Wczujmy się w klimat!

www.44mpa.pl

Załącznik 2

Opis głównych zagrożeń klimatycznych i ich pochodnych dla miasta

Załącznik 2. Opis głównych zagrożeń klimatycznych i ich pochodnych dla miasta

1. Definicje

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

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

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

2. Główne zagrożenia klimatyczne i ich pochodne

Klimat Legnicy jest ściśle związany z klimatem Europy i Polski. Położenie miasta w strefie umiarkowanych szerokości geograficznych w typie klimatu przejściowego powoduje dużą zmienność warunków pogodowych, które kształtowane są przez napływ mas powietrza o zróżnicowanych właściwościach termiczno-wilgotnościowych. Położenie geograficzne Legnicy na Nizinie Śląsko-Łużyckiej, na przedpolu Sudetów przyczynia się do jej uprzywilejowania termicznego. Jest to efekt dynamicznego ogrzewania się mas powietrza osiadających po zawietrznej stronie masywu górskiego Sudetów, występuje wtedy wiatr fenowy. Zjawiska fenowe na przedpolu Sudetów występują przeciętnie w ciągu 71 dni w roku (Kwiatkowski 1975).

Podobnie jak w innych obszarach zurbanizowanych, na obszarze Legnicy obserwowana jest lokalna modyfikacja klimatu, która spowodowana jest przez zmianę właściwości fizycznych powierzchni czynnej, związana ze sposobem zagospodarowania i użytkowania terenów miejskich. Zmiana właściwości powierzchni czynnej (z powierzchni naturalnych na sztuczne) wpływa na zmianę bilansu promieniowania i bilansu cieplnego oraz bilansu wodnego powodując modyfikację temperatury powietrza, opadów, zachmurzenia oraz przepływu powietrza pomiędzy miastem a obszarem pozamiejskim.

Podstawą opracowania były dane pomiarowe ze stacji meteorologicznej IMGW-PIB w Legnicy z wielolecia 1981-2015. Stacja meteorologiczna IMGW-PIB w Legnicy zlokalizowana jest przy ul. Bartoszowskej (51˚11'33"N; 16˚12'28"E). Stacja meteorologiczna w Legnicy do dnia 19.12.2014 roku była stacją meteorologiczną I rzędu z pełnym zakresem pomiarów i obserwacji. Obecnie jest automatyczną stacją synoptyczną (stacja II rzędu), zakres pomiarowy nie obejmuje obserwacji wizualnych zjawisk atmosferycznych. Pomiary meteorologiczne wykonywane na stacji charakteryzują warunki klimatyczne regionu, w którym położona jest Legnica.

Przyszłe warunki klimatyczne dla regionu Legnicy określono na podstawie scenariuszy koncentracji gazów cieplarnianych RCP4.5 oraz RCP8.5. Oszacowania są oparte na wiązce symulacji z regionalnych modeli klimatycznych dla różnych warunków brzegowych i początkowych z modeli globalnych, wyniki symulacji klimatycznych pochodzą z bazy projektu EURO-CORDEX. Wartości

określają średnie warunki dla trzech dekad: 2006-2015, 2026-2035 oraz 2046-2055, oznaczone jako 2010, 2030 i 2050.

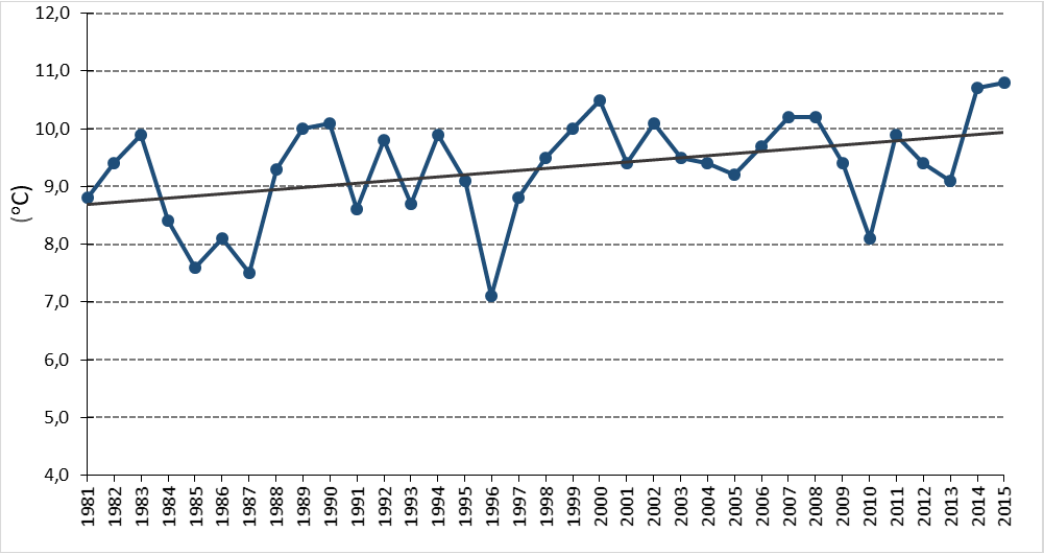
2.1. Zagrożenia termiczne

Zagrożenia termiczne w Legnicy opisano następującymi wskaźnikami:

- średnia roczna temperatura powietrza,
- temperatura maksymalna powietrza (98 percentyl),
- dni gorące tj. z temperaturą maksymalną powietrza powyżej 25°C,
- dni upalne tj. z temperaturą maksymalną powietrza powyżej 30°C,
- fale upałów – okres ≥3 dni z maksymalną temperaturą powietrza powyżej 30°C,
- temperatura minimalna powietrza (2 percentyl),
- dni mroźne tj. z maksymalną temperaturą powietrza poniżej 0°C,
- dni bardzo mroźne tj. z minimalną temperaturą powietrza poniżej -10°C,
- fale chłodu (zimna) – okres ≥3 dni z temperaturą minimalną poniżej -10°C,
- dni z przejściem temperatury powietrza przez 0°C (dni przymrozkowe),
- stopniodni<17 (stopniodni grzania),
- stopniodni>27 (stopniodni chłodzenia),
- międzydobowa zmiana temperatury powietrza,
- miejska wyspa ciepła.

• Średnia temperatura powietrza

Średnia roczna temperatura powietrza (1981-2010) w Legnicy wynosi 9,2°C. W analizowanym wieloleciu 1981-2015 najchłodniejszy był rok 1996 (7,1°C), a lata najcieplejsze to 2014 i 2015, odpowiednio z temperaturą roczną 10,7°C i 10,8°C. Średnia temperatura roczna w Legnicy wzrasta, trend zmian wyznaczony na podstawie równania regresji liniowej dla całego wielolecia 1981-2015 wynosi 0,37°C/10 lat (rys. 1).



Rysunek 1 Średnia roczna temperatura powietrza w Legnicy (1981-2015) wraz z linią trendu

Temperatura powietrza wzrasta również w wszystkich sezonach roku (zima, wiosna, lato i jesień). Największy wzrost zaznaczył się latem (czerwiec-sierpień) i wynosi 0,55°C /10 lat.

W przebiegu rocznym najcieplejszym miesiącem jest lipiec ze średnią temperaturą powietrza 18,9°C, a najchłodniejszym styczeń -0,3°C. Styczeń jest również jedynym miesiącem w roku, kiedy średnia temperatura powietrza kształtuje się poniżej 0°C. Zakres zmian temperatury powietrza jest największy w miesiącach zimowych. W luty, średnia miesięczna temperatura powietrza wahała się od -9,0°C (1986 rok) do +6,0°C (1990 rok). W najcieplejszym miesiącu roku tj. lipcu zakres zmian miesięcznej temperatury powietrza wynosił od 23,0°C (2006 rok) do 16,2°C (1984 rok).

W horyzoncie czasowym 2030 i 2050 przewidywany jest dalszy wzrost rocznej temperatury powietrza. W przypadku scenariusza RCP8.5 modelowany wzrost jest większy niż dla scenariusza RCP4.5, średnia roczna temperatura powietrza w połowie XXI wieku może wzrosną o +1,2°C względem okresu 2006-2015 (tab. 1).

