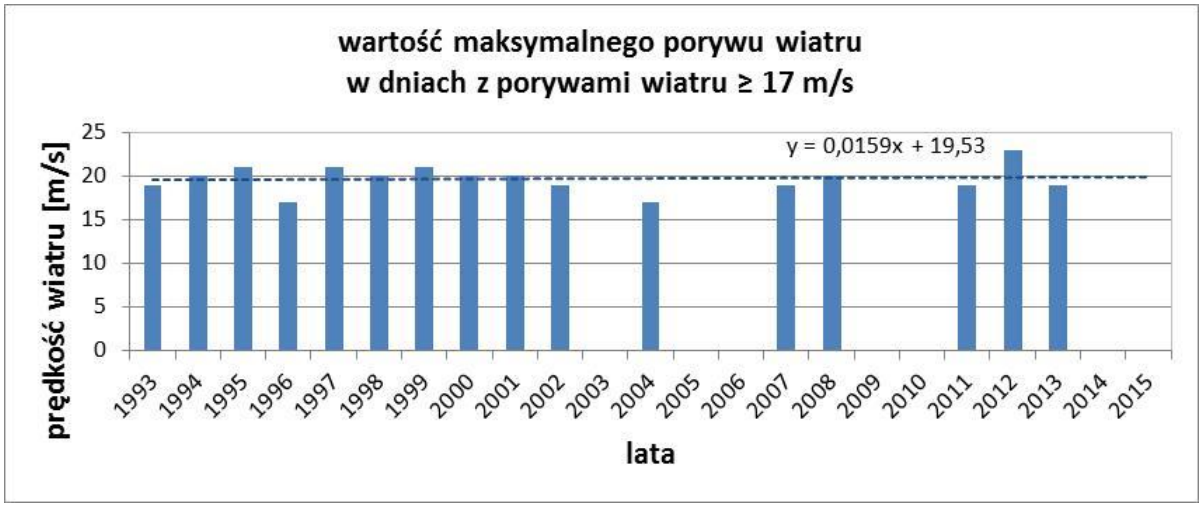
W analizie zwrócono uwagę na wystąpienie maksymalnych notowanych prędkości wiatru (porywów) oraz liczbę dni z wiatrem porywistym, czyli powyżej 17 m/s (≥ 8 stopni w skali Beauforta) Dostępne dane obejmowały lata 1993 – 2015.

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.59).



Rys. 59 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.60).

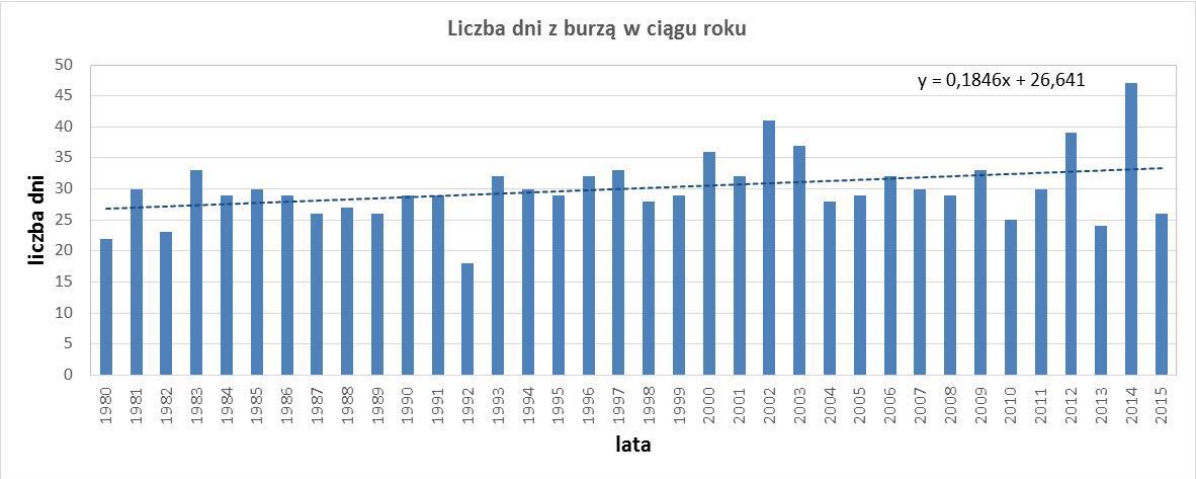


Rys. 60 Maksymalna roczna prędkość porywów wiatru w Katowicach wraz z linią trendu

- **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.61).



Rys. 61 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 PM10 – analizowano:

- występowanie przekroczenia w poszczególnych latach poziomu 40 µg/m^3 czyli dopuszczalnego stężenia średniorocznego ustanowionego ze względu na ochronę zdrowia ludzi,

- częstość przekraczania poziomu 50 µg/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 PM2,5 – analizowano występowanie przekroczenia w poszczególnych latach poziomu 25 µg/m^3 czyli docelowego stężenia średniorocznego ustanowionego ze względu na ochronę zdrowia ludzi.

Ozon – analizowano:
- częstość występowania przekroczenia poziomu 120 µg/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,
- smog letni analizowany jako wystąpienie wysokich epizodów stężeń ozonu, powyżej wartości kryterialnej.

- **Ocena występowania ponadnormatywnych stężeń zanieczyszczeń powietrza w Sosnowcu**

Ocenę przeprowadzono na podstawie wyników ze stacji monitoringu jakości powietrza pracujących ramach sieci Państwowego Monitoringu Środowiska (PMŚ). Dwie z nich, zlokalizowane w Sosnowcu, przy ul. Narutowicza (dane za lata 2006-2007) oraz przy ul. Lubelskiej (dane za lata 2011-2015) i klasyfikowane jako stacje tła miejskiego w analizowanym okresie 2006 – 2015 prowadziły pomiary PM10. Z uwagi na niepełne dane pomiarowe w analizowanym w dziesięcioleciu (2006-2015) oraz z uwagi na brak pomiarów stężeń ozonu i pyłu PM2,5 w Sosnowcu, ocena występowania ponadnormatywnych stężeń zanieczyszczeń powietrza została uzupełniona w oparciu o dane pochodzące z trzeciej stacji monitoringu jakości powietrza pracującej ramach sieci PMŚ, zlokalizowanej w Katowicach, przy ul. Kossutha 6 i również 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.

