



**Wczujmy się  
w klimat!**

[www.44mpa.pl](http://www.44mpa.pl)

# Plan Adaptacji do zmian klimatu Miasta Kielce do roku 2030

Załącznik 2

Opis głównych zagrożeń klimatycznych  
i ich pochodnych dla Miasta Kielce

Opracował:  
Tomasz Śnieżek

## 1. Wstęp

Analizę zmian klimatu miast Kielce przeprowadzono w oparciu o historyczne dane pomiarowe pochodzące z lat 1981-2015 uzyskane z najbliższej Kielcom stacji synoptycznej o kodzie WMO 570. Stacja ta położona jest w miejscowości Suków na wysokości 260 m n.p.m, i oddalona jest o 8 km na południowy wschód od miasta. Należy więc zwrócić uwagę, iż niektóre wskaźniki klimatologiczne mogą odbiegać swoimi wartościami od takich samych wskaźników dla centrum miasta.

Warunki przyszłego klimatu odtworzono w oparciu o wyniki symulacji klimatycznych obliczonych w ramach projektu Euro-CORDEX (<http://www.euro-cordex.net>), przy zastosowaniu najnowszych dostępnych projekcji klimatycznych wg 5 Raportu Oceny Międzyrządowego Panelu ds. Zmian Klimatu (dalej AR5 IPCC - <https://www.ipcc.ch/report/ar5>) 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 0,110 (ok. 12,5 km). W analizie wykorzystano raport uwzględniający 4 grupy scenariuszy emisyjnych (RCP2.6; RCP4,5; RCP6,0 oraz RCP8.5), które zakładają skalę dalszego wzrostu emisji CO<sub>2</sub>, oraz osiągnięcie wymuszenia radiacyjnego na określonym przez dany scenariusz poziomie – **RCP** (Representative Concentration Pathways).

Przeanalizowano:

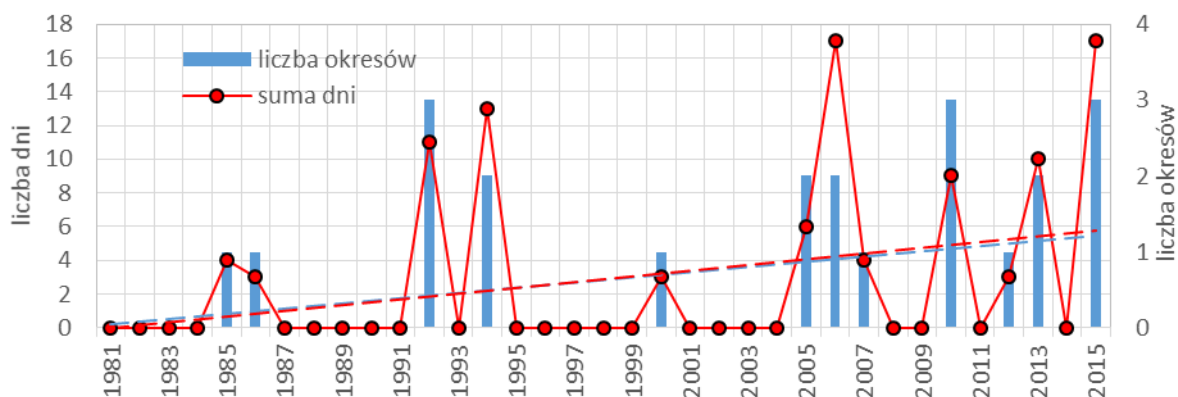
- okresy upałów,
- okresy chłodu,
- temperaturę przejściową i dni charakterystyczne termicznie,
- zmienność liczby dni grzewczych,
- opady atmosferyczne – suma roczna opadu i długotrwałe okresy bezopadowe,
- warunki anemometryczne miasta – silny i bardzo silny wiatr oraz burze,
- koncentrację zanieczyszczeń powietrza – stężenie pyłu zawieszonego PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> oraz ozonu troposferycznego w powietrzu.

## 2. Okresy upałów

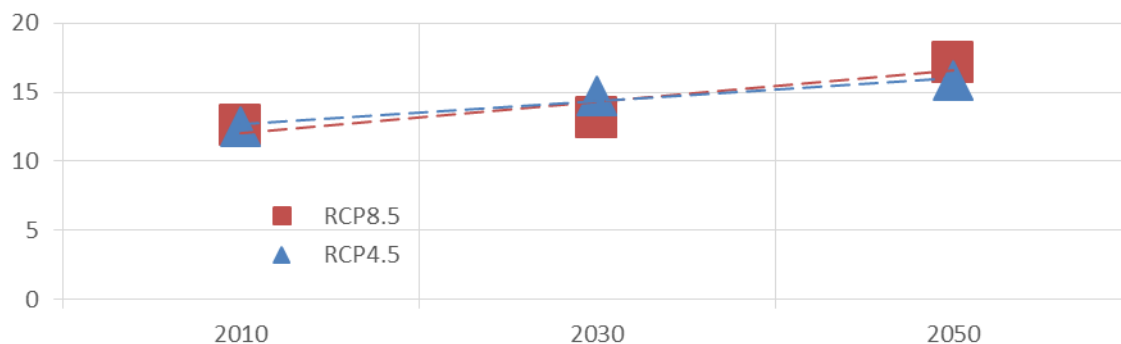
Fale upałów definiowane są jako okresy przynajmniej trzech dni z temperaturą maksymalną powietrza powyżej 30°C. Dla Kielc takich zjawisk nie ma zbyt wiele. W ciągu trzydziestu pięciu lat miały miejsce jedynie w ciągu dwunastu lat. Analizując wykres na rysunku 1 można stwierdzić jednak, że zarówno liczba okresów (fal) przynajmniej trzydniowych wzrasta o około 0,3 okresu na każde dziesięciolecie jak i rośnie liczba dni w okresie z prędkością 1,7 dnia na dekadę. Oznacza to wzrost liczby i długości okresów upalnych pomimo braku takich okresów w wielu latach wielolecia (Rys. 1).

Dla danych prognostycznych EuroCORDEX, w przypadku liczby dni z temperaturą maksymalną >30°C w roku występuje pewien wzrost w stosunku do dziesięciolecia 2006-2015, nie jest on jednak znaczny (Rys. 2). Dla dziesięciolecia 2026-2035 występuje różnica o około 1,3 dnia w zależności od wyboru scenariusza, średnio od 12,6 dnia w dziesięcioleciu 2006-2015 do 13,9 dnia w dziesięcioleciu 2026-2035. Dziesięciolecie 2046-2055 charakteryzuje się mniejszą zgodnością obu scenariuszy, które wskazują wzrost średnio do 16,5 dnia w tym okresie. Prognozowane jest zwiększenie się ilości dni upalnych (Rys. 2).

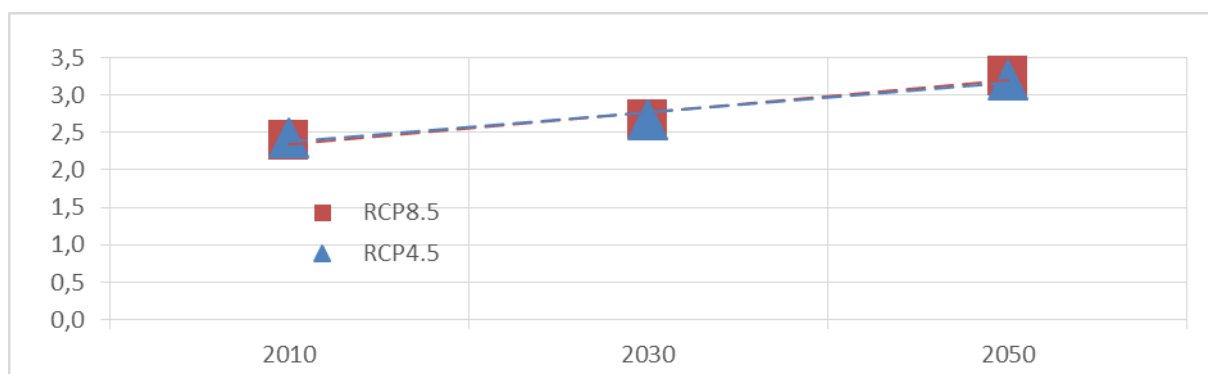
OPRACOWANIE PLANÓW ADAPTACJI DO ZMIAN KLIMATU W MIASTACH POWYŻEJ 100 TYS. MIESZKAŃCÓW



Rys. 1. Okresy upałów, liczba dni i okresów o długości przynajmniej 3 dni z temperaturą maksymalną > 30°C w roku



Rys. 2. Liczba dni z temperaturą maksymalną > 30°C w roku. EuroCORDEX



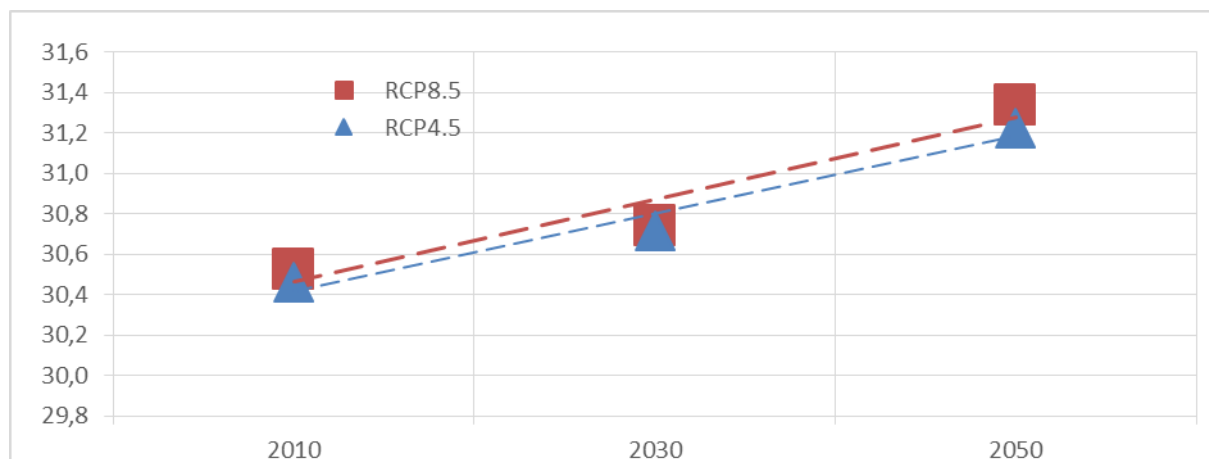
Rys. 3. Liczba okresów o długości przynajmniej 3 dni z temperaturą maksymalną > 30°C w roku. EuroCORDEX

Analizując wyniki wiązki EuroCORDEX dla liczby okresów o długości przynajmniej 3 dni z temperaturą maksymalną > 30°C w roku można zauważyć istnienie delikatnego trendu wzrostowego oraz żadnych różnic w wartościach wiązki, zależnych od wyboru scenariusza (Rys. 3). Oba scenariusze pokazują wzrost od średnio 2,4 okresu w dziesięcioleciu 2006-2015 do średnio 2,7 okresu w dziesięcioleciu

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

2026-2035 i do średnio 3,3 okresu w dziesięcioleciu 2046-2055. Dla klimatu bieżącego wartości obserwowane i uzyskane na podstawie EuroCORDEX są takie same.