Tabela 1 Średnie wartości rocznej temperatury powietrza na podstawie wyników symulacji klimatycznych EURO-CORDEX dla dwóch scenariuszy koncentracji gazów cieplarnianych RCP4.5 i RCP8.5

Wskaźnik klimatyczny	Scenariusz	EU11CORDEX 2006-2015	EU11CORDEX 2026-2035	EU11CORDEX 2046-2055
		2010	2030	2050
Średnia roczna temperatura powietrza (°C)	RCP4.5	9,8	10,2	10,6
	RCP8.5	9,8	10,2	10,9

- ## Temperatura maksymalna (T_{max})

Średnia roczna temperatura maksymalna wynosi w Legnicy 13,8°C (1981-2010). W miesiącach zimowych (grudzień-luty) najwyższe wartości dobowe temperatury maksymalnej mogą przekraczać 16°C. Średnia maksymalna temperatura roczna wzrasta, trend zmian wyznaczony na podstawie równania regresji liniowej dla całego wielolecia 1981-2015 wynosi 0,43°C/10 lat, wzrastają również wartości 98 percentyla temperatury maksymalnej.

Wartość temperatury maksymalnej wyznaczona przez 98 percentyl dla sezonu letniego wynosi 32,4°C. Najwyższa (absolutna) wartość temperatury maksymalnej zmierzona w wieloleciu 1981-2015 w Legnicy wynosi 38,4°C, została zanotowana w dniu 8 sierpnia 2015 roku.

Scenariusze przewidują również dalszy wzrost wartości temperatury maksymalnej powietrza. Wartość 98% percentyla temperatury maksymalnej może być wyższa o około 0,7-0,8°C w horyzoncie 2050 roku względem okresu 2006-2015 (tab. 2).

Tabela 2 Wartości 98 percentyla maksymalnej temperatury powietrza na podstawie wyników symulacji klimatycznych EURO-CORDEX dla dwóch scenariuszy koncentracji gazów cieplarnianych RCP4.5 i RCP8.5

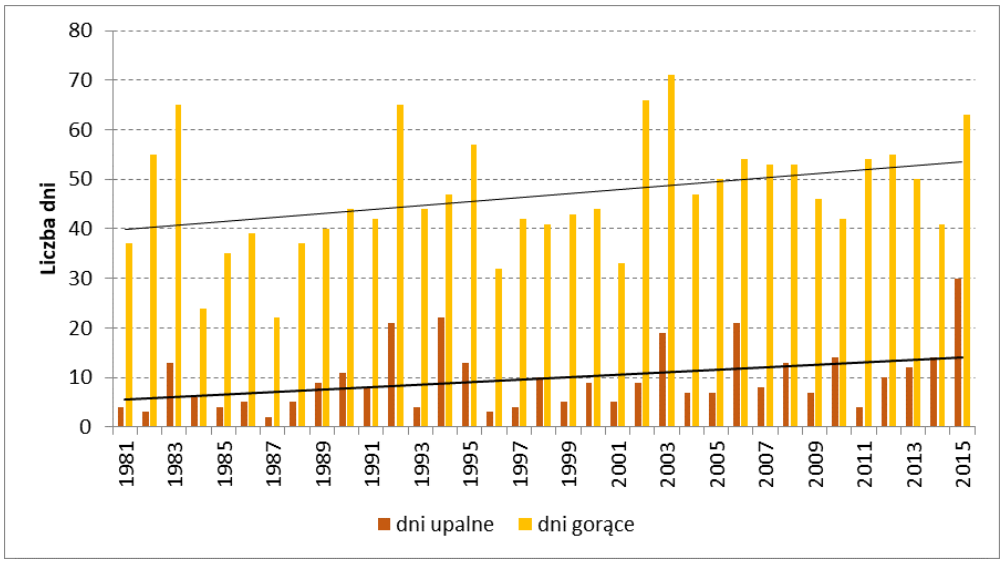
Wskaźnik klimatyczny	Scenariusz	EU11CORDEX 2006-2015	EU11CORDEX 2026-2035	EU11CORDEX 2046-2055
		2010	2030	2050
Percentyl 98 % temperatury maksymalnej dobowej (°C) w roku	RCP4.5	31,0	31,4	31,7
	RCP8.5	31,1	31,3	31,9

- ## Dni gorące (T_{max}>25°C), upalne (T_{max}>30°C) i fale upałów

W Legnicy dni gorące (T_{max}>25°C) występują średnio 46 razy w roku. Dni gorące mogą występować od kwietnia do października, z maksimum częstości w lipcu i sierpniu (średnio 15 dni gorących).

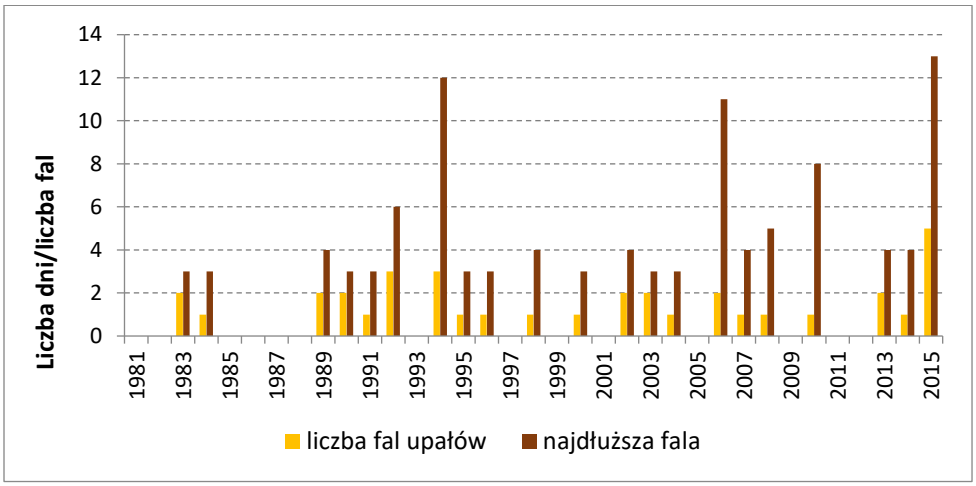
Pierwszy dzień gorący najwcześniej pojawił się 18 kwietnia (2003 rok), a ostatni najpóźniej wystąpił 22 października (1989 rok). Liczba dni gorących w poszczególnych latach wahała się od 22 dni (1987 rok) do 71 dni w roku 2003 (rys. 2). W wieloleciu 1981-2015 liczba dni gorących wzrastała o ok. 4 dni na 10 lat, wzrost istotny statystycznie na poziomie 5%.

Dni upalne (T_{max}>30°C) w Legnicy pojawiają się średnio 9 razy w roku. Mogą występować od maja do września, z maksimum częstości w lipcu (średnio ok. 6 dni upalnych). Najwcześniej pierwszy dzień upalny pojawił się 6 maja (2003 rok), a najpóźniej wystąpił 21 września również w roku 2003. Liczba dni upalnych w poszczególnych latach znacznie się różniła, od 2 do 30 dni. Tylko 2 dni upalne notowano w roku 1987 i po 3 dni w latach 1982 i 1996, a największą ich liczbą wyróżniło się zdecydowanie gorące lato 2015 roku (30 dni), w drugim pod względem liczebności dni upalnych roku 1994 zanotowano 22 takie dni. W wieloleciu 1981-2015 liczba dni upalnych zwiększała się o ok. 2,5 dnia na 10 lat, wzrost istotny statystycznie na poziomie 5% (rys. 2).



Rysunek 2 Liczba dni gorących (Tmax>25°C) i upalnych (Tmax>30°C) w Legnicy (1981-2015) wraz z linią trendu

Fale upałów (ciąg przynajmniej 3 dni z temperaturą maksymalną powyżej 30°C) w Legnicy występują od I dekady czerwca do końca sierpnia. W wieloleciu 1981-2015 w Legnicy wystąpiło 36 fal upałów, najczęściej były to okresy 3-dniowe (58% fal). Fale upałów w Legnicy nie występują każdego roku, w latach 80. XX wieku notowano kilkuletnie okresy bez upałów (rys. 3). Najwięcej, aż 5 fal upałów w Legnicy wystąpiło w roku 2015, najdłuższa trwała 13 dni, od 3 do 15 sierpnia. W tym okresie średnia temperatura maksymalna wyniosła 34,0°C, a najwyższa osiągnęła 38,4°C (08.08.2015 rok) i przekroczyła dotychczas notowane maksimum dobowe z roku 1994. W latach: 1992 i 1994 wystąpiły po 3 fale upałów. Podczas 12-dniowej fali upałów od 22 lipca do 2 sierpnia 1994 roku, średnia temperatura maksymalna wyniosła 34,4°C, a najwyższe maksimum dobowe osiągnęło 37,7°C.