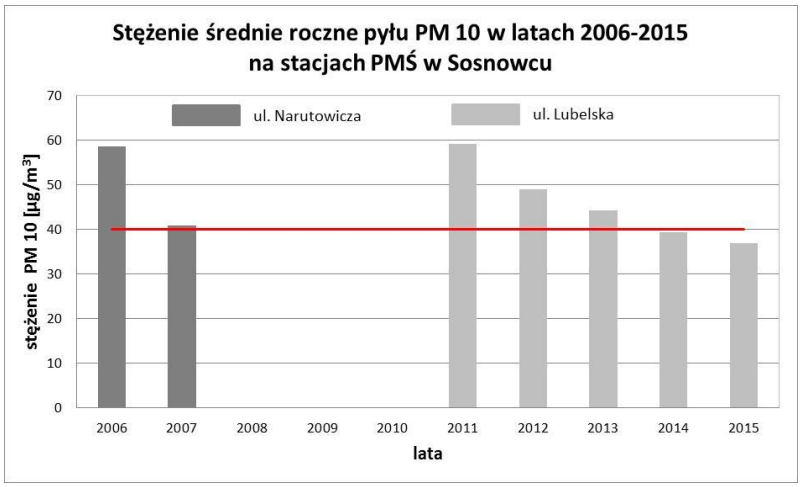
Cząstki pyłu głównie w wyniku procesów respiracyjnych mogą przedostawać się do organizmów żywych, niosąc ze sobą wszystkie zawarte w nich substancje toksyczne rakotwórcze i mutagenne. W organizmie człowieka cząstki o średnicy 10 µm zatrzymują się w górnych odcinkach dróg oddechowych.

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).

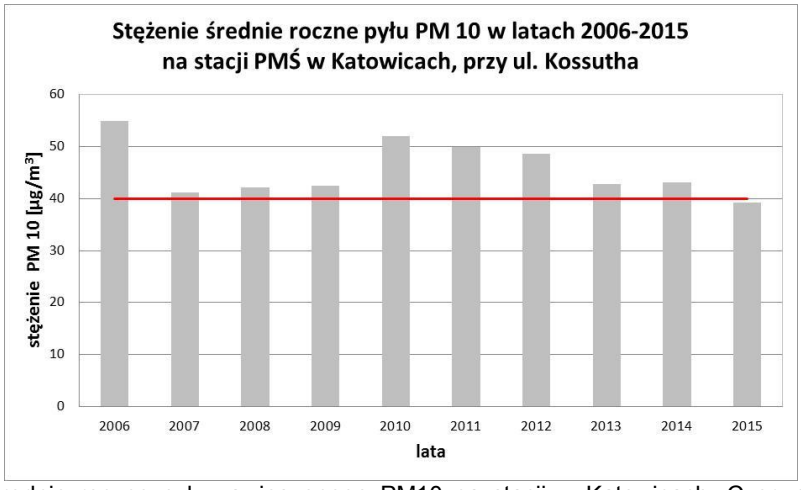
Na rys.62 przedstawiono stężenia średnioroczne pyłu PM10 w analizowanym okresie czasu na stacjach w Sosnowcu. Analiza wykazała, że sytuacja aerosanitarna w mieście jest zła, bowiem poziom dopuszczalny 40 µg/m^3, zaznaczony na wykresie czerwoną linią, w ciągu ostatnich 10 lat nie został przekroczony jedynie 2 razy: w 2014 oraz 2015 roku kiedy to stężenia średnioroczne spadły nieznacznie poniżej poziomu dopuszczalnego i wyniosły odpowiednio 39,3 oraz 37,0 µg/m^3.

W 2011 roku odnotowano maksymalne średnioroczne stężenie pyłu PM10 w analizowanym okresie, które osiągnęło wtedy poziom 59,3 µg/m^3.

Stan ten potwierdza analiza średnich rocznych stężeń pyłu PM10 odnotowanych w Katowicach, gdzie poziom dopuszczalny w ciągu ostatnich 10 lat nie został przekroczony jedynie raz, w 2015 roku. Stężenie średnioroczne spadło wtedy nieznacznie poniżej poziomu dopuszczalnego i wyniosło 39,2 µg/m^3. Maksymalne średnioroczne stężenie pyłu PM10 w analizowanym okresie w Katowicach odnotowano w 2006 roku, i wtedy osiągnęło ono poziom 55 µg/m^3 (rys.63).

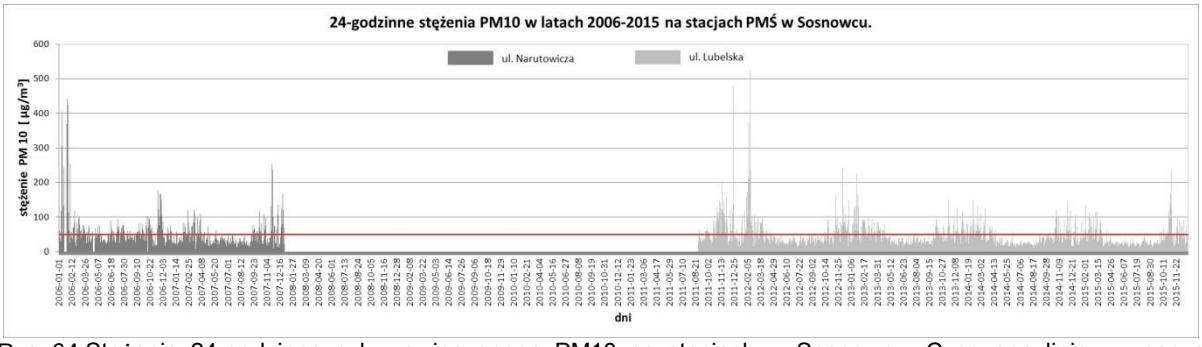


Rys. 62 Stężenie średnie roczne pyłu zawieszonego PM10 na stacjach w Sosnowcu. Czerwona linia wyznacza poziom dopuszczalny