Prognozowane jest zwiększenie się ilości fal upałów ( $T_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$ ).



Rys. 4. Percentyl 98 % temperatury maksymalnej dobowej w roku. EuroCORDEX

Dla 98% percentyla temperatury maksymalnej dobowej (2% wartości temperatur maksymalnych znajduje się powyżej wartości wskazanych na wykresie) zmiany w wieloleciu 2010 – 2050 są dosyć znaczne, jakkolwiek wyniki wiązki EuroCORDEX wskazują na istnienie trendu wzrostowego (Rys. 4).

Dla obu scenariuszy różnice są relatywnie niewielkie i pokazują wzrost od średnio  $30,5^{\circ}\text{C}$  w dziesięcioleciu 2006-2015 do średnio  $30,7^{\circ}\text{C}$  w dziesięcioleciu 2026-2035 i do średnio  $31,3^{\circ}\text{C}$  w dziesięcioleciu 2046-2055. Dla klimatu bieżącego wyniki wiązki EuroCORDEX są nieco niższe od wartości obserwowanych.

Prognozowany jest wzrost temperatur maksymalnych w okresie letnim.

### 3. Okresy chłodu

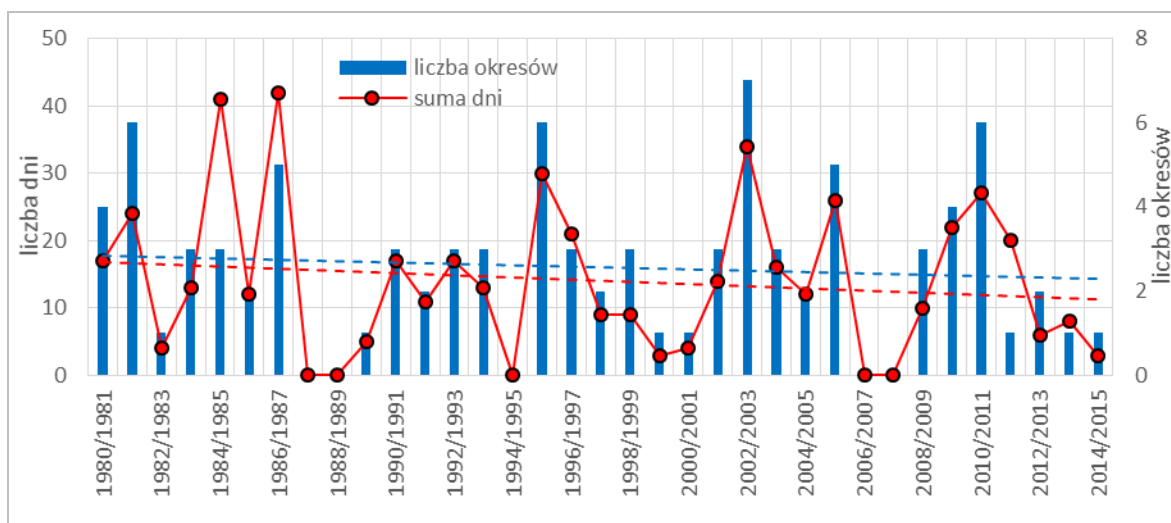
Okresy chłodu definiowane są jako okresy przynajmniej 3 – dniowe z temperaturą minimalną poniżej  $-10^{\circ}\text{C}$ .

W Kielcach okresów chłodu i liczba dni z temperaturą minimalną poniżej  $-10^{\circ}\text{C}$  jest znacznie więcej niż okresów upału. Okresy chłodu występują jednak coraz rzadziej – spadek ich występowania dokonuje się z prędkością około 0,1 okresu w ciągu dekady. Podobnie zmniejsza się liczba dni z taką temperaturą o około 1,6 dnia na dekadę (Rys.5).

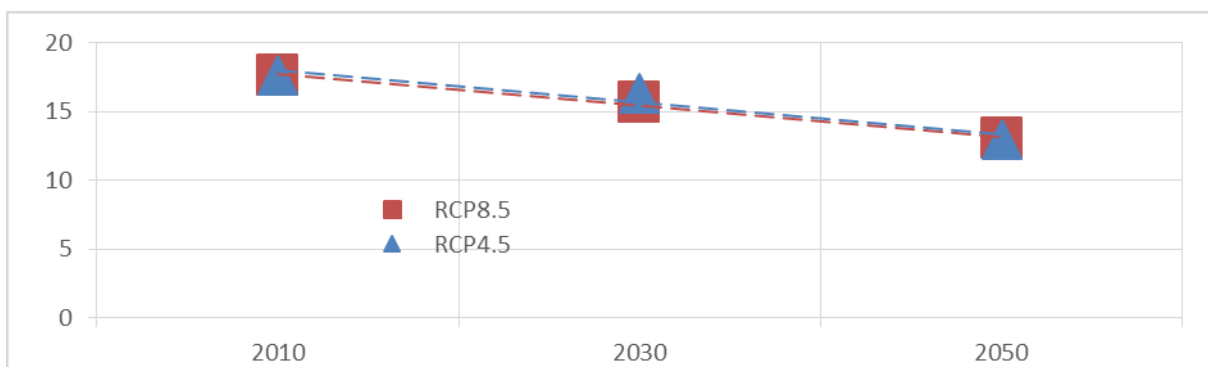
W odniesieniu do liczby dni z temperaturą minimalną  $< -10^{\circ}\text{C}$  w roku zauważalna jest lekka tendencja do spadku liczby dni z tą wartością temperatury (Rys. 6). Dni te zmieniają się od średnio 17,6 dnia w dziesięcioleciu 2006-2015 do średnio 15,9 dnia w okresie 2026-2035 i do średnio 13,0 dnia dla dziesięciolecia 2046-2055. Dla klimatu bieżącego wartości wiązki EuroCORDEX różnią się nieznacznie od obserwacji.

Prognozowana liczba dni z temperaturą minimalną poniżej  $-10^{\circ}\text{C}$  ulegnie zmniejszeniu.

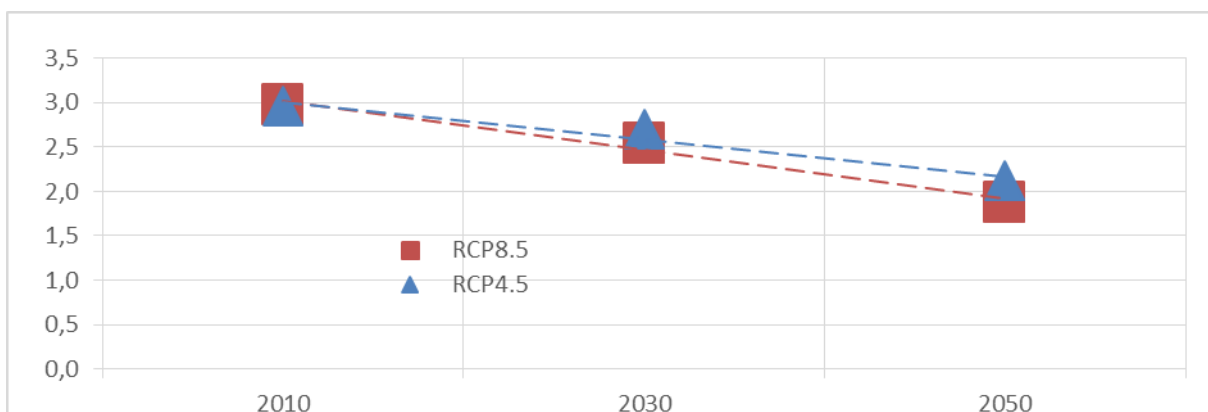
OPRACOWANIE PLANÓW ADAPTACJI DO ZMIAN KLIMATU W MIASTACH POWYŻEJ 100 TYS. MIESZKAŃCÓW



Rys. 5. Okresy chłodu, liczba dni i liczba okresów z temperaturą minimalną < -10°C w roku



Rys. 6. Liczba dni z temperaturą minimalną < -10°C w roku. EuroCORDEX

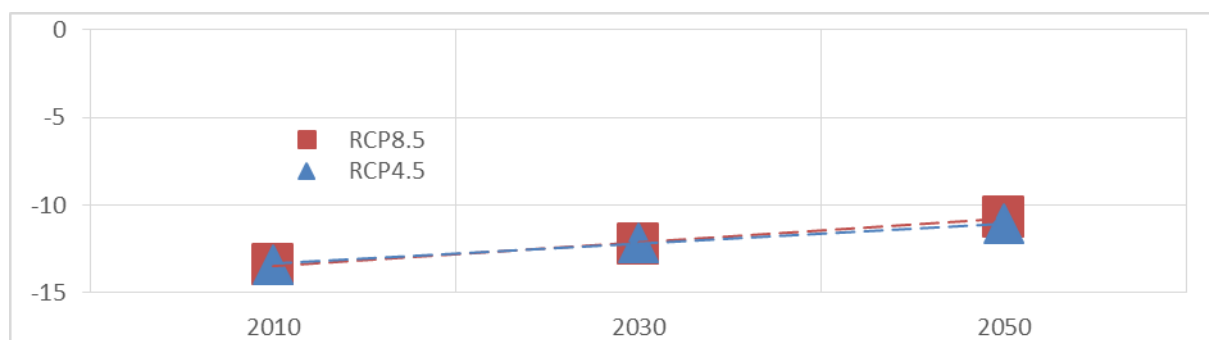


Rys. 7. Liczba okresów o długości przynajmniej 3 dni z temperaturą minimalną < -10°C w roku. EuroCORDEX

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

W przypadku liczby okresów o długości przynajmniej 3 dni z temperaturą minimalną  $<-10^{\circ}\text{C}$  w roku widać tendencję do nieznacznego spadku ich liczby na przestrzeni lat wielolecia 2010 – 2050 (Rys. 7). Dla obu scenariuszy pojawiające się różnice są niewielkie a wartości zmieniają się od średnio trzech okresów w dziesięcioleciu 2006-2015 do średnio 2,6 okresu w dziesięcioleciu 2026-2035 i do średnio 2,0 okresu dla okresu 2046-2055. Dla klimatu bieżącego wartości wiązki EuroCORDEX są zbliżone do wartości obserwacji.

Prognozowany jest nieznaczny spadek liczby fal chłodu wyrażonych jako okresy o długości przynajmniej 3 dni z temperaturą minimalną  $<-10^{\circ}\text{C}$ .