Rysunek 3 Liczba fal upałów oraz czas trwania najdłuższej fali (dni) w Legnicy w latach 1981-2015

Scenariusze zmian klimatu w przypadku liczby dni gorących i upalnych przewidują trend wzrostowy. W horyzoncie czasowym 2050 liczba dni gorących może wzrosnąć średnio do 57-61 rocznie, a liczba dni upalnych do 17-18 rocznie. Natomiast liczba fal upałów może wzrośnie średnio do 4-5 w roku (tab. 3).

Tabela 3 Średnie wartości rocznej liczby dni gorących, upalnych i liczby fal upałów na podstawie wyników symulacji klimatycznych EURO-CORDEX dla dwóch scenariuszy koncentracji gazów cieplarnianych RCP4.5 i RCP8.5

Wskaźnik klimatyczny	Scenariusz	EU11CORDEX 2006-2015	EU11CORDEX 2026-2035	EU11CORDEX 2046-2055
		2010	2030	2050
Liczba dni z temperaturą maksymalną > 25°C w roku	RCP4.5	51,7	54,2	57,3
	RCP8.5	51,8	53,4	60,5
Liczba dni z temperaturą maksymalną > 30°C w roku	RCP4.5	13,8	16,4	17,4
	RCP8.5	13,5	15,3	18,3
Liczba okresów o długości przynajmniej 3 dni z temperaturą maksymalną > 30°C w roku	RCP4.5	4,4	4,6	4,4
	RCP8.5	4,4	4,5	4,6

Dni upalne a zwłaszcza fale upałów niekorzystnie wpływają na organizm człowieka, powodują stres termiczny. Długie okresy z wysoką temperatura powietrza są niekorzystne zwłaszcza dla osób starszych i z chorobami układu krążenia. Podczas fal upałów wzrasta umieralność związana z chorobami układu sercowo-naczyniowego i oddechowego, wzrasta też liczba zdarzeń na drogach i wypadków przy pracy. W miastach fale upałów są bardziej uciążliwe i obciążające dla mieszkańców ze względu na zjawisko miejskiej wyspy ciepła (Kozłowska-Szczęsna i in., 2004, Błażejczyk i in., 2014, Kuchcik, 2013).

- Temperatura minimalna (T_{min})

Średnia roczna temperatura minimalna wynosi w Legnicy 4,7°C (1981-2010). Najniższe wartości temperatury minimalnej są dodatnie tylko w miesiącach letnich (czerwiec-sierpień), w pozostałych miesiącach roku temperatura powietrza może spadać poniżej 0°C. Średnia minimalna temperatura

roczna wzrasta, trend zmian wyznaczony na podstawie równania regresji liniowej dla wielolecia 1981-2015 wynosi 0,32°C/10 lat, wzrastają również wartości 2 percentyla temperatury minimalnej, ale stwierdzona tendencja zmian jest nieistotna statystycznie.

Wartość temperatury minimalnej powietrza w sezonie zimowym wyznaczona przez 2 percentyl wynosi -14,7°C. Najniższa (absolutna) wartość temperatury minimalnej zmierzona w wieloleciu 1981-2015 w Legnicy wynosi -27,7°C, została zanotowana w dniu 8 stycznia 1985 roku.

Tabela 4 Wartości 2 percentyla minimalnej temperatury powietrza na podstawie wyników symulacji klimatycznych EURO-CORDEX dla dwóch scenariuszy koncentracji gazów cieplarnianych RCP4.5 i RCP8.5

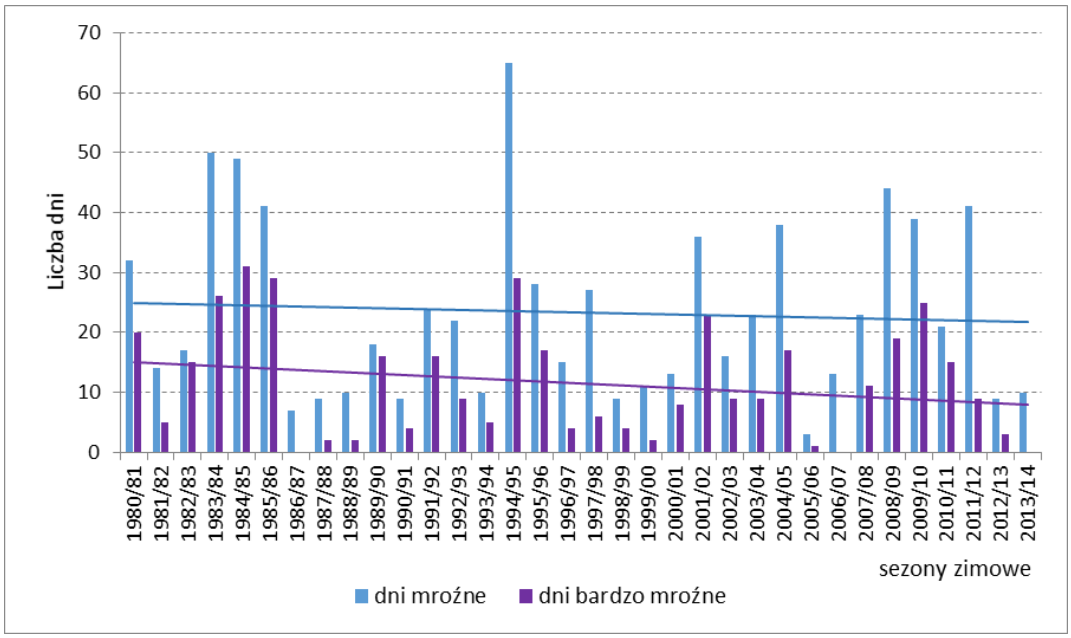
Wskaźnik klimatyczny	Scenariusz	EU11CORDEX 2006-2015	EU11CORDEX 2026-2035	EU11CORDEX 2046-2055
		2010	2030	2050
Percentyl 2 % temperatury minimalnej dobowej (°C) w roku	RCP4.5	-11,0	-9,7	-8,2
	RCP8.5	-10,8	-9,6	-8,2

Scenariusze zmian klimatu przewidują wzrost wartości temperatury minimalnej powietrza. Wartość 2% percentyla temperatury minimalnej będzie wyższa w zależności od scenariusza o około 2,6-2,9°C w horyzoncie 2050 roku względem okresu 2006-2015 (tab. 4).

- Dni mroźne (T_{max}<0°C), bardzo mroźne (T_{min}<-10°C) oraz fale zimna (chłodu)

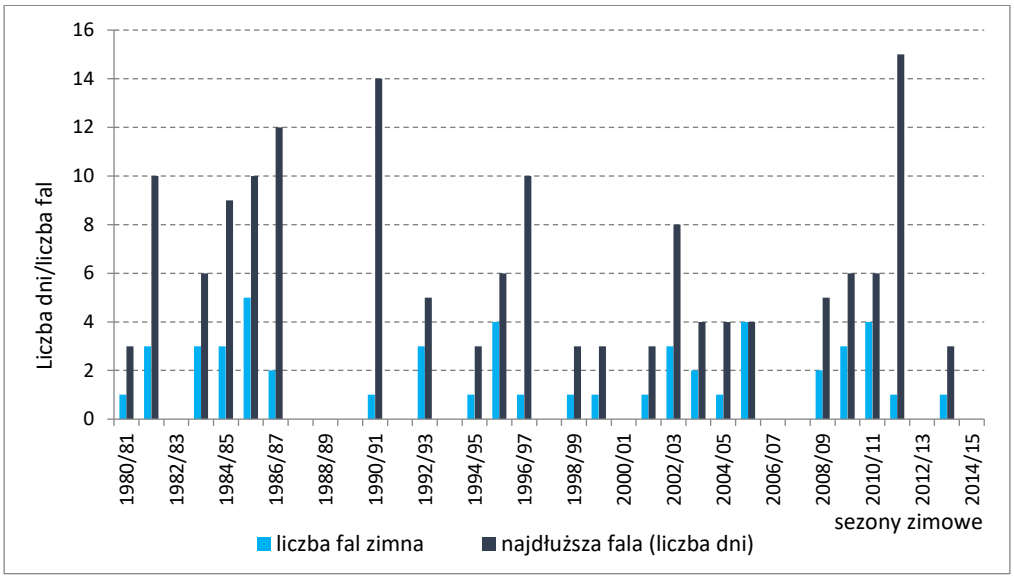
W Legnicy średnio w roku są obserwowane 24 dni mroźne (T_{max}<0°C), które mogą występować od listopada do kwietnia. Najczęściej są notowane w styczniu i lutym, odpowiednio 9 i 8 dni mroźne. W wieloleciu 1981-2015, najwcześniej pierwszy dzień mroźny wystąpił 16 listopada (w 2007 roku), a ostatni najpóźniej 12 kwietnia (1986 roku). Najwięcej dni mroźnych zanotowano w sezonie zimowym 1995/96 – 65 dni, a najmniej w sezonie 2006/07 – tylko 3 dni. W analizowanym wieloleciu w Legnicy liczba dni mroźnych zmniejszała się, trend zmian jest nieistotny statystycznie (rys. 4).