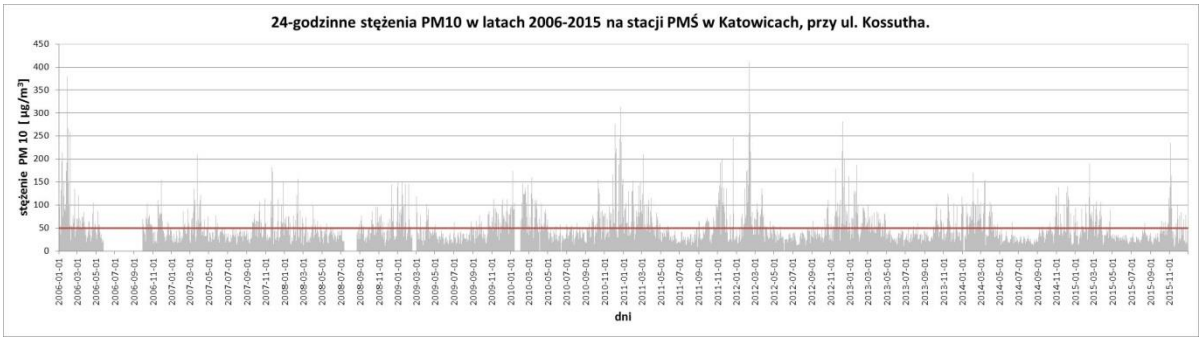


Rys. 63 Stężenie średnie roczne pyłu zawieszonego PM10 na stacji w Katowicach. Czerwona linia wyznacza poziom dopuszczalny

Następnie przeanalizowano poziomy 24-godzinnych stężeń pyłu PM10 jakie w rozpatrywanym okresie czasu odnotowano w Sosnowcu (rys.64) i w Katowicach (rys.65). Dopuszczalny poziom dla stężenia średniodobowego wynoszący 50 µg/m^3 w ciągu ostatnich 10 lat był permanentnie przekraczany. W sezonach grzewczych stężenia średniodobowe dochodzące do 100 czy 150 µg/m^3 są codziennością, a nie brak też stężeń wyższych osiągających maksymalnie 523 µg/m^3 w Sosnowcu oraz 411 µg/m^3 w Katowicach.

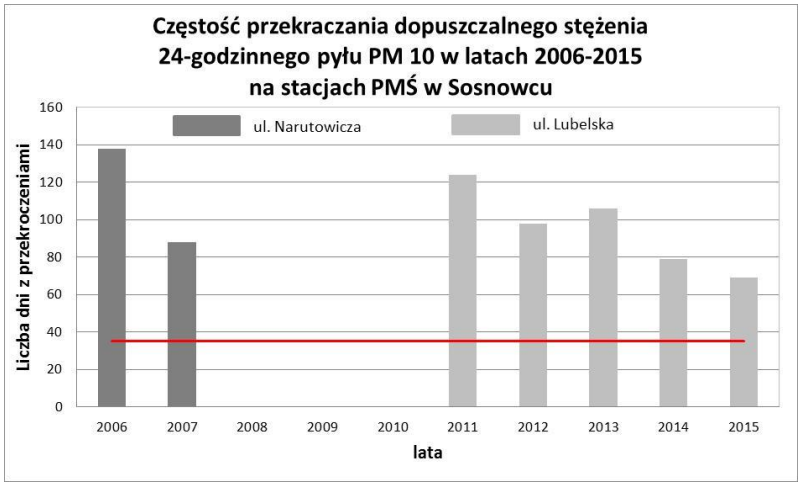


Rys. 64 Stężenie 24-godzinne pyłu zawieszonego PM10 na stacjach w Sosnowcu. Czerwona linia wyznacza poziom dopuszczalny

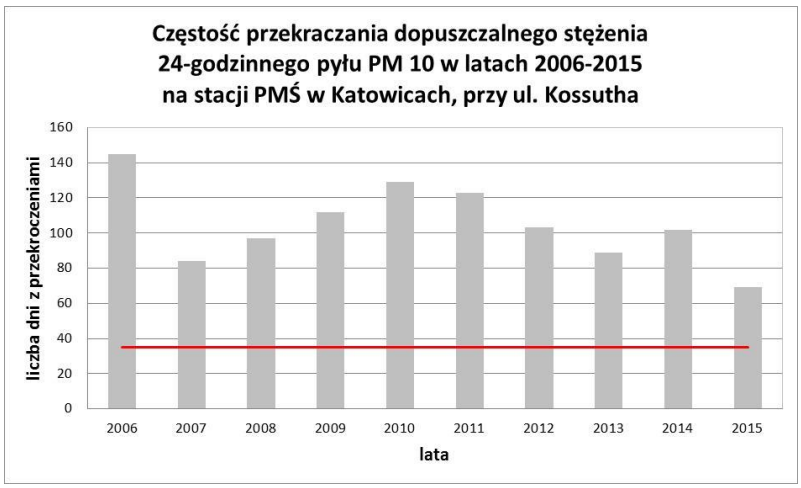


Rys. 65 Stężenie 24-godzinne pyłu zawieszonego PM10 na stacji w Katowicach. Czerwona linia wyznacza poziom dopuszczalny

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. W Sosnowcu zanotowano od 69 dni z przekroczeniami w 2015 roku do poziomu 138 dni z przekroczeniami w 2006 roku. Wartość średnia w analizowanym okresie czasu wyniosła 100 dni w roku (rys.66). W Katowicach zanotowano od 69 dni z przekroczeniami w 2015 roku do poziomu 145 dni z przekroczeniami w 2006 roku. Wartość średnia w analizowanym dziesięcioleciu wyniosła 105 dni w roku (rys.67).



Rys. 66 Częstość przekraczania dopuszczalnego stężenia 24-godzinnego pyłu PM10 na stacjach w Sosnowcu. Czerwona linia wyznacza poziom dopuszczalny

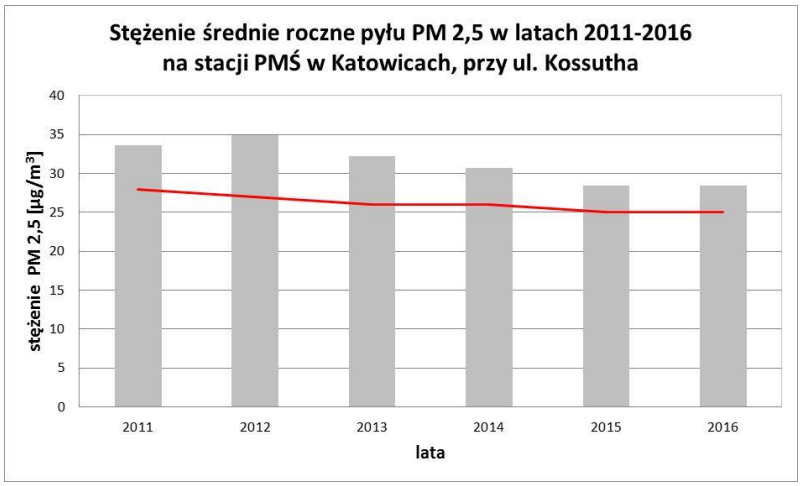


Rys. 67 Częstość przekraczania dopuszczalnego stężenia 24-godzinnego pyłu PM10 na stacji w Katowicach. Czerwona linia wyznacza poziom dopuszczalny