Rys. 8. Percentyl 2 % temperatury minimalnej dobowej w roku. EuroCORDEX

Analiza wartości wiązki EuroCORDEX i obserwowanych dla percentyla 2% temperatury minimalnej dobowej pozwala zauważyć istnienie trendu wzrostowego temperatury minimalnej na przestrzeni dziesięcioleci dla obu rozważanych scenariuszy (Rys. 8). Wartości obu scenariuszy są bardzo zbliżone i zmieniają się od średnio  $-13,4^{\circ}\text{C}$  w dziesięcioleciu 2006-2015 do średnio  $-12,2^{\circ}\text{C}$  w dziesięcioleciu 2026-2035 i do średnio  $-10,7^{\circ}\text{C}$  w dziesięcioleciu do 2046-2055. Dla klimatu bieżącego wartości indeksu odbiegają nieznacznie od obserwacji.

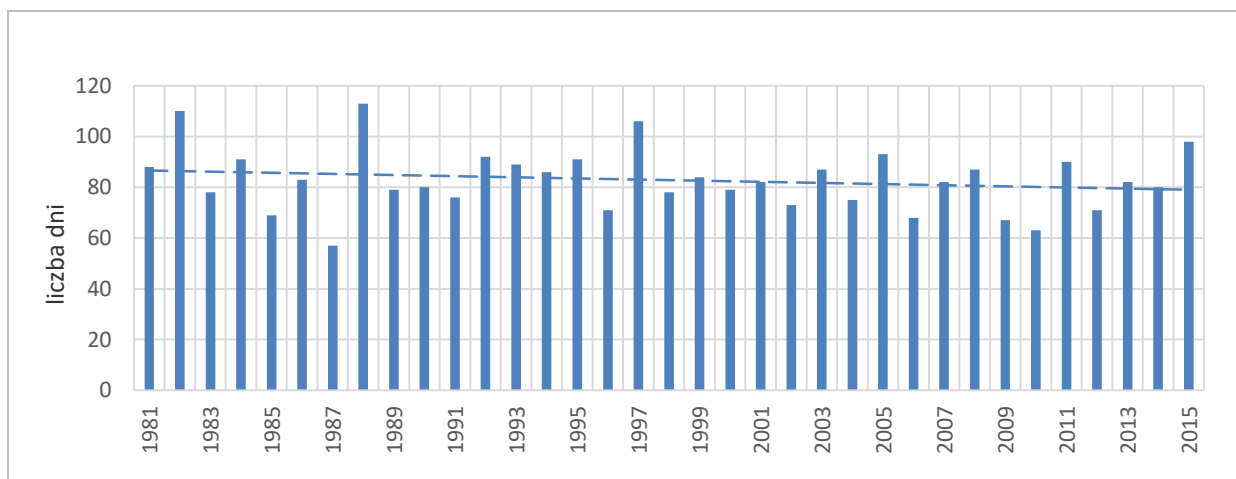
Prognozowany jest wzrost temperatur minimalnych okresu zimowego oraz wzrost temperatury minimalnej dobowej w roku.

#### 4. Temperatura przejściowa i dni charakterystyczne termicznie

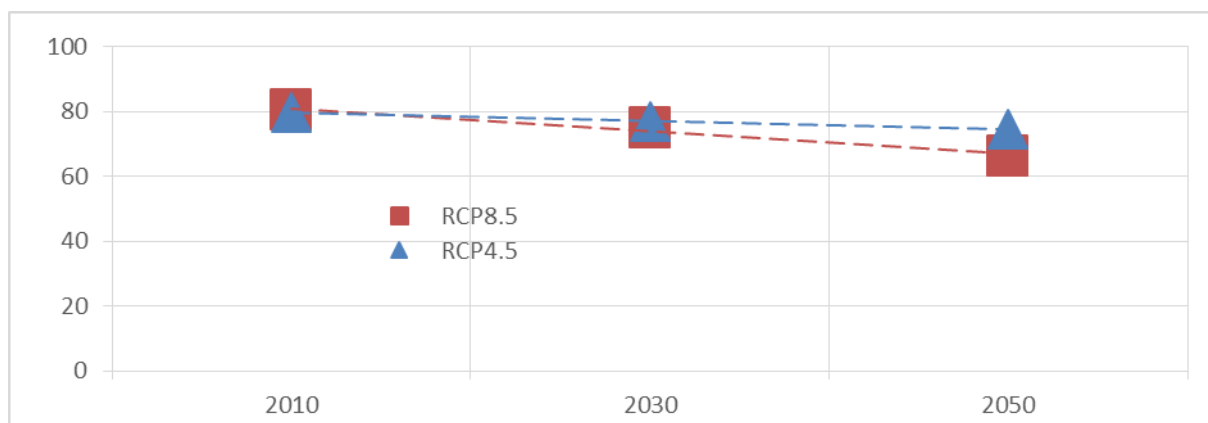
Na rysunku 9 przedstawiono liczbę dni z temperaturą przejścia przez  $0^{\circ}\text{C}$  czyli temperaturę, której wartość dobową minimalną jest mniejsza od  $0^{\circ}\text{C}$  ( $T_{\min}<0^{\circ}\text{C}$ ) a wartość maksymalna dobową jest większa od  $0^{\circ}\text{C}$  ( $T_{\max}>0^{\circ}\text{C}$ ).

Jest to liczba dni z przymrozkami. Największa liczba dni spełniających to kryterium wystąpiła w roku 1988 (113 dni) najmniejsza natomiast w roku 1987 (57 dni). Liczba dni z przymrozkami stopniowo maleje w tempie około 2 dni w ciągu dziesięciu lat.

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



Rys. 9. Liczba dni z temperaturą przechodzącą przez 0°C ( $T_{min} < 0^{\circ}C$ , dni przymrozkowe) oraz liczba dni z międzydobową zmianą temperatury większą niż 10°C w wieloleciu 1981 – 2015

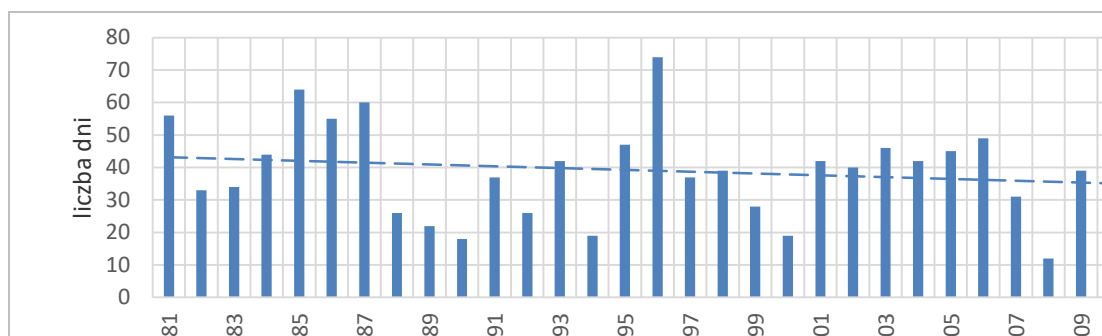


Rys. 10. Liczba dni z przejściem temperatury przez 0°C w roku. EuroCORDEX

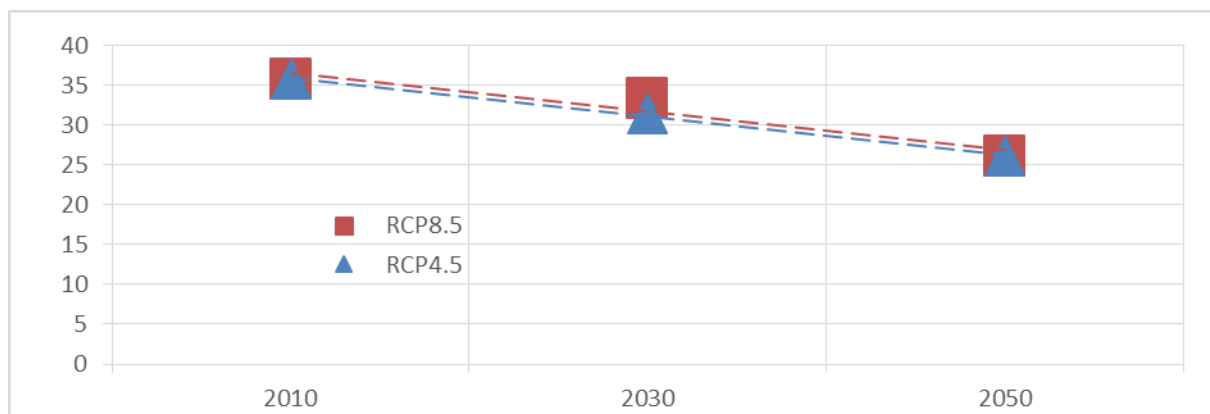
Wartości indeksu na podstawie wyników EuroCORDEX dla liczby dni z przejściem temperatury przez 0°C w roku pozwala zauważyć występowanie tendencji spadkowej (Rys. 10). Wartości indeksu zmieniają się średnio od 80,4 dnia w dziesięcioleciu 2006-2015, poprzez średnio 76,0 dnia w okresie 2026-2035 do średnio 70,5 dnia w dziesięcioleciu 2046-2055. Wartości indeksu obliczone na podstawie wyników EuroCORDEX dla klimatu bieżącego są nieznacznie wyższe od obliczonych na podstawie obserwacji.

Prognozowane jest zmniejszenie się liczby dni z przejściem temperatury przez 0°C. W zależności od scenariusza wyniki dla roku 2050 różnią się o 8 dni. Na podstawie analizy innych indeksów wiązać to można z prognozowanym zmniejszeniem się liczby dni z temperaturą minimalną poniżej 0°C.

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



Rys. 11. Liczba dni z dobową temperaturą maksymalną mniejszą od 0°C (T<sub>max</sub><0°C, dni mroźne) dla wielolecia 1981 – 2015



Rys. 12. Liczba dni z temperaturą maksymalną mniejszą od 0°C w roku. EuroCORDEX

Spada również liczba dni mroźnych z temperaturą maksymalną mniejszą od 0°C (T<sub>max</sub><0°C). Prędkość tego spadku to około 2,8 dnia w ciągu dziesięciolecia (Rys. 11). Najniższe wartości tego wskaźnika zanotowano w roku 2008 (12 dni) natomiast najwyższe w roku 1996 (74 dni).

Na podstawie wyników EuroCORDEX dla liczby dni z temperaturą maksymalną mniejszą od 0°C w roku można wskazać dość duży trend spadkowy (Rys. 12). Dla obu scenariuszy wyznaczone wartości są bardzo zbliżone i pokazują spadek liczby dni od średnio 35,7 dnia dla dziesięciolecia 2006-2015 do średnio 32,4 dnia w dziesięcioleciu 2026-2035 i do średnio 26,1 dnia dla dziesięciolecia 2046-2055. Dla klimatu bieżącego wartości wiązki EuroCORDEX nie odbiegają od wartości obserwowanych.