Dni bardzo mroźnych (T_{min}<-10°C) jest średnio w roku 12, mogą występować od listopada do marca z największą frekwencją w styczniu. Najwcześniej pierwszy dzień mroźny wystąpił 20 listopada (w 1993 roku), a ostatni w sezonie, najpóźniej 24 marca (2013 roku). W Legnicy dni bardzo mroźne nie występują w każdym sezonie zimowym, w sezonach 1987/88, 2007/08 i 2014/15 nie były notowane. Najwięcej dni bardzo mroźnych – 31 wystąpiło w sezonie zimowym 1985/86. W analizowanym wieloleciu w Legnicy liczba dni mroźnych zmniejszała się, trend zmian jest nieistotny statystycznie.



Rysunek 4 Liczba dni mroźnych (Tmax<0°C) i bardzo mroźnych (Tmin<-10°C) w Legnicy (1981-2015) wraz z linią trendu

Fale zimna (ciąg przynajmniej 3 dni z temperaturą minimalną powietrza poniżej -10°C) w Legnicy występują od III dekady listopada do I dekady marca. W wieloleciu 1981-2015 w Legnicy wystąpiło 50 fal zimna, połowę (50% fal) stanowiły okresy 3 i 4-dniowe. Fale zimna w Legnicy nie występują w każdym sezonie zimowym, w drugiej połowie lat 80. XX wieku notowano trzy kolejne sezony zimowe bez fal zimna, a w drugiej połowie I dekady XXI wieku wystąpiły dwa kolejne sezony zimowe bez fal zimna (rys. 5). Najwięcej przypadków, aż 5 fal zimna wystąpiło w Legnicy w sezonie zimowym 1985/86. W sezonach 1995/96, 2006/06 i 2010/11 wystąpiły po 4 fale zimna. Najdłuższa fala trwała aż 15 dni, od 30 stycznia do 13 lutego 2012 roku, w tym okresie średnia temperatura minimalna wyniosła -16,4°C, a najniższa spadła do -23,1°C (12.02.2012 rok). Najniższą temperaturę powietrza zanotowano podczas 7-dniowej fali zimna w sezonie 1984/85, którą zanotowano w dniu 8 stycznia 1985 i wyniosła -27,7°C (tab. 4). Pomimo wzrostu temperatury powietrza, który jest obserwowany również w sezonie zimowym, fale chłodu są cechą klimatu umiarkowanego przejściowego, pojawiają się nieregularnie i charakteryzują się dużą zmiennością czasową (tj. między poszczególnymi sezonami zimowymi).



Rysunek 5 Liczba fal chłodu (zimna) oraz czas trwania najdłuższej fali (dni) w Legnicy (1981-2015)

Projekcje przewidują dalszy spadek liczby dni mroźnych i bardzo mroźnych oraz fal zimna. Symulacje modelowe wskazują, że liczba dni mroźnych może zmniejszyć się do około 17, dni bardzo mroźnych do ok. 9 rocznie w horyzoncie czasowym 2050 roku. Natomiast frekwencja fal zimna może zmniejszyć się średnio do 1 w sezonie zimowym.

Tabela 5 Średnie wartości rocznej liczby dni mroźnych, bardzo mroźnych i liczby fal zimna na podstawie wyników symulacji klimatycznych EURO-CORDEX dla dwóch scenariuszy koncentracji gazów cieplarnianych RCP4.5 i RCP8.5

Wskaźnik klimatyczny	Scenariusz	EU11CORDEX 2006-2015	EU11CORDEX 2026-2035	EU11CORDEX 2046-2055
		2010	2030	2050
Liczba dni z temperaturą maksymalną < 0°C w roku (dni mroźne)	RCP4.5	24,0	20,8	17,1
	RCP8.5	24,1	22,2	17,5
Liczba dni z temperaturą minimalną < -10°C w roku (dni bardzo mroźne)	RCP4.5	11,6	9,9	8,8
	RCP8.5	10,7	9,2	8,9
Liczba okresów o długości przynajmniej 3 dni z temperaturą minimalną < -10°C w roku (fale zimna)	RCP4.5	1,8	1,6	1,3
	RCP8.5	1,9	1,4	1,1

Długo utrzymująca się niska temperatura ujemna (fale chłodu) jest uciążliwa dla mieszkańców miasta, a stanowi poważne zagrożenie szczególnie dla bezdomnych. Ponadto fale chłodu mogą powodować awarie: magistrali ciepłowniczych, wodociągów czy sieci kanalizacyjnej.

- Dni z przejściem temperatury powietrza przez 0°C (przymrozkowe)

Średnia roczna liczba dni z przejściem temperatury powietrza przez 0°C w ciągu doby tj. T_{min}<0°C a T_{max}>0°C, wynosi w Legnicy 68 dni (1981-2010), a zmienia się w szerokim zakresie od 92 (lata 2001 i 2003) do 46 (2014 rok). W przebiegu rocznym najwięcej dni z przejściem temperatury powietrza przez 0°C występuje od listopada do marca z maksimum w grudniu i marcu tj. średnio ok. 12-13 dni.

Najdłuższy ciąg kolejnych dni z przejściem temperatury powietrza przez 0°C w ciągu doby zanotowano w dniach od 16 listopada do 9 grudnia 1989 roku, trwał 24 dni.

W analizowanym wieloleciu w Legnicy liczba dni przejściem temperatury powietrza przez 0°C zmniejszała się, trend zmian jest nieistotny statystycznie.

Projekcje przewidują również dalszy spadek liczby dni przejściem temperatury powietrza przez 0°C w ciągu doby. Predykcje wskazują, że liczba tych dni może zmniejszyć się w zależności od scenariusza do około 49-53 rocznie w horyzoncie czasowym 2050 roku.

Tabela 6 Średnie wartości rocznej liczby dni z przejściem temperatury powietrza przez 0°C na podstawie wyników symulacji klimatycznych EURO-CORDEX dla dwóch scenariuszy koncentracji gazów cieplarnianych RCP4.5 i RCP8.5

Wskaźnik klimatyczny	Scenariusz	EU11CORDEX 2006-2015	EU11CORDEX 2026-2035	EU11CORDEX 2046-2055
		2010	2030	2050
Liczba dni z przejściem temperatury powietrza przez 0°C w ciągu doby	RCP4.5	61,4	56,7	53,1
	RCP8.5	62,5	57,0	48,8

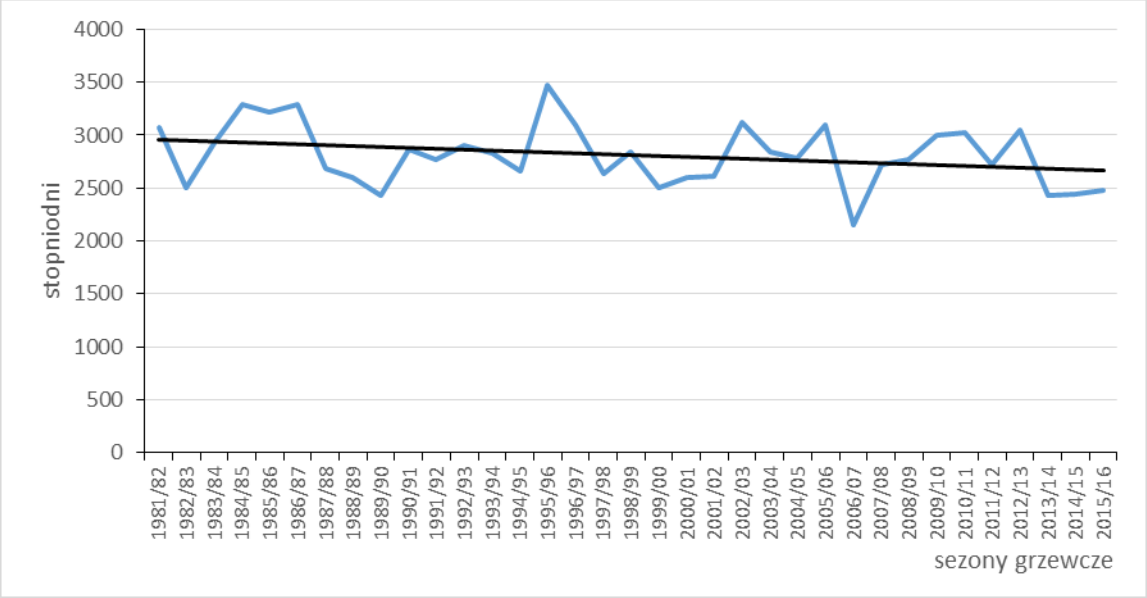
- Międzydobowa zmienność temperatury powietrza