Jakość powietrza ze względu na pył PM2,5

Pył zawieszony PM2,5, podobnie jak PM10, jest mieszaniną substancji organicznych i nieorganicznych, zawierających substancje toksyczne, rakotwórcze i mutagenne np.: wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, polichlorowane dibenzodioksyny/furany czy też metale ciężkie. Główne źródła pyłu PM2,5 oraz czynniki klimatyczne wpływające na poziom jego stężeń 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 PM2,5 przeanalizowano na stacji pomiarowej w Katowicach w okresie 6 lat tj. od 2011 do 2016 roku. Dopuszczalne, średnie roczne stężenie pyłu PM2,5 było w całym tym okresie przekraczane (rys.68). 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/m^3. Od tego czasu na stacji w Katowicach obserwowany jest stały spadek wartości średniego rocznego stężenia pyły PM 2,5.

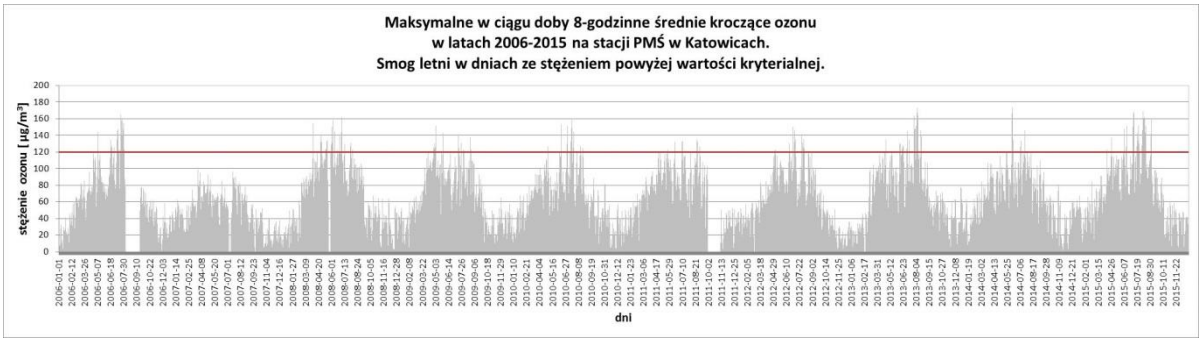


Rys. 68 Średnie roczne stężenie pyłu PM2,5 na stacji w Katowicach. Czerwona linia wyznacza poziom dopuszczalny

Jakość powietrza ze względu na ozon

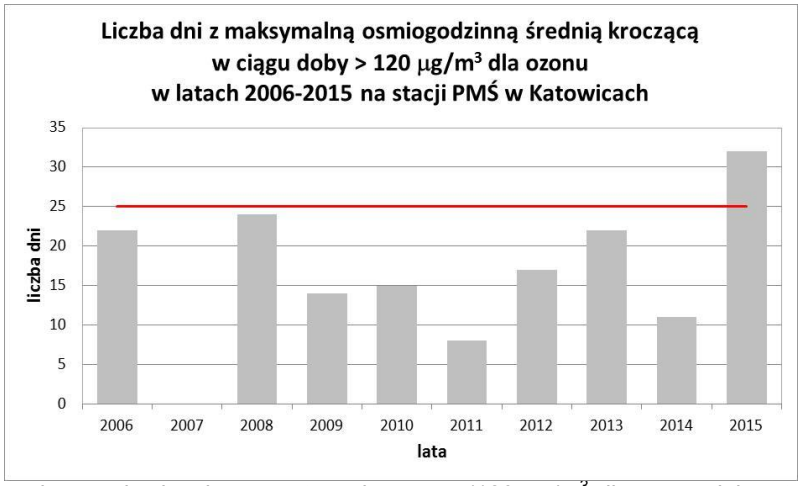
Ozon niskotroposferyczny jako zanieczyszczenie powietrza powstaje przy powierzchni ziemi na skutek przemian fotochemicznych (czyli zachodzących pod wpływem światła słonecznego), w których uczestniczą m.in. lotne związki organiczne i tlenki azotu. Maksymalne stężenia ozonu obserwowane są w okresie letnim, 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/m^3 i jest wyznaczany jako stężenie maksymalne z 8-godzinnych średnich kroczących w ciągu doby. Na wykresie (rys.69) przedstawiono przebieg maksymalnych w ciągu doby 8-godzinnych średnich kroczących ozonu na stacji w Katowicach w analizowanym dziesięcioleciu. Czerwona linia na wykresie wyznacza poziom docelowy i jak widać w okresach letnich jest on przekraczany.



Rys 69 Stężenia maksymalne z 8-godzinnych średnich kroczących w ciągu doby dla ozonu na stacji w Katowicach. Czerwona linia wyznacza poziom docelowy

Maksymalny w analizowanym dziesięcioleciu poziom osiągnięty został 9 czerwca 2014 roku i wyniósł on 174 µg/m^3. Liczba dni z przekroczeniami wynosi od 0 (rok 2007) do 32 (rok 2015) w roku przy wartości dopuszczalnej 25 dni w roku i w analizowanym dziesięcioleciu została ona przekroczona jedynie w 2015 roku (rys.70).