Prognozowana liczba dni mroźnych z temperaturą maksymalną poniżej 0°C ulegnie zmniejszeniu.

## 5. Zmienność liczby dni grzewczych

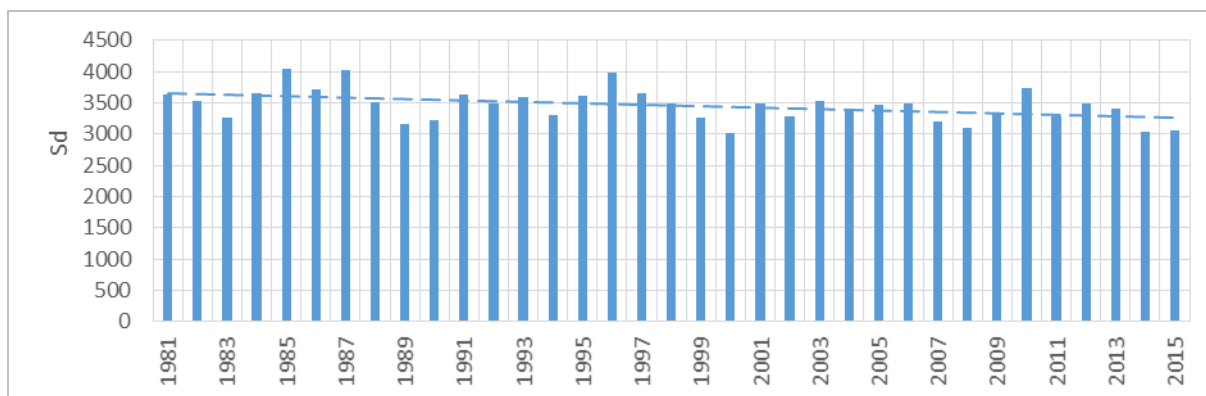
Przytłaczająca liczba dni w każdym roku ma temperaturę średnią dobową nie wyższą niż 15°C (T<sub>sr</sub>≤15°C). Najwięcej takich dni wystąpiło w roku 1984 (306 dni) natomiast najmniej w roku 2002 (249 dni). Liczba dni z taką temperaturą powoli maleje z szybkością około 6 dni na dekadę.

Wskaźnik stopniodni<17 (liczba dni grzewczych) wyliczony został na podstawie temperatury średniej dobowej dla dni ze średnią dobową temperaturą poniżej lub równą 15°C.



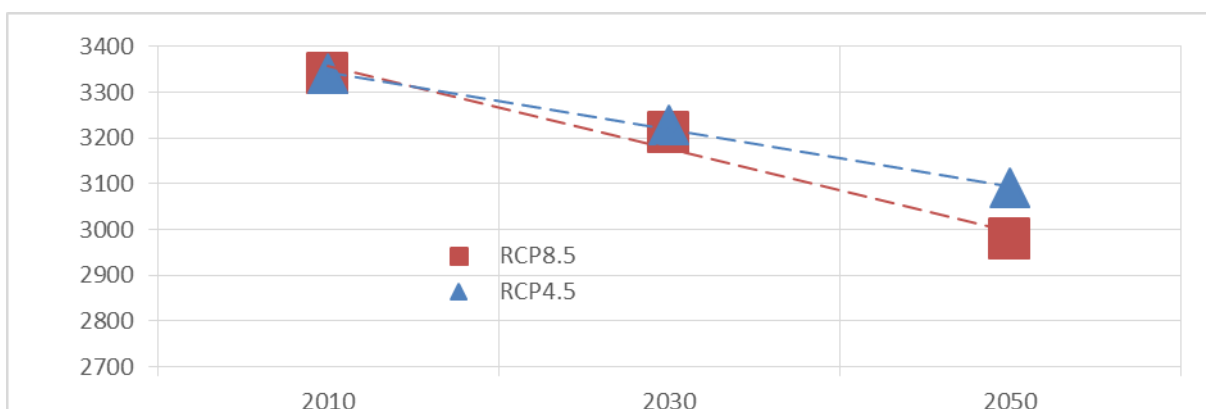
OPRACOWANIE PLANÓW ADAPTACJI DO ZMIAN KLIMATU W MIASTACH POWYŻEJ 100 TYS. MIESZKAŃCÓW

Na rysunku 13 przedstawiono wartości wskaźnika  $S_d$  dla kolejnych lat wielolecia. Widać na tym wykresie wyraźny trend spadkowy wskaźnika w tempie około 117 stopniodni w skali dziesięciolecia. Oznacza to mniejsze zapotrzebowanie na energię potrzebną do ogrzewania lokali użytkowych przy niskich temperaturach.



Rys. 13. Wskaźnik stopniodni ogrzewania dla lat wielolecia 1981 – 2015

W okresach letnich nadmierny ( $t_{sr} \geq 27^\circ\text{C}$ ) wzrost temperatury wymaga włączania klimatyzacji i chłodzenia lokali użytkowych. Jednak jedynie w przypadkach trzech miesięcy w wieloleciu średnie temperatury dobowe przekroczyły poziom temperatury  $27^\circ\text{C}$ , powyżej którego wymagane jest chłodzenie mieszkań a wskaźnik  $S_d$  nie przekroczył wartości 0,9.



Rys. 14. Stopniodni dla temperatury średniodobowej < 17°C w roku. EuroCORDEX

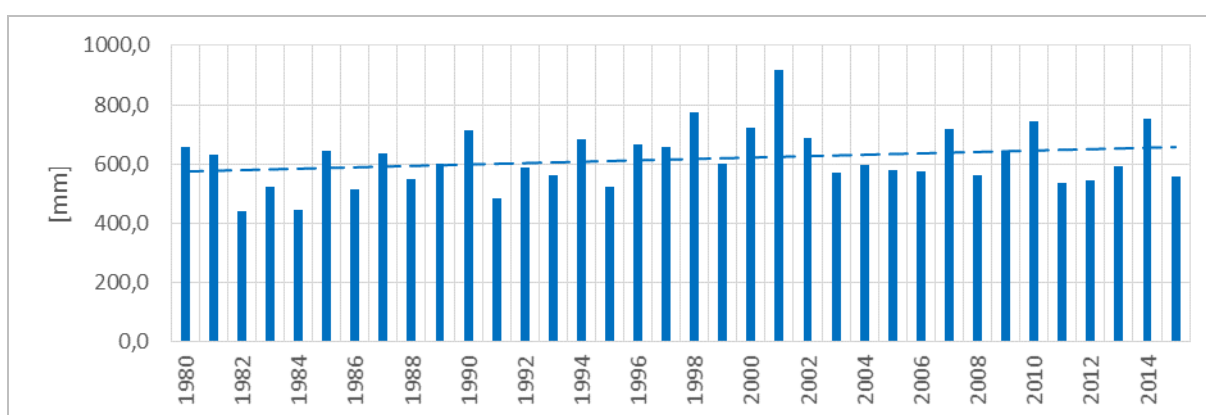
W stosunku do stopniodni dla temperatury średniodobowej < 17°C w roku można zauważyć występowanie tendencji spadkowej w obu scenariuszach (Rys. 14). Wyniki wiązki EuroCORDEX zmieniają się w stosunku do wartości obserwowanych od średnio 3339,8 stopniodnia w okresie 2006-2015 poprzez średnio 3219,3 stopniodnia dla dziesięciolecia 2026-2035 do średnio 3035,0 stopniodnia w okresie 2046-2055. Wartości indeksu obliczone na podstawie wyników EuroCORDEX dla klimatu bieżącego są takie same jak obserwowane.

Prognozowane jest znaczące zmniejszenie się wartości indeksu stopniodni dla temperatury średniodobowej < 17°C.

## 6. Opady atmosferyczne – suma roczna opadu

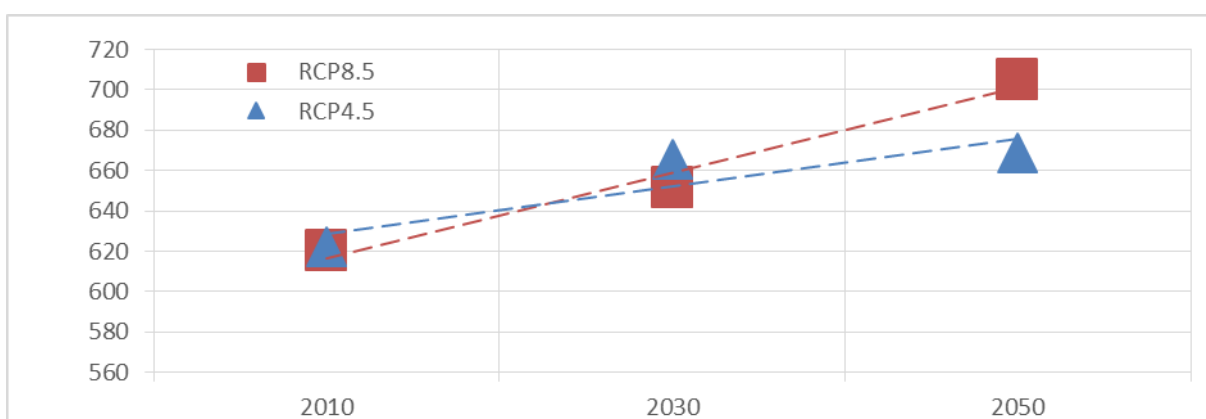
W ostatnich latach obserwuje się wzrost zagrożeń wywołanych ekstremalnymi zjawiskami meteorologicznymi takimi jak intensywne kilkudniowe opady deszczu o charakterze rozlewnym oraz krótkotrwałe deszcze ulewne i nawalne powodujące wezbrania i powodzie lokalne typu flash flood. Podczas występowania opadu >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; utrudnienia w ruchu pieszym i drogowym.

Z analizy rocznych sum opadu (Rys.15) wynika, iż ilość wody opadowej docierającej do podłoża wzrastała średnio o 23 mm opadu na dekadę.



Rys. 15. Roczne sumy wysokości opadu w wieloleciu 1980 - 2015

W analizowanym wieloleciu najsuchszym był rok 1982, kiedy spadło 439,4mm opadu natomiast najmokrzejszym rokiem był rok 2001, kiedy spadło 918,4mm opadu.