Wielkość zmian temperatury powietrza z dnia na dzień jest wskaźnikiem bioklimatycznym, określa bodźcowość warunków termicznych odczuwalnych przez człowieka. Biorąc pod uwagę bezwzględną wielkość zmian średniej temperatury dobowej wyróżnia się zmiany: obojętne (do 2°C), odczuwalne (2-4°C), znaczne (4-6°C) oraz zmiany ostre (>6°C). W Legnicy średnio w roku jest 8 przypadków zmiany dobowej temperatury powietrza pomiędzy kolejnymi dniami, które przekraczają 6°C, czyli są to zmiany ostre pod względem bodźców termicznych. Tak duże wahania temperatury powietrza (nagłe ochłodzenie lub ocieplenie) są uwarunkowane adwekcjami chłodu lub ciepła [Kożuchowski, 2011]. W analizowanym wieloleciu roczna liczba przypadków międzydobowej zmian temperatury powietrza >6°C wykazuje trend malejący, istotny statystycznie.

- Stopniodni grzania (HDD) i stopniodni chłodzenia (CDD)

W obszarach zurbanizowanych istotne znaczenie mają wskaźniki termiczne, które wskazują warunki, kiedy należy uruchomić systemy ogrzewania lub klimatyzacji. W Europie (według zaleceń EUROSTATU) m.in. do oceny kosztów eksploatacji budynków komunalnych, użyteczności publicznej i mieszkań stosowane są wskaźniki stopniodni: HDD (Heating Degree Days), CDD (Cooling Degree Days).

Wskaźnik stopniodni<17 (ang. HDD) jest sumą odchyleń średniej temperatury dobowej od założonej wartości progowej tj. 17°C. W Legnicy średnia wartość wskaźnika stopniodni<17 dla sezonu od września do kwietnia to 2844 stopniodni, a średnia liczba dni grzewczych wynosi 227. W analizowanym wieloleciu w Legnicy wartości wskaźnika stopniodni<17 dla sezonu grzewczego zmniejszają się, trend zmian jest istotny na poziomie 0,1 (rys. 6). Im mniejsze wartości wskaźnika stopniodni<17 w danym sezonie grzewczym tym mniejsze zapotrzebowanie na energię do ogrzewania pomieszczeń.



Rysunek 6 Wartości wskaźnika stopniodni<17 dla sezonów grzewczych w Legnicy

Przewidywany wzrost temperatury powietrza będzie miał wpływ na wskaźniki charakteryzujące zapotrzebowanie na energię do ogrzania pomieszczeń. Projekcje klimatyczne przewidują stopniowy spadek wartości wskaźnika stopniodni<17°C do około 2660-2560 w zależności od scenariusza w horyzoncie czasowym 2050 roku (tab. 7).

Tabela 7 Średnie wartości wskaźnika stopniodni grzania na podstawie wyników symulacji klimatycznych EURO-CORDEX dla dwóch scenariuszy koncentracji gazów cieplarnianych RCP4.5 i RCP8.5

Wskaźnik klimatyczny	Scenariusz	EU11CORDEX 2006-2015	EU11CORDEX 2026-2035	EU11CORDEX 2046-2055
		2010	2030	2050
Stopniodni < 17 (stopniodni grzania)	RCP4.5	2894	2785	2660
	RCP8.5	2894	2768	2560

Wskaźnik stopniodni>27 (wskaźnik chłodzenia, ang. CDD) wskazuje na zapotrzebowanie na energię do chłodzenia pomieszczeń. W analizowanym wieloleciu w Legnicy wartości wskaźnika stopniodni>27 dla sezonu letniego wzrastają, trend zmian jest istotny na poziomie 0,5.

- Miejska wyspa ciepła (MWC)

MWC to znaczne podwyższenie temperatury powietrza w mieście w stosunku do otaczających je terenów peryferyjnych. Jest to zjawisko lokalne, powszechnie występujące w obszarach miejskich. Powstawanie MWC jest wynikiem [Oke, 1982] m.in.:

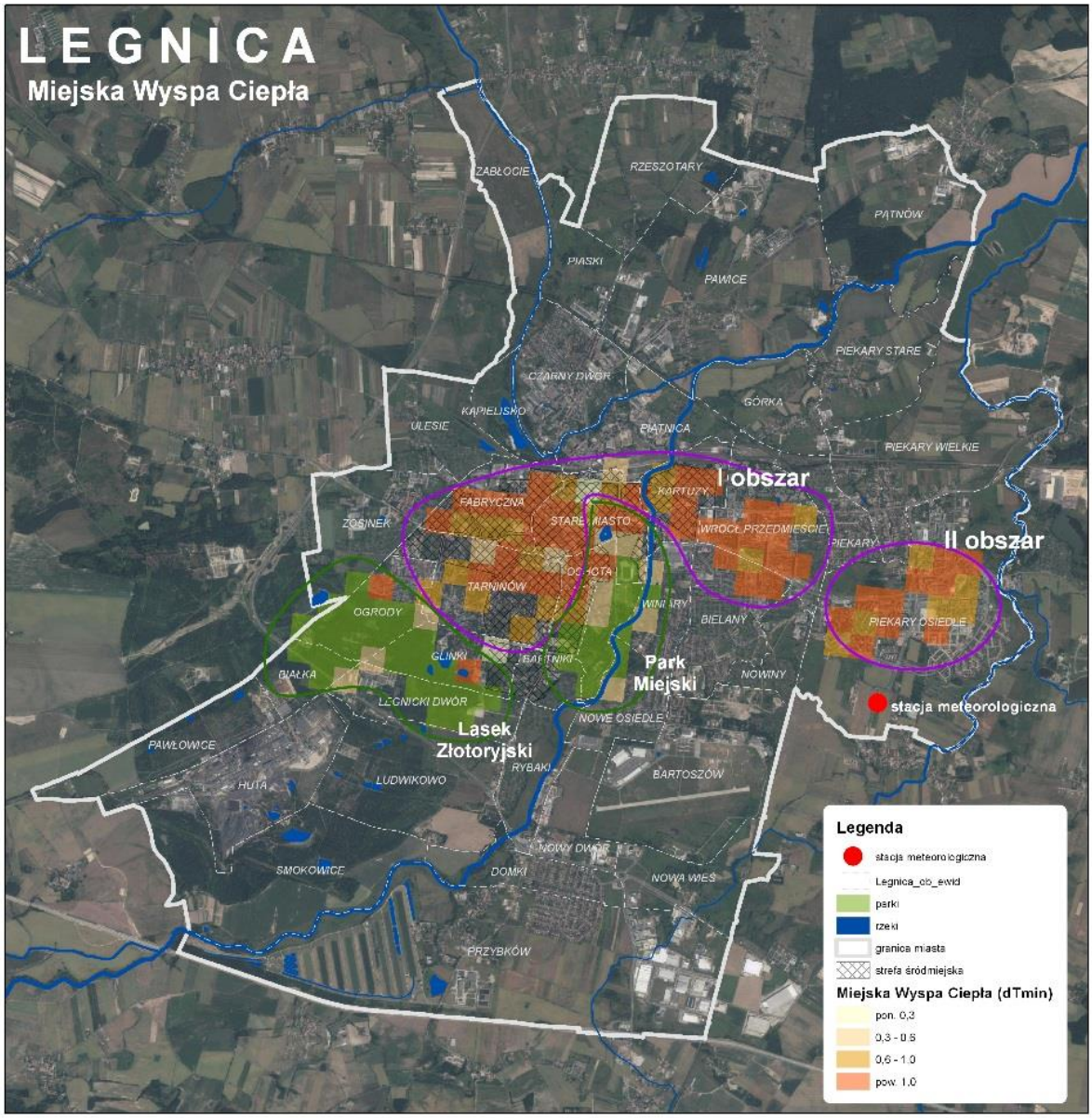
- właściwości fizycznych materiałów pokrywających grunt w mieście, które pochłaniają więcej promieniowania słonecznego niż odbijają; jest to wynikiem mniejszego albedo powierzchni sztucznych takich jak np.: asfalt, beton,
- zmienionej struktury promieniowania długofalowego (cieplnego),
- małego udział powierzchni roślinnych (zielonej infrastruktury),