Rys. 70 Częstość przekraczania docelowego stężenia ozonu (120 µg/m^3, liczonego jako stężenie maksymalne z 8-godzinnych średnich kroczących w ciągu doby) na stacji w Katowicach. Czerwona linia wyznacza poziom dopuszczalny

- **Analiza częstości występowania letnich i zimowych epizodów smogowych**

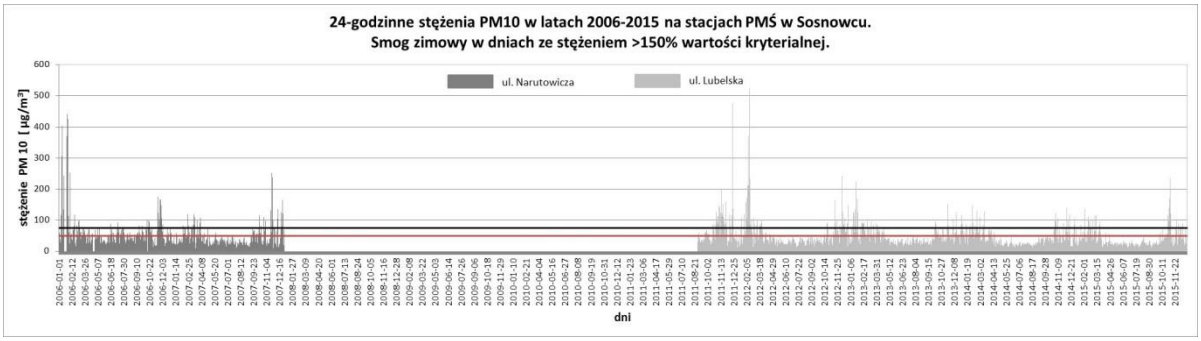
Smog zimowy (kwaśny)

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

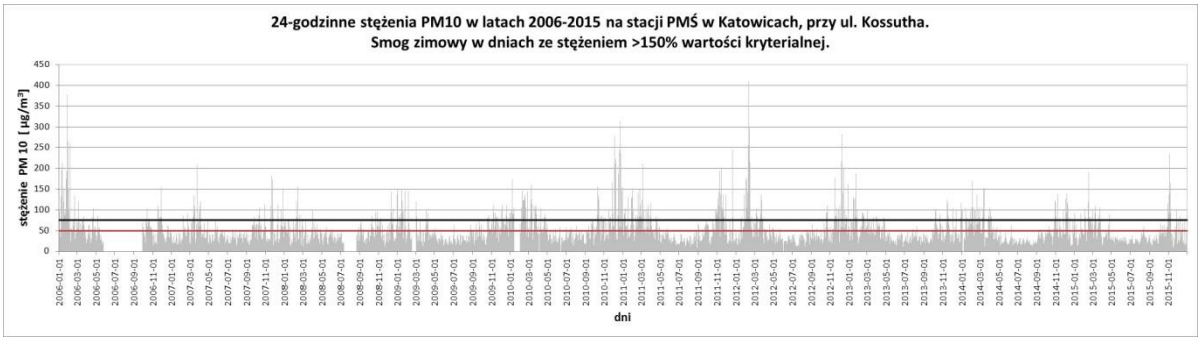
uzgodnioną w MPA przyjęto poziom 150% dobowej wartości dopuszczalnej ustanowionej dla pyłu PM10 czyli poziom 75 µg/m^3. Poziom stężeń średniodobowych notowanych na stacjach w Sosnowcu przedstawiono na rys.71, a na stacji w Katowicach – na rys.72. Zaznaczona tam czerwona linia oznacza poziom dopuszczalny, a czarna - poziom 75 µg/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 µg/m^3 wynosiła od 33 do 84 dni w roku w Sosnowcu (rys.73) oraz od 31 do 77 dni w roku w Katowicach (rys.74). Oznacza to, że w okresie grzewczym na terenie Sosnowca smog zimowy utrzymuje się co roku przez okres od 1 do ponad 2,5 miesięcy. Najwięcej dni smogowych wystąpiło w 2010 i 2012 roku.

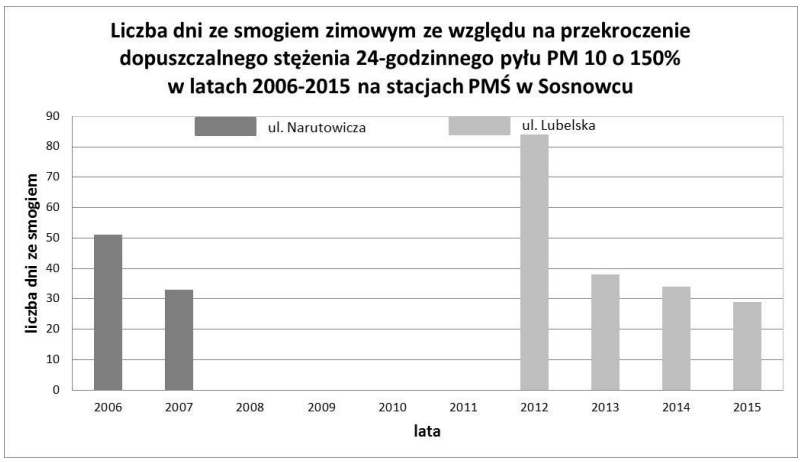
W przypadku wystąpienia sytuacji smogowej i przekroczenia poziomu informowania dla pyłu PM10 w powietrzu (200 µg/m^3), w celu zmniejszenia narażenia na wysokie stężenia zanieczyszczeń w powietrzu, małym dzieciom, kobietom w ciąży, osobom starszym oraz osobom z chorobami serca lub układu oddechowego, 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 µg/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 Polce są najbardziej liberalne wśród wszystkich krajów Unii Europejskiej.



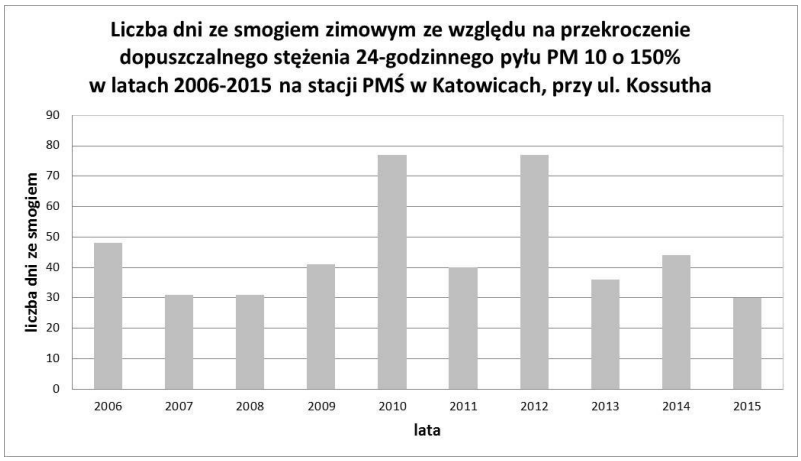
Rys. 71 Stężenie 24-godzinne pyłu zawieszonego PM10 na stacjach w Sosnowcu. Czerwona linia wyznacza poziom dopuszczalny a czarna przekroczenie 150% poziomu dopuszczalnego, świadczące o wystąpieniu smogu zimowego