Rys. 16. Roczne sumy wysokości opadu w wieloleciu 2010 – 2050. EuroCORDEX

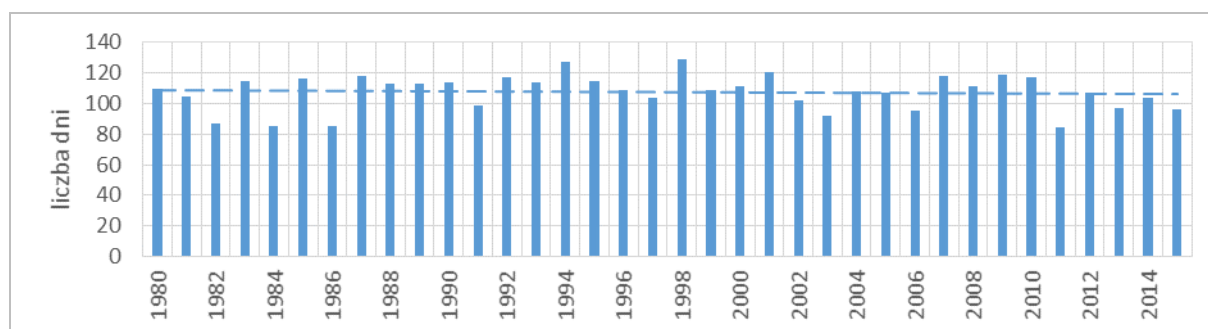
Dla sumy rocznej opadu zmiana zależna jest od wyboru scenariusza, jakkolwiek wyniki EuroCORDEX wskazują na istnienie trendu wzrostowego, a trend ten jest silniejszy dla scenariusza RCP8.5, natomiast dla scenariusza RCP4.5 wzrost sumy rocznej opadu choć występuje, to jest zdecydowanie

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

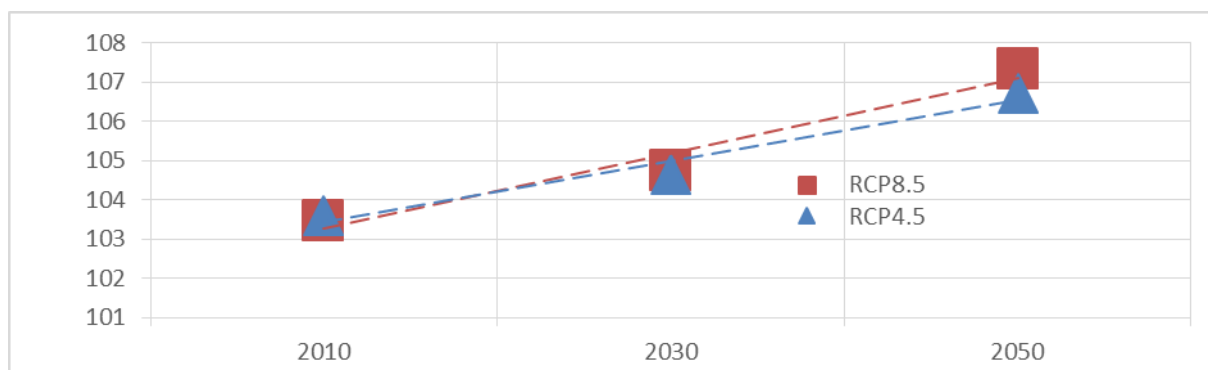
wolniejszy (Rys. 16). W przypadku obu scenariuszy dla dziesięciolecia 2026-2035 uzyskano wartości bardzo zbliżone, jednak w przypadku kolejnego z rozpatrywanych okresów suma ta różni się o 15 mm. Uśrednione wartości z obu scenariuszy pokazują wzrost od średnio 620,4mm w dziesięcioleciu 2006-2015 do średnio 658,6 mm w dziesięcioleciu 2026-2035 i do średnio 686,9 mm w dziesięcioleciu 2046-2055. Wartość indeksu obliczona na podstawie wyników EuroCORDEX dla klimatu bieżącego jest zbliżona do wartości uzyskanych na podstawie obserwacji.

Prognozowany jest wzrost rocznej sumy opadu, zwłaszcza dla scenariusza RCP8.5.

Liczba dni z opadem (opad  $\geq 1\text{mm/d}$ ) w okresie wielolecia pozostawała niemal niezmienna. Zaobserwowano bardzo słaby spadek tej liczby na poziomie 0,5 dnia na dekadę (Rys.17). Najmniej dni z opadem zanotowano w roku 2011 (84 – 23% roku) a najwięcej w roku 1998 (129 – 35% roku).



Rys. 17. Liczba dni w roku z opadem  $\geq 1\text{mm/d}$  dla wielolecia 1980 - 2015



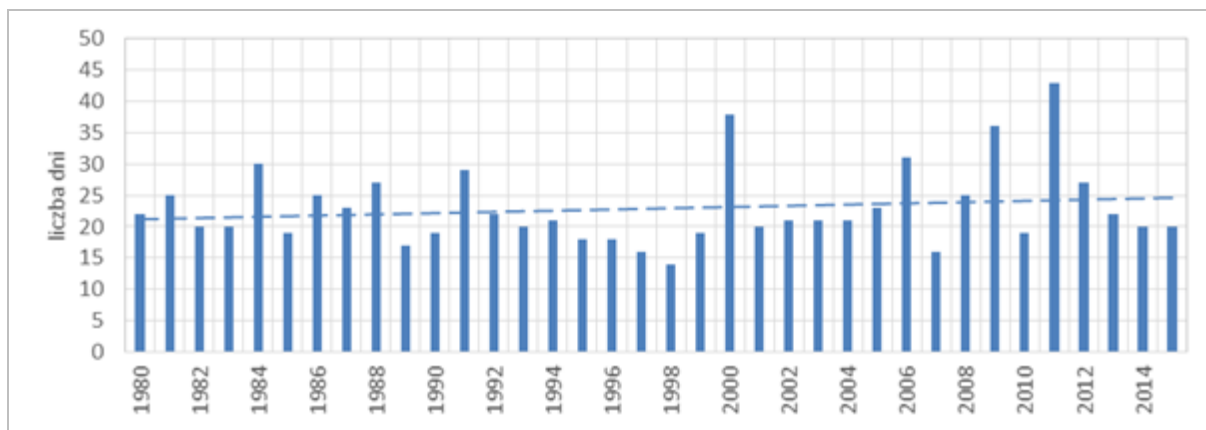
Rys. 18. Liczba dni z opadem  $\geq 1\text{ mm/d}$  w roku. EuroCORDEX

Na podstawie wartości wiązki EuroCORDEX liczby dni z opadem  $\geq 1\text{ mm/d}$  w roku można stwierdzić, iż występuje trend do lekkiego wzrostu ich ilości na przestrzeni rozważanego okresu i w odniesieniu do obu scenariuszy (Rys. 18). Wartości wiązki EuroCORDEX są do siebie zbliżone i zmieniają się od średnio 103,6 dnia w dziesięcioleciu 2006-2015 do średnio 104,8 dnia w dziesięcioleciu 2026-2035 i do średnio 107,0 dnia w dziesięcioleciu 2046-2055. Wartość indeksu obliczona na podstawie wyników EuroCORDEX dla klimatu bieżącego jest nieco niższa do wartości uzyskanych na podstawie obserwacji.

Prognozowany jest wzrost liczby dni z opadem  $\geq 1\text{ mm/d}$  w roku, zwłaszcza dla scenariusza RCP8.5.

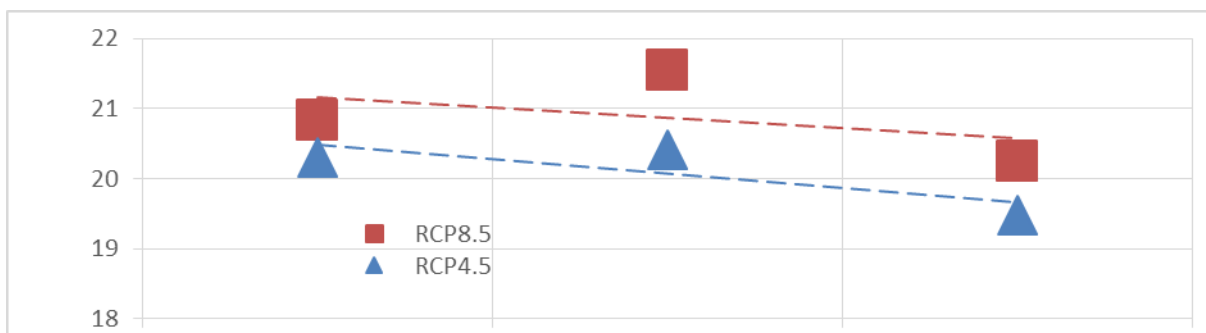
## 7. Długotrwałe okresy bezopadowe

Przeciwnym w stosunku do opadów zjawiskiem meteorologicznym są okresy bezopadowe. Te z kolei prowadzą do wielu niekorzystnych zjawisk przyrodniczych, wynikających z braku wody.



Rys. 19. Najdłuższy okres bezopadowy (liczba dni) w roku dla wielolecia 1980 – 2015

Powoli nasila się zjawisko przedłużania się okresów bezopadowych. Dokonuje się to z prędkością około 1 dnia na dziesięciolecie (Rys.19). Długość okresów bezopadowych jest mocno zróżnicowana w wieloleciu i zmienia się od okresu 14-dniowego w roku 1998 do okresu o długości 43 dni w roku 2011.



Rys. 20. Najdłuższy okres bez opadu (opad < 1mm/d) w roku. EuroCORDEX

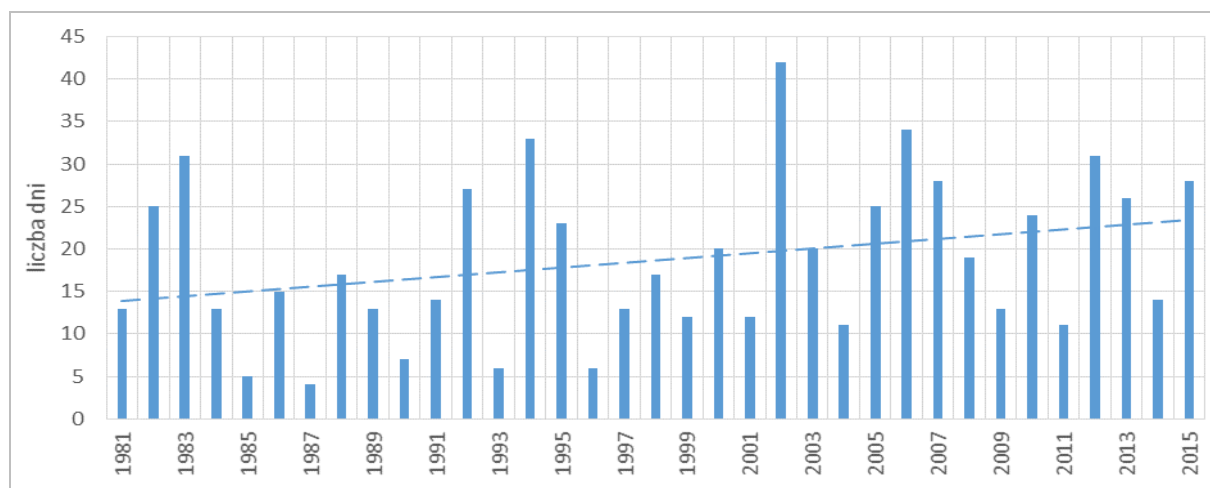
W przypadku najdłuższego okresu bez opadu w roku wyniki wiązki EuroCORDEX wskazują na wystąpienie stabilizacji (Rys. 20). Długość okresu oceniona na podstawie uśrednienia z obu scenariuszy oraz obserwacji zmienia się od 20,8 dnia w dziesięcioleciu 2006-2015 poprzez średnio 21,0 dnia w okresie 2026-2035 do średnio 19,9 dnia w dziesięcioleciu 2046-2055. Wartość indeksu obliczona na podstawie wyników wiązki EuroCORDEX dla klimatu bieżącego jest wyższa od obserwowanej o 5,8 dnia.