- geometrii miasta tj. dużego udziału powierzchni pionowych, które silnie pochłaniają promieniowanie słoneczne oraz zmniejszają prędkość wiatru,
- ciepła antropogenicznego tj. produkowanego przez urządzenia grzewcze, klimatyzację, przemysł, samochody itp.
- zwiększonego zanieczyszczenie powietrza w mieście oraz zawartości gazów cieplarnianych emitowanych lokalnie do atmosfery.

Podstawową miarą MWC jest różnica temperatury minimalnej dobowej między miastem a obszarem pozamiejskim. Natomiast różnica między wartościami temperatury średniej dobowej w centrum miasta a obszarem podmiejskim informuje m.in. o stabilność MWC. W badaniach MWC wykorzystuje się naziemne pomiary temperatury powietrza lub obrazy satelitarne. Dane te pozwalają określić zróżnicowanie temperatury powietrza lub temperatury powierzchni promieniującej. Intensywność MWC można oszacować również na podstawie wielkości miasta, gdyż zależy ona od wielkości miasta wyrażonej liczbą mieszkańców oraz typu zagospodarowania terenu w mieście [Kunert i Błażejczyk, 2011].

Aby wyznaczyć zasięg obszarowy MWC w Legnicy wydzielono obszary zabudowy: zwartej i luźnej wysokiej. Kryterium wydzielenia zabudowy zwartej stanowił wskaźnik gęstości zabudowy >60%, a luźnej od 30-60%, jako obszary zabudowy wysokiej przyjęto budynki >3 kondygnacji, które stanowią ponad 50% w danym obszarze zabudowy, następnie wyznaczono liczbę mieszkańców w danym typie zabudowy. Zasięg przestrzenny MWC w Legnicy wyznaczony na podstawie metody Kunert i Błażejczyk (2011) obejmuje obszar śródmiejski oraz dwa obszary zabudowy wielorodzinnej z małym udziałem terenów biologicznie czynnych tj. Stare Miasto, Kartuzy, Fabryczna, część osiedli Wrocławskie Przedmieście, Piekary i Tarninów na granicy z Starym Miastem (rys. 7). Średnie oszacowane natężenie MWC w Legnicy w okresie kwiecień–październik, w najcieplejszym, centralnym obszarze miasta wynosi ok. 1,0^{o}C.

Intensywność MWC zmienia się w cyklu dobowym i wzrasta w godzinach nocnych. Warunki meteorologiczne charakteryzujące się małym zachmurzeniem oraz prędkością wiatru poniżej 2 m/s sprzyjają największej intensywności MWC. Wzrost prędkości wiatru powyżej 4 m/s powoduje znaczną redukcję lub zanik MWC [Dubicka, 1994].



Rysunek 7 MWC w Legnicy oszacowana na podstawie odchylenia temperatury minimalnej między miastem a terenem pozamiejskim według zależności statystycznych opracowanych przez Kunert i Błażejczyka [2011]

MWC jest zjawiskiem niekorzystnym i uciążliwym dla mieszkańców miasta, zwłaszcza latem. W czasie fali upałów, brak lub niewielkie obniżenie temperatury powietrza w godzinach wieczornych i w nocy, kiedy MWC jest zazwyczaj najbardziej intensywna, może powodować wzmocnienie stresu gorąca. Brak nocnego okresu regeneracji organizmu człowieka powoduje efekt nakładania się stresu termicznego organizmu przez kolejne dni upałów. Dlatego też w miastach negatywne skutki dla zdrowia związane z upałami często zaznaczają się po kilku dniach tzw. efekt opóźnienia [Kuchcik 2006]. Istotnym czynnikiem determinujący wpływ pogody na zdrowie jest nie tylko wysokość temperatury powietrza, ale również czas jej trwania np. długość fal upałów. Czynnikami zwiększającymi negatywne skutki dla zdrowia są wiek (<5 roku życia i >65 roku życia), niepełnosprawność ruchowa, choroby układu nerwowego, niski status ekonomiczny, wykluczenie społeczne [Błażejczyk i in., 2014].

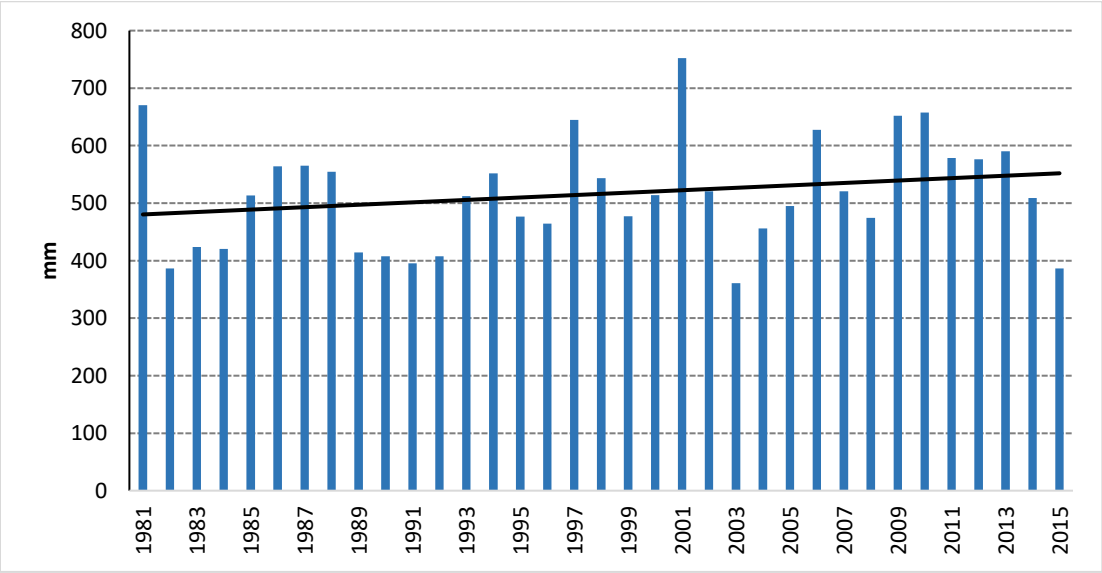
2.2. Zagrożenia opadowe

Opady atmosferyczne są elementem klimatu, który charakteryzuje się bardzo dużą zmiennością w przebiegu rocznym i wieloletnim oraz bardzo dużą zmiennością przestrzenną. Ponadto miasto modyfikuje pole opadów, istotną role odgrywa tu zwłaszcza struktura i charakter zabudowy oraz dominujący kierunek przemieszczania się wilgotnych mas powietrza. W obszarach zwartej zabudowy opady są wyższe o około 11% względem terenów peryferyjnych, otwartych [Lewińska, 2000]. Modyfikacja pola opadów przez miasto jest związana z obecnością zwiększonej ilości pary wodnej w atmosferze miasta pochodzącej z procesów spalania oraz aerozoli i pyłu, będących jądrami kondensacji pary wodnej [Lewińska, 2006].

Zagrożenia opadowe w Legnicy opisano następującymi wskaźnikami:

- suma roczna opadów,
- liczba dni z sumą dobową opadów ≥10 mm (opady umiarkowane), ≥20 mm (umiarkowanie silne) i ≥30 mm (opady silne),
- maksymalna suma opadów: dobowa, 2-dobowa oraz 5-dobowa,
- liczba przypadków opadów ulewnych według skali Chomicza
- okresy bezopadowe tj. najdłuższe ciągi dni bez opadów lub z opadem ≤1 mm,
- okresy bezopadowe z wysoką temperaturą powietrza tj. dni bez opadów lub z opadem ≤1 mm oraz z maksymalną temperaturą powietrza powyżej 25°C.