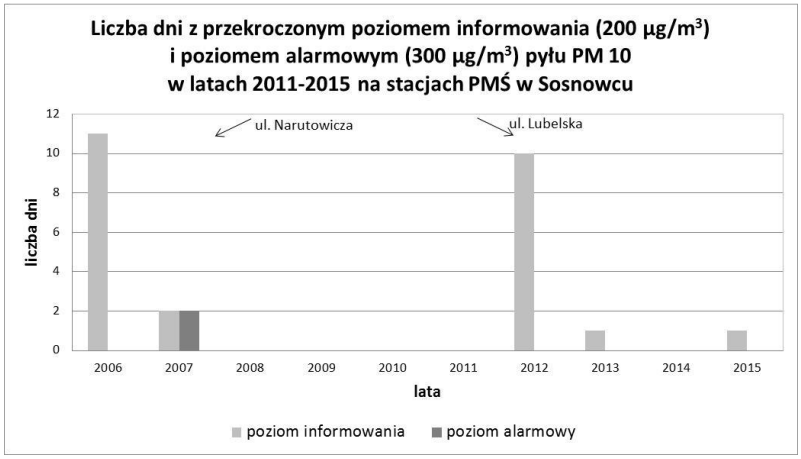
Rys. 72 Stężenie 24-godzinne pyłu zawieszonego PM10 na stacji w Katowicach. Czerwona linia wyznacza poziom dopuszczalny a czarna przekroczenie 150% poziomu dopuszczalnego, świadczące o wystąpieniu smogu zimowego



Rys. 73 Liczba dni z epizodami wysokich stężeń dobowych pyłu PM10 (dni smogowych) na stacjach w Sosnowcu



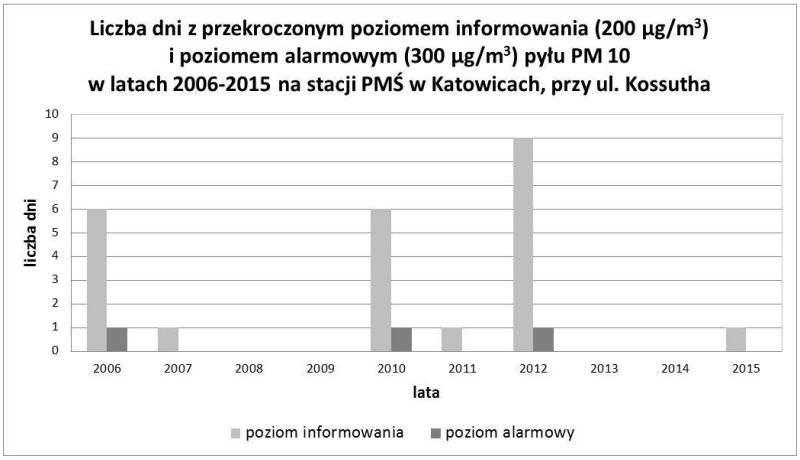
Rys. 74 Liczba dni z epizodami wysokich stężeń dobowych pyłu PM10 (dni smogowych) na stacji w Katowicach



Rys. 75 Liczba dni z przekroczonym poziomem informowania i poziomem alarmowym pyłu PM10 na stacjach w Sosnowcu

Na rys.75 i rys.76 przedstawiono liczbę dni, kiedy odpowiednio na stacjach w Sosnowcu i stacji w Katowicach odnotowano przekroczenie poziomu informowania 200 µg/m^3 oraz poziomu alarmowego 300 µg/m^3. W Sosnowcu, w analizowanym okresie, w poszczególnych latach odnotowano od 0 do 11 dni, w których przekroczony został poziom informowania oraz od 0 do 2 dni, w których przekroczony został poziom alarmowy. Żaden z tych poziomów nie został przekroczony tylko w dwóch z analizowanych lat: w 2011 i 2014 roku. W Katowicach, w analizowanym

dziesięcioleciu, w poszczególnych latach odnotowano od 0 do 9 dni, w których przekroczony został poziom informowania oraz od 0 do 1 dnia, w których przekroczony został poziom alarmowy. Żaden z tych poziomów nie został przekroczony tylko w dwóch z analizowanych lat: w 2013 i 2014 roku.



Rys. 76 Liczba dni z przekroczonym poziomem informowania i poziomem alarmowym pyłu PM10 na stacji w Katowicach

Smog letni (fotochemiczny)

W miastach Aglomeracji Górnośląskiej poziom docelowy dla ozonu ustanowiony ze względu na ochronę zdrowia ludzi, wynoszący 120 µg/m^3 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 czyli wartości 180 µg/m^3 (rys.69). 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.69) przedstawiono przebieg maksymalnych w ciągu doby 8-godzinnych średnich kroczących ozonu na stacji w Katowicach 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 9 czerwca 2014 roku i wyniósł on 174 µg/m^3. Liczba dni, w których smog letni wystąpił odpowiada liczbie dni z przekroczeniami i wynosi od 0 (rok 2007) do 32 dni w roku (rok 2015) (rys.70).

- **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 2 do ponad 4,5 miesięcy (średnio w analizowanym dziesięcioleciu było to od 100 (Sosnowiec) do 105 (Katowice) dni w roku). Wysokość przekroczeń jest również znacząca, stężenia osiągają poziom przekraczający poziom alarmowy czyli 300 µg/m^3. W okresie grzewczym na terenie Sosnowca 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 174 µg/m^3. Liczba dni, w których wystąpiły przekroczenia poziomu docelowego, a tym samym liczba dni, w których wystąpił smog letni wyniosła do 32 dni w roku, a przekroczenie wartości 25 dni z przekroczeniami, czyli wartości dopuszczalnej wystąpiło w analizowanym dziesięcioleciu tylko raz.

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-CORDEX[1], przy zastosowaniu najnowszych dostępnych projekcji klimatycznych wg. 5 Raportu Oceny Międzyrządowego Panelu ds. Zmian Klimatu[2] (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 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 scenariuszy[3] opisanych akronimami RCP4.5[4] oraz RCP8.5[5] (RCP – ang. *Representative Concentration Pathway*). Umiarkowany scenariusz RCP4.5 zakłada dalszy wzrost stężeń CO_2, odpowiednio do 540 ppm w roku 2100 oraz osiągnięcie wymuszenia radiacyjnego na poziomie 4,5 W/m^2, zaś scenariusz ekstrapolacyjny RCP8.5 odpowiada wzrostowi stężeń CO_2 do 940 ppm w roku 2100 i ciągły wzrost wymuszenia radiacyjnego do poziomu 8,5 W/m^2.