Prognozowana długość najdłuższego okresu bezopadowego nie wykazuje znaczących zmian w horyzoncie do roku 2050.

Innym, groźnym przyrodniczo zjawiskiem jest połączenie okresów bezopadowych z wysoką temperaturą powietrza. Prowadzi ono często do zniszczenia upraw a nasilając się, powodować może powolne stepowanie użytków rolnych.

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

Liczba dni gorących z temperaturą maksymalną większą od 25°C ( $T_{max} > 25^{\circ}\text{C}$ ) i bez opadu przez 3 lub więcej kolejnych dni wzrasta w tempie około 2,8 dnia w ciągu dekady (Rys. 21). Najmniej takich dni było w roku 1987 (4 dni) natomiast najwięcej ich było w roku 2002 (42 dni).

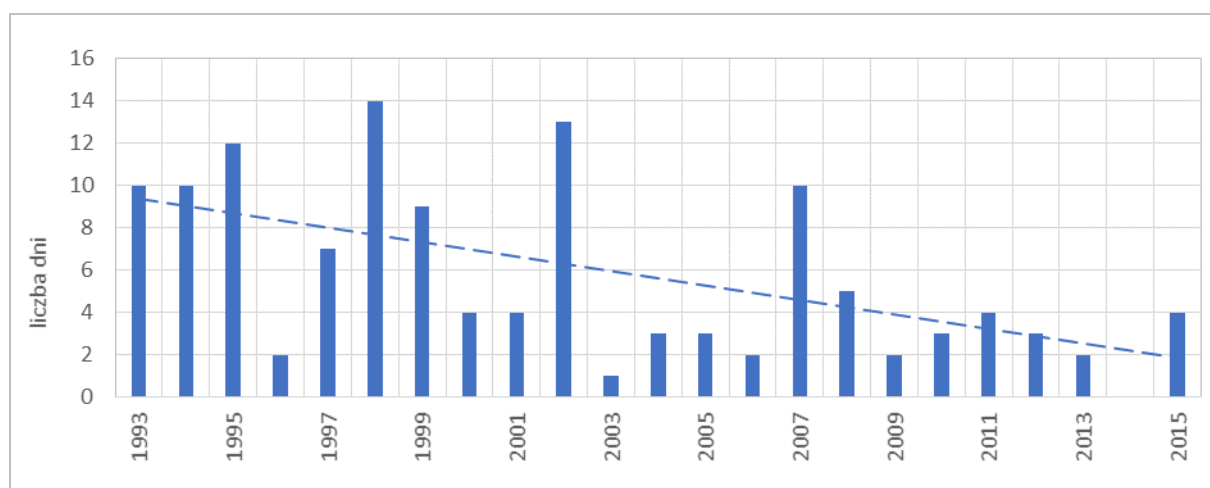


Rys. 21. Liczba dni z temperaturą maksymalną większą niż 25°C ( $T_{max} > 25^{\circ}\text{C}$ ) i bez opadu przez 3 lub więcej kolejnych dni

## 8. Warunki anemometryczne miasta – silny i bardzo silny wiatr oraz burze

Wiatr obok temperatury i opadów jest kolejnym czynnikiem meteorologicznym mającym zasadniczy wpływ na funkcjonowanie organizmów miejskich. W opracowaniu przyjęto jako próg wiatru bardzo silnego prędkość 17m/s. Jest to prędkość odpowiadająca 7/8 stopniowi skali Beauforta (bardzo silny wiatr/sztorm).

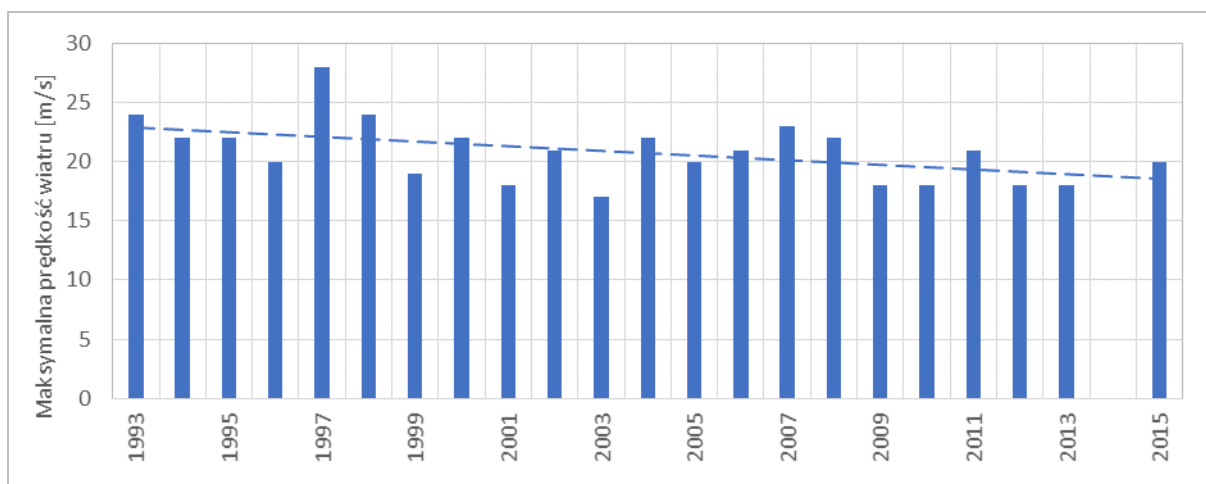
W Kielcach występuje duża zmienność liczby dni, kiedy wiatr przekracza w porywach prędkość 17m/s (Rys. 22).



Rys. 22. Liczba dni z porywem  $\geq 17$  m/s

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

Najmniej takich dni było w roku 2003 (1dzień). Najobfitszy po tym względem był rok 1998, kiedy było aż 14 dni z takimi porywami. Analizując dane pomiarowe można stwierdzić, że w wieloleciu nastąpił spadek liczby dni z porywami o około 3,4 dnia w ciągu dekady.

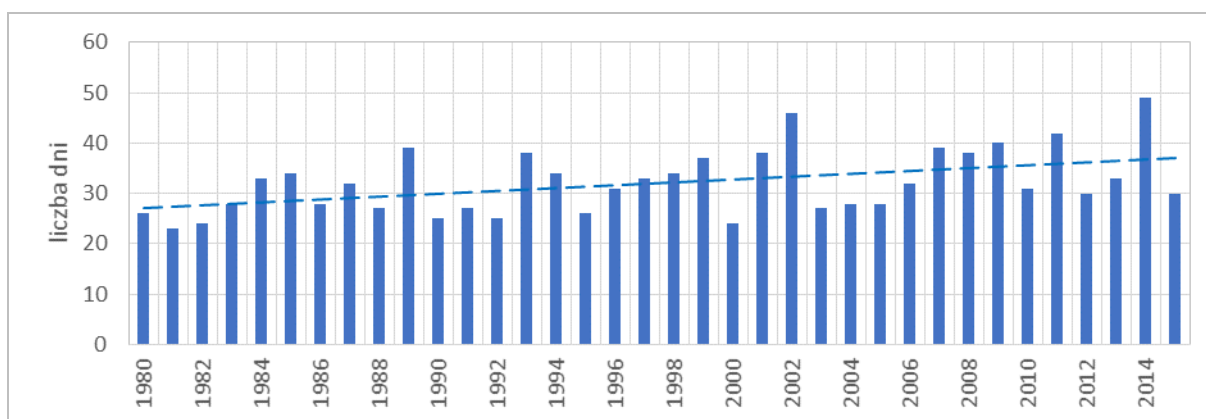


Rys. 23. Maksymalne porywy wiatru

Nastąpił również spadek maksymalnej prędkości wiatru w porywach o około 2 m/s w ciągu dziesięciolecia (Rys. 23). Najłabsze porywy wiatru (17m/s) notowano w roku 2003 a najsilniejsze (28 m/s) w roku 1997.

Innym, obok porywów wiatru, zjawiskiem ekstremalnym mogącym powodować znaczne szkody w gospodarce miejskiej są burze.

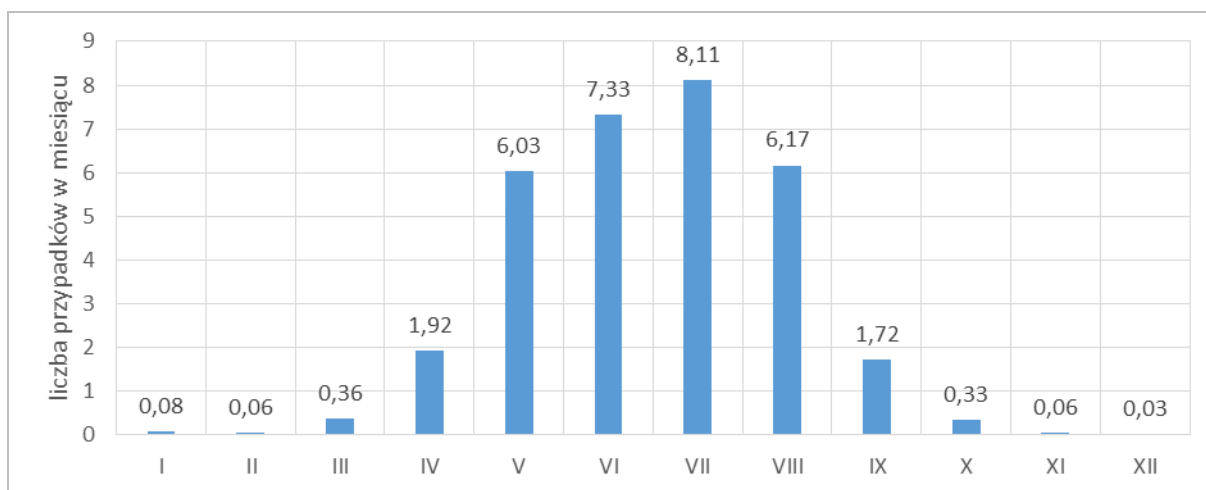
W Kielcach liczba dni z burzą wzrosła średnio w ciągu dziesięciolecia prawie 3 dni (Rys. 24).