W Legnicy średnia suma roczna opadów (1981-2010) wynosi 514 mm i jest niższa o ponad 70 mm od średniego opadu obszarowego w Polsce, który wynosi 590 mm [Kożuchowski i Żmudzka, 2003]. Sumy roczne charakteryzują się dużym zakresem zmian wartości z roku na rok. W analizowanym wieloleciu 1981-2015 najwyższa suma roczna osiągnęła 752 mm w 2001 roku (146% normy), a najniższa w roku 2003 wyniosła tylko 361 mm (70% normy). Sumy roczne opadów przekraczające 600 mm wystąpiły w latach: 1981, 1997, 2001, 2006, 2009 i 2010. Do najbardziej suchych należał, wymieniony już rok 2003, a następnie lata: 1982, 2015 i 1991, z sumą roczna opadów poniżej 400 mm. W analizowanym wieloleciu 1981-2015 sumy roczne opadów charakteryzują się tendencją rosnącą, obserwowane zmiany nie są istotne statystycznie (rys. 8).



Rysunek 8 Sumy roczne opadów (mm) w Legnicy (1981-2015) wraz z linią trendu

Znacznie większym zróżnicowaniem wysokości charakteryzują się sumy miesięczne opadów. Największy zakres zmian obserwowany jest w lipcu. Najwyższa suma opadów lipca wyniosła 263,1 mm (2001 rok) i stanowiła 300% normy miesięcznej, a najniższa w roku 1990 wyniosła tylko 8,4 mm tj. 9,5% normy miesięcznej. Odchylenie standardowe opadów dla lipca wynosi 59,3 mm.

Najwyższe sumy sezonowe notowane są latem (czerwiec-sierpień), udział opadów sezonu letniego w rocznej sumie wynosi aż 44%. Najbardziej wilgotne lato z sumą opadów 401,6 mm wystąpiło w roku 2001.

W przebiegu rocznym wyraźnie zaznacza się lipcowe maksimum opadów, średnia suma miesięczna dla tego miesiąca wynosi 88 mm. Natomiast minimum opadów przypada w miesiącach zimowych: styczeń (22,9 mm) i luty (22,1 mm).

Zarówno niedobór jak i nadmiar opadów wywołuje niekorzystne skutki odczuwalne przez społeczeństwo i gospodarkę. Intensywne zjawiska opadowe tj. zarówno krótkotrwałe opady o dużym natężeniu oraz długotrwałe opady ciągłe o zmiennym natężeniu powodują potencjalne zagrożenie hydrologiczne. W Polsce krótkotrwałe opady o dużym natężeniu związane są zwykle z procesami konwekcyjnymi, pojawiają się w sezonie letnim, kiedy nagrzana powierzchnia gruntu sprzyja konwekcji termicznej. Natomiast opady ciągłe związane są z przejściem frontów atmosferycznych, częściej występują w chłodnej porze roku, kiedy nad środkową Europą przemieszczają się znad północnego Atlantyku układy niżowe. Zróżnicowanie typów genetycznych opadów w ciągu roku związane jest z sezonowością procesów opadotwórczych [Łupikasza, 2010].

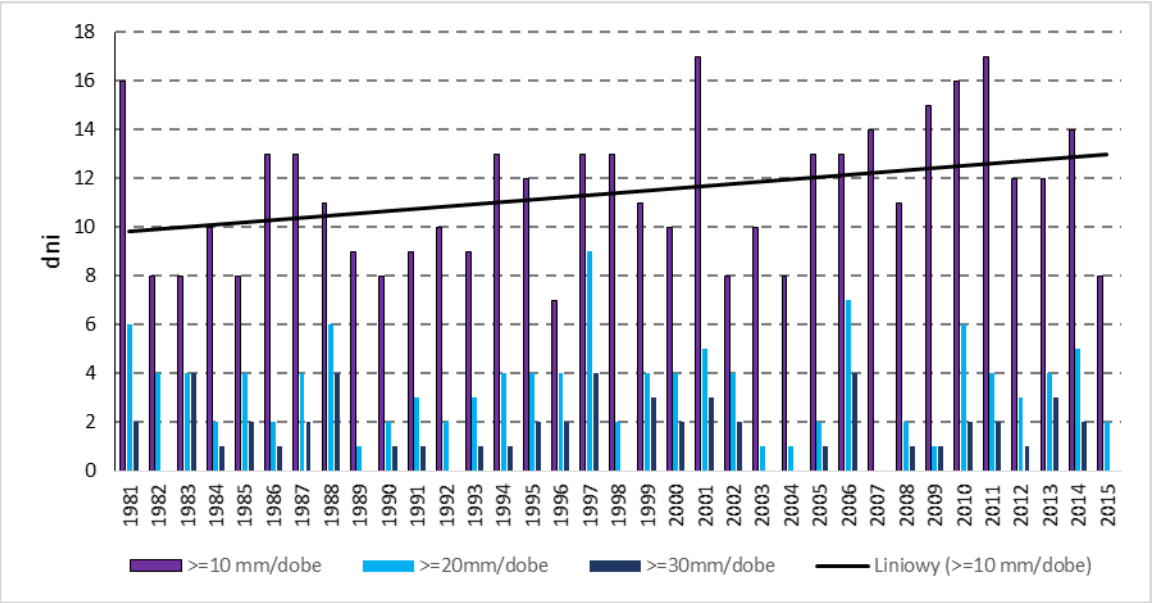
Tabela 8 Średnie sumy roczne opadów na podstawie wyników symulacji klimatycznych EURO-CORDEX dla dwóch scenariuszy koncentracji gazów cieplarnianych RCP4.5 i RCP8.5

Wskaźnik klimatyczny	Scenariusz	EU11CORDEX 2006-2015	EU11CORDEX 2026-2035	EU11CORDEX 2046-2055
		2010	2030	2050
Suma roczna opadów (mm)	RCP4.5	558,2	590,1	599,7
	RCP8.5	557,7	592,2	635,6

W horyzoncie czasowym 2030 i 2050 przewidywany jest wzrost rocznej sumy opadów. W połowie XXI wieku, w przypadku scenariusza RCP8.5 wzrost jest większy niż dla scenariusza RCP4.5. Średnia suma roczna opadów według scenariusza RCP8.5 może wzrosną o 14% względem okresu 2006-2015.

- Dni z opadem umiarkowanym, umiarkowanie silnym i silnym

W Legnicy średnio w roku występuje 11 dni z opadem umiarkowanym (≥10 mm na dobę). W analizowanym wieloleciu (1981-2015) liczba dni z opadem umiarkowanym zmieniała się od 17 w latach 2001 i 2011 do 7 dni w roku 1996. Dni z opadem umiarkowanie silnym (≥20 mm na dobę) jest mniej, średnio w roku w Legnicy obserwowane są 3 dni z opadem ≥20 mm na dobę. Opady umiarkowanie silne nie są obserwowane każdego roku np. w roku 2007 nie został zanotowany ani jeden dzień z opadem umiarkowanie silnym, a w roku 1997 było 9 takich przypadków. Jeszcze rzadziej występują dni z opadem silnym tj. ≥30 mm/dobę, średnio pojawiają się przez 1-2 dni w roku. Opady umiarkowanie silne i silne występują przede wszystkim w miesiącach letnich.



Rysunek 9 Roczna liczba dni z opadem dobowym ≥10, 20 i 30 mm w Legnicy (1981-2015)

W wieloleciu 1981-2015 liczba dni z opadem umiarkowanym zwiększała się o ok. 0,9 dnia na 10 lat, wzrost istotny statystycznie na poziomie 5% (rys. 9). Natomiast liczba dni z opadem umiarkowanie silnym i silnym nie wykazywała zmian istotnych statystycznie.