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 modelu[6]).

[1] http://www.euro---cordex.net
[2] https://www.ipcc.ch/report/ar5
[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

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

- temperaturę średniodobową [^{o}C],
- temperaturę maksymalną dobową [^{o}C],
- temperaturę minimalną dobowa [^{o}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.
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.

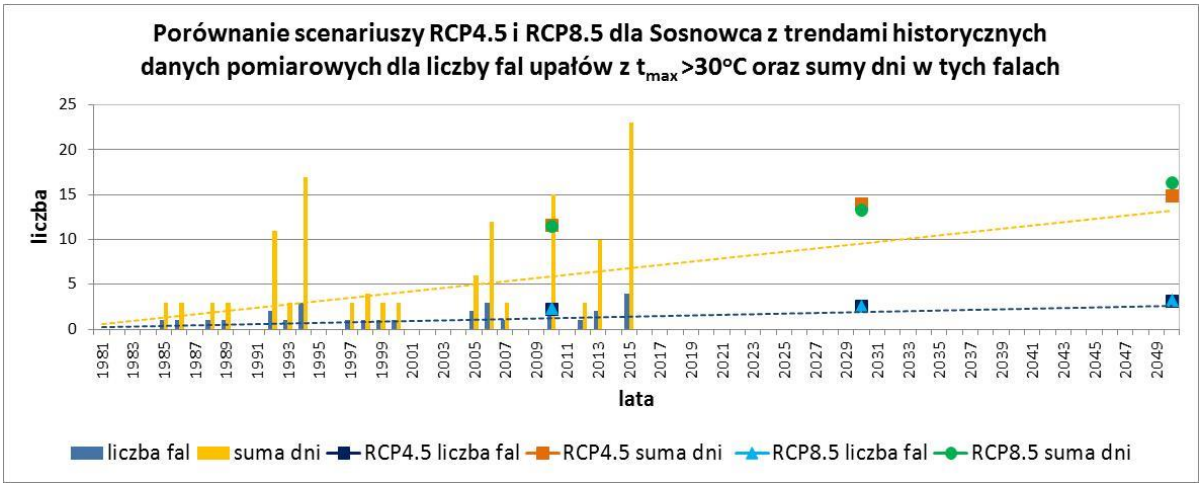
Należy podkreślić, że wybór okresów 10-letnich podyktowany był dostępem danych w EuroCORDEX dla analizowanych scenariuszy (obecnie dostępne dane są dla okresu od 2006 do 2100). Z tego powodu oraz by zachować jednolite podejście do analiz, dla klimatu bieżącego wybrano jedyny wspólny okres dostępny do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

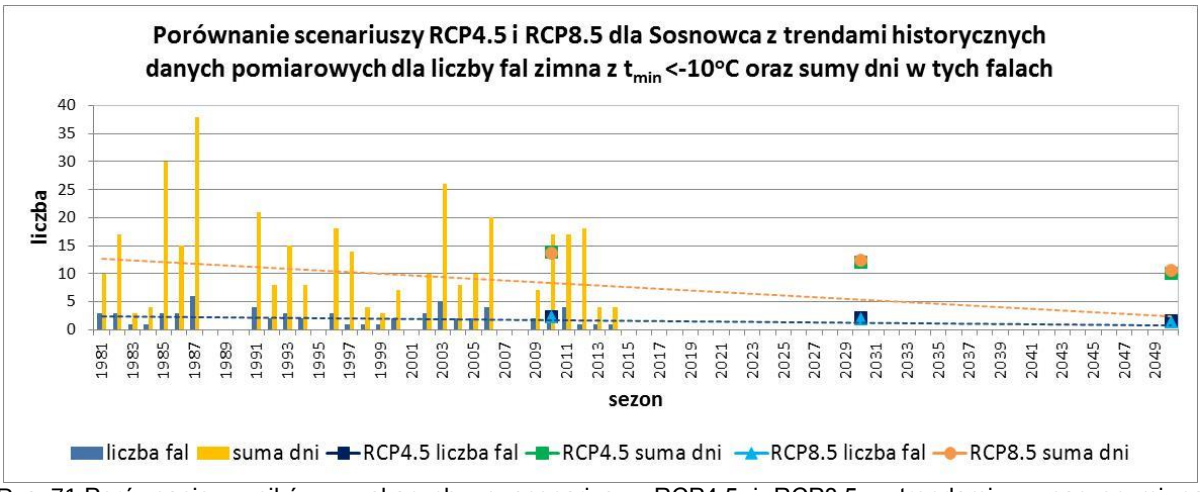
Tabela 3. Wskaźniki klimatyczne dla scenariuszy klimatycznych

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
	Liczna 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

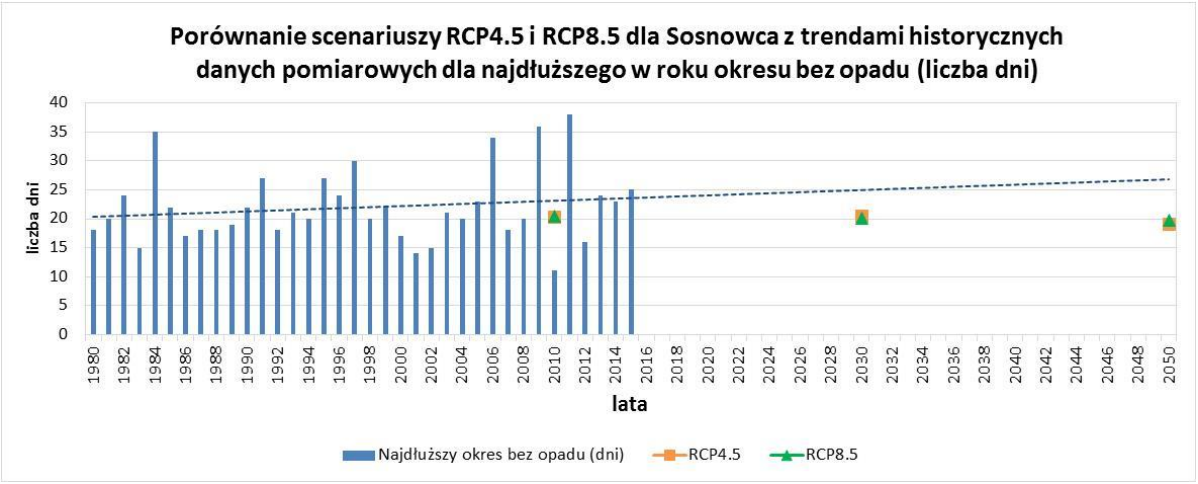
Na poniższych wykresach (rys.77 - 80) przedstawiono porównanie wyników uzyskanych ze scenariuszy RCP4.5 i RCP8.5 dla Sosnowca z trendami wyznaczonymi na podstawie historycznych danych pomiarowych dla stacji synoptycznej w Katowicach dla kilku przykładowych wskaźników klimatycznych. Analiza wykresów wskazuje na zbieżność przewidywanych różnymi metodami analitycznymi zmian kluczowych wskaźników klimatycznych.