Rys. 24. Liczba dni z burzą w roku dla wielolecia 1980 - 2015

Największe ilości burz w wieloleciu (Rys. 24) zaobserwowano w roku 2002 (46 dni) oraz 2014 (49 dni) a najmniej w roku 1981 (23 dni).

Najwięcej dni z burzami (Rys.25) występuje średnio w wieloleciu w lipcu (8,11 dnia) a najmniej w grudniu (0,03 dnia).



Rys. 25. Średnia miesięczna liczba burz w wieloletniu 1980 - 2015

Różnie też wygląda intensywność pojawiania się burz w różnych miesiącach roku. Najintensywniejszy wzrost liczby dni z burzami zaobserwowano w lipcu (1,6 dnia w dziesięcioleciu) a spadek we wrześniu (0,2 dnia w dziesięcioleciu).

## 9. Koncentracje zanieczyszczeń powietrza – stężenie pyłu zawieszonego PM10 w powietrzu

Pył zawieszony PM10 to frakcja pyłu o ziarnach o średnicy zastępczej 10 $\mu$ m. Jest to zanieczyszczenie brane pod uwagę przy klasyfikacji stref podczas oceny jakości powietrza dla kryterium ochrony zdrowia.

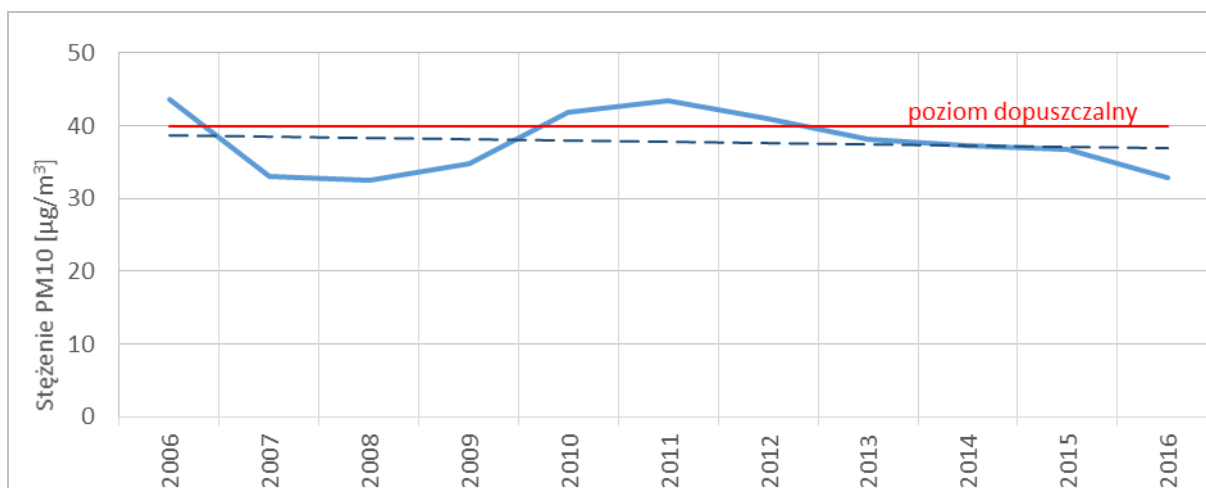
Stężenie pyłu PM10 normowane jest Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz.U. poz.1031 z dnia 18.09.2012r.).

Zgodnie z tym Rozporządzeniem poziom dopuszczalny dla wartości średniej rocznej pyłu zawieszonego PM10 ustalony został na 40 $\mu$ g/m<sup>3</sup>.

W Kielcach pomiary stężenia pyłu PM10 prowadzone są na stacji tła miejskiego, administrowanej przez Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Kielcach, położonej przy ul. Jagiellońskiej. Otoczenie stacji stanowią: luźna zabudowa mieszkaniowa wielorodzinna oraz obiekty handlowo-usługowe, szkoły itp. Obszar ma charakter mieszkaniowy i handlowo-usługowy.

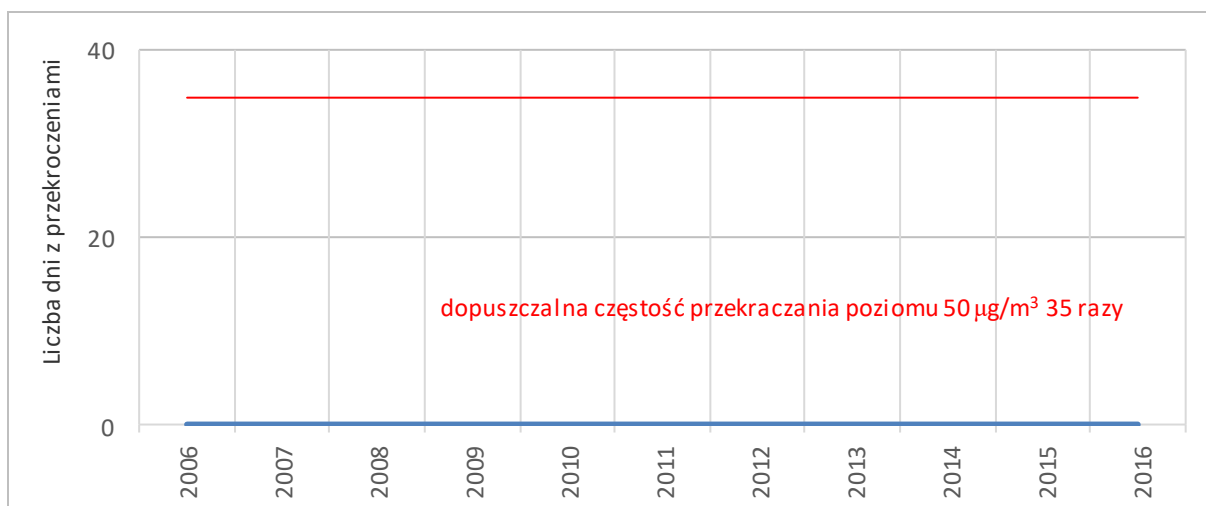
Pomiary prowadzone są od roku 2006. W tym okresie wartość dopuszczalną stężenia PM10 przekroczone w latach 2006, 2010 – 2012 (Rys. 26). W pozostałych latach wartości średnioroczne były poniżej poziomu dopuszczalnego. Tendencja zmian stężenia pyłu jest ujemna i wynosi około 1,7 $\mu$ g/m<sup>3</sup> w ciągu dekady. Najmniejsze stężenie średnioroczne zmierzono w roku 2008 i wyniosło ono 32,5 $\mu$ g/m<sup>3</sup> natomiast największe w roku 2006 wyniosło 43,7  $\mu$ g/m<sup>3</sup>. Średni trend stężenia jest ujemny i wynosi około 1,7 $\mu$ g/m<sup>3</sup> w ciągu dziesięciolecia. Od roku 2013 wartości stężeń średniorocznych układają się poniżej poziomu dopuszczalnego.

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



Rys. 26. Stężenie średnie roczne pyłu zawieszonego PM10 na stacji przy ul. Jagiellońskiej dla wielolecia 2006 - 2016

Drugą wartością kryterialną przy ocenie jakości powietrza w strefach ze względu na zdrowie ludzkie jest stężenie 24-godzinne, dla którego poziom dopuszczalny wynosi  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$  z dodatkowym warunkiem, że dopuszczalna częstość przekraczania poziomu dopuszczalnego w roku kalendarzowym nie może być większa niż 35 razy. Ta częstość dopuszczalna na stacji przy ul. Jagiellońskiej była przekraczana każdego roku od roku 2006 do roku 2016 (Rys.27). Najmniejsza liczba dni z przekroczeniami – 42 dni – wystąpiła w roku 2007 natomiast największa – 103 dni – w roku 2011. Średni trend liczby dni z przekroczeniami jest ujemny i wynosi około 5,4 dnia w ciągu dekady.

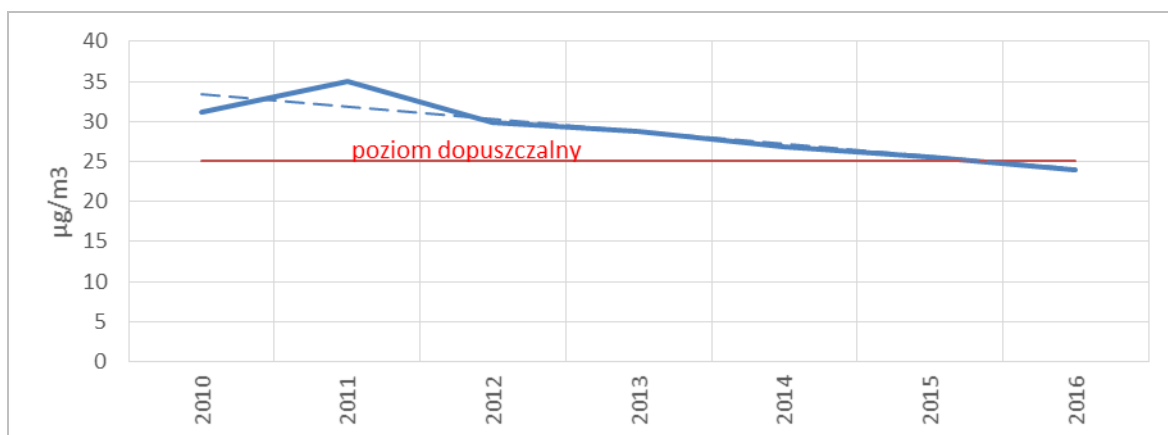


Rys. 27. Liczba dni ze średnim dobowym stężeniem PM10 powyżej  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$  na stacji przy ul. Jagiellońskiej dla wielolecia 2006 – 2016



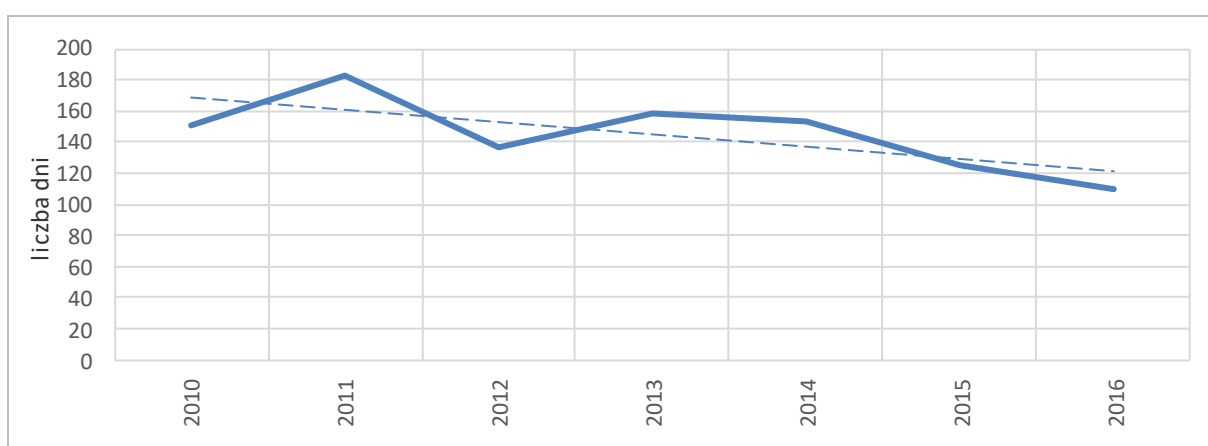
## 10. Koncentracje zanieczyszczeń powietrza – stężenie pyłu zawieszonego PM<sub>2,5</sub> w powietrzu

Pył PM<sub>2,5</sub> – druga, drobniejsza frakcja pyłu zawieszonego jest groźniejsza dla zdrowia ludzkiego niż pył PM<sub>10</sub>. Stężenie tego pyłu jest również normowane w/w Rozporządzeniem Ministra Środowiska. Poziom dopuszczalny dla wartości średniorocznej wynosi obecnie 25µg/m<sup>3</sup>. Pomiary stężenia pyłu prowadzone są od roku 2010 również na stacji przy ul. Jagiellońskiej.