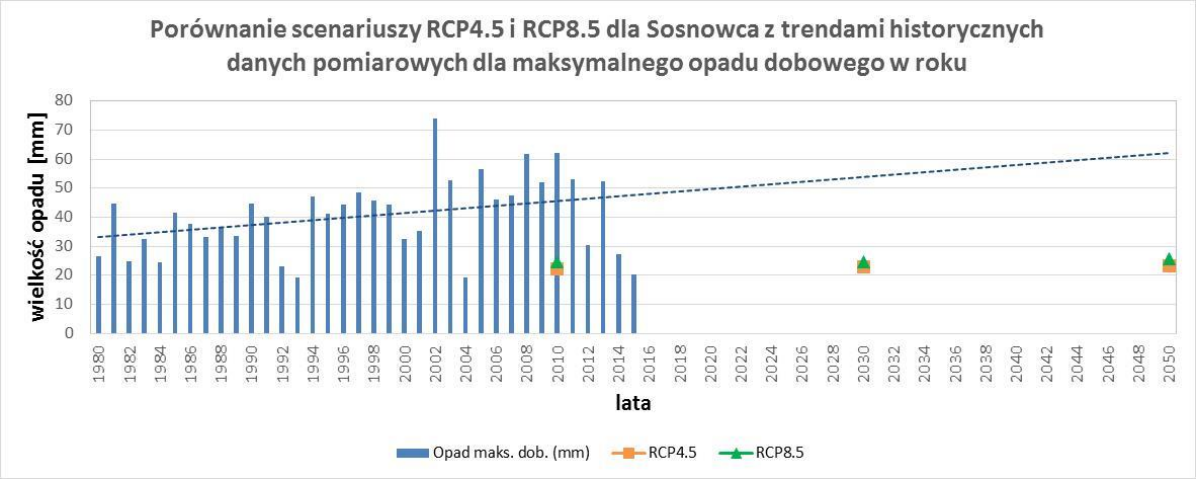
Rys. 70 Porównanie wyników uzyskanych ze scenariuszy RCP4.5 i RCP8.5 z trendami wyznaczonymi na podstawie historycznych danych pomiarowych dla liczby fal upałów oraz sumy dni w tych falach



Rys. 71 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



Rys. 72 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. 73 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 Sosnowca opracowane zostały w ramach projektu, w postaci zmienności wartości wybranych parametrów meteorologicznych.

Poniżej w tabeli 4. Przedstawiono skalę oceny prawdopodobieństwa wystąpienia zjawisk meteorologicznych. 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.

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

Przyjęte w oparciu o porównanie analizy trendów i scenariuszy klimatycznych wartości prawdopodobieństwa zmian parametrów reprezentujących czynniki klimatyczne są prezentowane w tabeli 5. Porównując poniższe dane historyczne z 35-lecia oraz scenariusze klimatyczne można zauważyć, że predykcja kierunków zmian klimatycznych jest podobna.

Tabela 5. Analiza prawdopodobieństwa trendów zmian czynników klimatycznych i zjawisk pochodnych dla Sosnowca na lata 2030-2050

Czynniki klimatyczne i zjawiska pochodne analizy	Temperatura maksymalna	Temperatura minimalna	Stopniodni <17°C	Stopniodni >27°C	Fale upałów	Fale zimna	Temperatura przejściowa	Międzydobowa zmiana temperatury	Liczba dni z $T_{śr}$ - 5 do 2,5°C i opadem	MWC
Prawdopodobieństwo - trendy danych historycznych 1981-2015 na podstawie testu istotności Mann'a Kendalla	↗	↕	↕	↗	↗	↕	↘	↗	↕	↗
	5	3	3	5	4	3	2	4	3	4
Scenariusze RCP4.5	↗	↘			↗	↘	↘		↘	
	^	^			^	v	v		v	
Scenariusze RCP8.5	^	^			^	v	vv		v	
Wartość prawdopodobieństwa przyjęta w analizie ryzyka	5	3	3	5	4	3	2	4	3	4

cd. Tabela 5

Czynniki klimatyczne i zjawiska pochodne analizy	Deszcze nawalne	Ekstremalne opady śniegu	Długotrwałe okresy bezopadowe	Okresy bezopadowe z wysoką temperaturą	Okresy niżówkowe	Niedobory wody	Powódź od strony rzek	Powodzie nagłe/ powodzie miejskie	Osuwiska	Stężenie zanieczyszczeń powietrza	Smog	Silny i bardzo silny wiatr	Burze (w tym burze z gradem)
Prawdopodobieństwo - trendy danych historycznych 1981-2015 na podstawie testu istotności Mann'a Kendalla	↗	↘	↕	↗	↕	↕	↘	↗		↗	↗	↕	↗
	5	2	3	4	3	3	2	4		5	5	3	5
Scenariusze RCP4.5	↗		↘										
	^		v										
Scenariusze RCP8.5	^		v										
Wartość prawdopodobieństwa przyjęta w analizie ryzyka	5	2	3	4	3	3	2	4		5	5	3	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 Sosnowcu powodują:

- dni upalne i fale upałów,
- występowanie miejskiej wyspy ciepła,
- występowanie krótkich lecz intensywnych opadów, które mogą powodować lokalne podtopienia ulic i budynków,
- długotrwałe okresy bezopadowe, a w szczególności okresy bezopadowe połączone z wysoką temperaturą,
- rosnąca ilość dni burzowych,
- zła sytuacja aerosanitarna w mieście, szczególnie w kontekście zanieczyszczenie 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.