Rys. 28. Stężenie średnie roczne pyłu zawieszonego PM<sub>2,5</sub> na stacji przy ul. Jagiellońskiej dla wielolecia 2010 - 2016

Na rysunku 28 pokazano przebieg tych stężeń w kolejnych latach. Najniższe stężenie pyłu – 23,9µg/m<sup>3</sup> zmierzono w roku 2016. Jest to jedyny rok, kiedy nie przekroczony został poziom dopuszczalny. Największe stężenie pyłu zmierzono w roku 2011 i wyniosło ono 35µg/m<sup>3</sup>. Średnie stężenie pyłu, zgodnie z trendem, spada z prędkością około 8µg/m<sup>3</sup> w ciągu dziesięciolecia.



Rys. 29. Liczba dni ze stężeniami pyłu zawieszonego PM<sub>2,5</sub> większymi niż 25µg/m<sup>3</sup> na stacji przy ul. Jagiellońskiej dla wielolecia 2010 - 2016

Na rysunku 29 pokazano liczbę dni z przekroczeniami poziomu dopuszczalnego w kolejnych latach. Nie jest to dotychczas parametr normowany, lecz warto zauważyć, że najmniejsza liczba dni z przekroczeniami (rok 2016) wyniosła 110 natomiast najwyższa w roku 2011 aż 183 dni, co stanowi połowę dni w roku. Wygląda jednak, że tendencja liczby dni z przekroczeniami jest spadkowa i wynosi aż około 79 dni w ciągu dziesięciolecia.

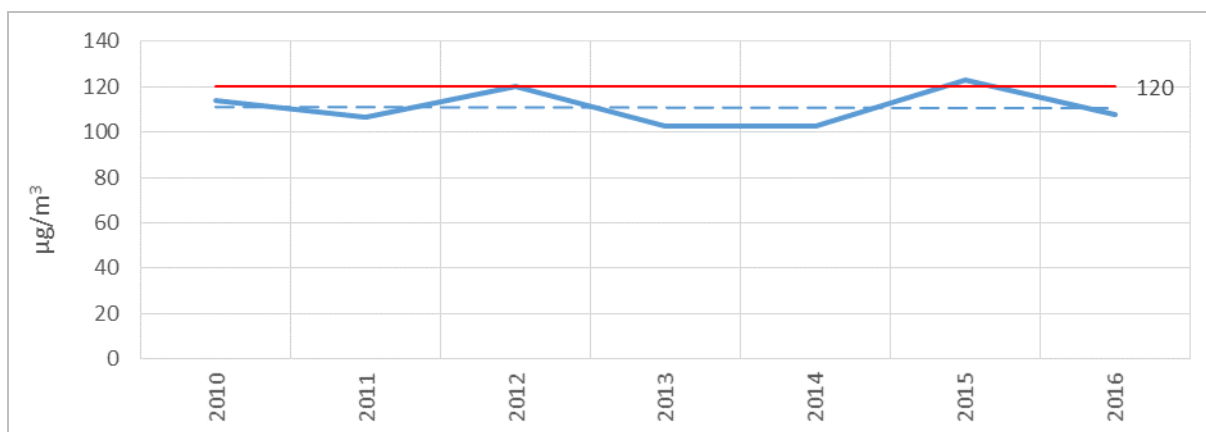
## 11. Koncentracje zanieczyszczeń powietrza – stężenie ozonu troposferycznego O<sub>3</sub> w powietrzu

Ozon troposferyczny (przyziemny) jest zanieczyszczeniem normowane w/w Rozporządzeniem Ministra Środowiska. Jest zanieczyszczeniem, które oddziałuje równie mocno na zdrowie ludzkie jak również na przyrodę (szczególnie florę). Źródłem ozonu przyziemnego są przemiany fizykochemiczne zachodzące w dolnej warstwie troposfery w wyniku oddziaływania tlenków azotu i węglowodorów, których źródłem są – szczególnie w mieście – samochody oraz w sprzyjających warunkach spływ z górnych warstw atmosfery (z ozonosfery) w przypadku silnych układów antycyklonalnych (wyżowych).

Dla kryterium ochrony zdrowia jako poziom docelowy przyjmuje się stężenie ośmiogodzinne maksymalne w dobie pomiarowej oraz częstość przekroczeń tego poziomu. Poziom docelowy stężenia 8-godzinnego wynosi  $120\mu\text{g}/\text{m}^3$  a częstość przekroczeń nie może być większa niż 25 dni.

Dla kryterium ochrony roślin jako wielkość kryterialną przyjęto wskaźnik AOT40 (Accumulated Ozone exposure over a Threshold of 40ppb ( $=80\mu\text{g}/\text{m}^3$ )) który oznacza sumę różnic pomiędzy stężeniem średnim jednogodzinnym wyrażonym w  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  a wartością  $80\mu\text{g}/\text{m}^3$ , dla każdej godziny w ciągu doby pomiędzy godziną 8.00 a 20.00 czasu środkowoeuropejskiego CET, dla której stężenie jest większe niż  $80\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Wskaźnik AOT40 liczony jest w okresie wegetacyjnym od 1 maja do 31 lipca jako wartość uśredniona z kolejnych pięciu lat.

Maksymalne średnie 8-godzinne stężenie ozonu troposferycznego na stacji przekroczone zostało jedynie w roku 2015 i wyniosło  $123,3\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Rys. 30). W pozostałych latach stężenie nie przekroczyło ani razu poziomu docelowego. Najniższa wartość stężenia wyniosła w roku 2013  $102,4\mu\text{g}/\text{m}^3$ . W okresie siedmiu lat pomiarów średni trend jest ujemny lecz wartość jego jest bardzo mała – około  $1\mu\text{g}/\text{m}^3$  w ciągu dziesięciolecia.



Rys. 30. Maksymalne średnie 8-godzinne stężenie ozonu troposferycznego na stacji przy ul. Jagiellońskiej dla wielolecia 2010 - 2016

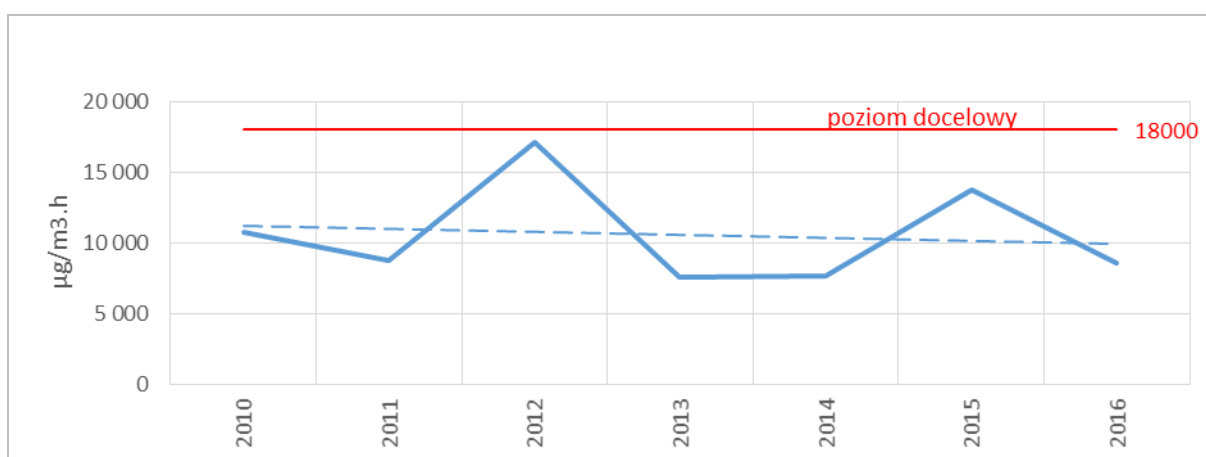
OPRACOWANIE PLANÓW ADAPTACJI DO ZMIAN KLIMATU W MIASTACH POWYŻEJ 100 TYS. MIESZKAŃCÓW

Również dopuszczalna częstość przekroczeń poziomu dopuszczalnego przekroczona została jedynie w roku 2015 i wyniosła 26 dni (Rys. 31). Najniższa wartość tego wskaźnika wyniosła w roku 2011 2 dni. Niestety na skutek przekroczenia dopuszczalnej częstości w roku 2015 trend zmian jest dodatni i wynosi około 8,5 dnia na dziesięciolecie.



Rys. 31. Liczba dni z maksymalnym 8-godzinny stężeniem ozonu troposferycznego na stacji przy ul. Jagiellońskiej dla wielolecia 2010 - 2016

Wskaźnik AOT40 dla lat 2010 – 2016, pokazany na rysunku 32 nie jest wprawdzie wykorzystywany na terenie miasta, gdyż jest wskaźnikiem do oceny jakości powietrza dla kryterium ochrony roślin na terenach pozamiejskich, ale warto na niego spojrzeć w kontekście zachowania miejskich terenów zielonych. Wartość tego wskaźnika nie przekroczyła w żadnym roku poziomu docelowego 18000. Najniższą wartość – 7579,8  $\mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$  – osiągnął w roku 2013 a najwyższą – 17137,7  $\mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$  w roku 2012 z lekko ujemną tendencją zmian na poziomie 2127  $\mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$  w ciągu dziesięciolecia.



Rys. 32. Wskaźnik AOT40 w latach 2010 - 2016