Tabela 9 Średnie wartości rocznej liczby dni z opadem dobowym ≥10 mm i ≥20 mm na podstawie wyników symulacji klimatycznych EURO-CORDEX dla dwóch scenariuszy koncentracji gazów cieplarnianych RCP4.5 i RCP8.5

Wskaźnik klimatyczny	Scenariusz	EU11CORDEX 2006-2015	EU11CORDEX 2026-2035	EU11CORDEX 2046-2055
		2010	2030	2050
Liczba dni z opadem >= 10 mm/d w roku	RCP4.5	13,0	14,1	14,5
	RCP8.5	13,0	13,9	15,9
Liczba dni z opadem >= 20 mm/d w roku	RCP4.5	3,6	4,0	3,9
	RCP8.5	3,6	3,8	4,3

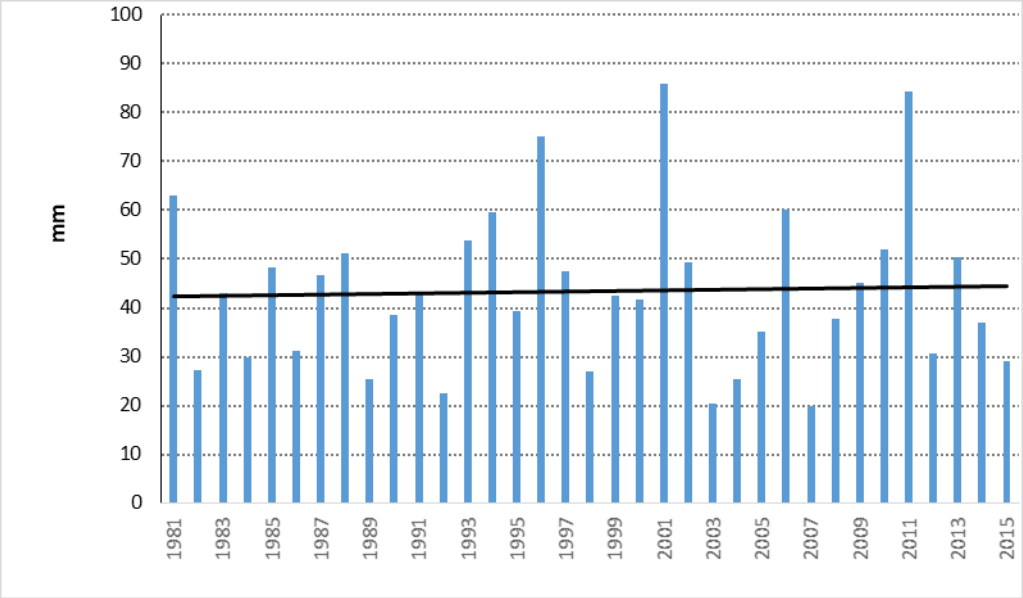
W horyzoncie czasowym 2030 i 2050 przewidywany jest dalszy wzrost liczby dni z opadem dobowym ≥10 mm i ≥20 mm. W połowie XXI wieku, w przypadku scenariusza RCP8.5 modelowany wzrost jest większy niż dla scenariusza RCP4.5. Liczba dni z opadem dobowym ≥10 mm według scenariusza RCP8.5 może wynieść około 16.

- Opady maksymalne

Maksymalne sumy opadów można wyznaczać dla różnych przedziałów czasu (godzina, doba, dwie doby, itp.). Maksymalne opady są ważną charakterystyką klimatu o istotnym znaczeniu praktycznym dla wielu dziedzin gospodarki oraz projektowania i utrzymania infrastruktury miejskiej.

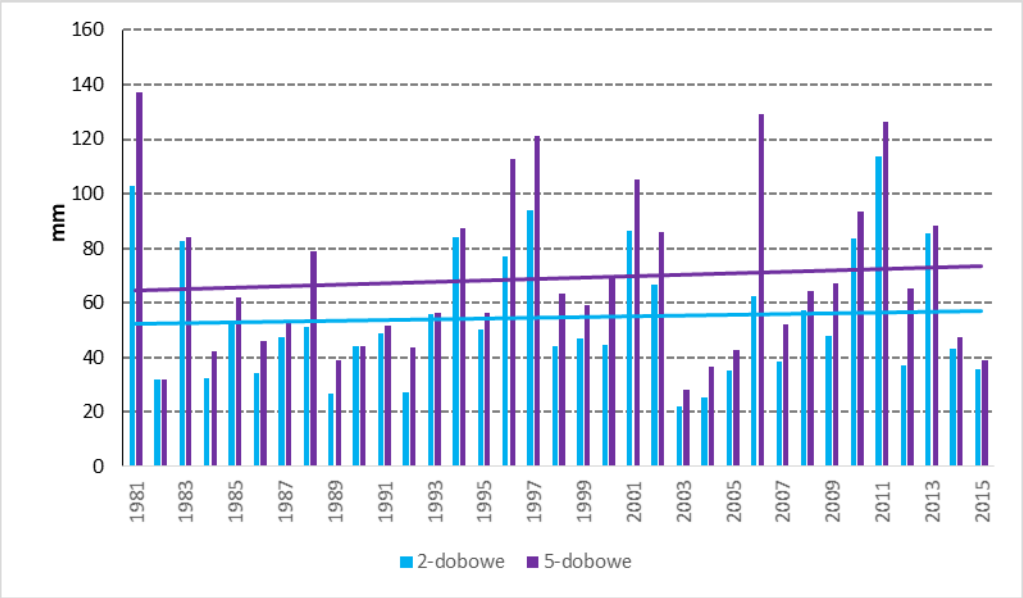
W Legnicy najwyższe opady dobowe w analizowanym wieloleciu przekraczały 80 mm i były notowane w lipcu. W dniu 20 lipca 2001 roku suma dobowa wyniosła 85,9 mm (16,7% normy rocznej opadów), a w dniu 21 lipca 2011 roku była niewiele niższa i wyniosła 84,4 mm. Najwyższe opady dobowe występują zwykle w lipcu, w miesiącu o najwyższych opadach, ale w poszczególnych latach mogą wystąpić również w pozostałych miesiącach półrocza ciepłego. W analizowanym wieloleciu 1981-

2015 roczne maksima dobowe opadów charakteryzowały się dużą zmiennością z roku na rok, nie wykazywały istotnego trendu zmian (rys. 10).



Rysunek 10 Roczne maksima dobowe opadów w Legnicy (1981-2015)

Maksymalna suma 2-dobowa opadów wystąpiła również w lipcu 2011 roku i wyniosła 113,5 (22% normy rocznej opadów), a 5-dobowa została zanotowana w lipcu 1981 i osiągnęła 137,1 mm (26,7% normy rocznej opadów). W analizowanym wieloleciu 1981-2015 maksymalne 2-dobowe i 5-dobowe sumy opadów charakteryzowały się dużą zmiennością z roku na rok, nie wykazywały istotnego trendu zmian (rys. 11).



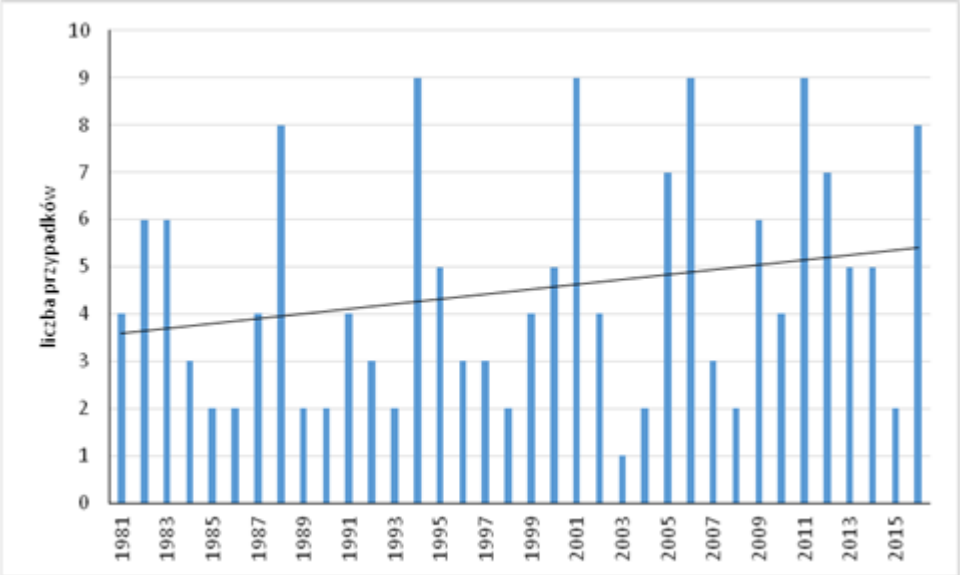
Rysunek 11 Maksymalne 2-dobowe i 5-dobowe sumy opadów w Legnicy (1981-2015)

- Opady ulewne i nawalne wg skali Chomicza

Skutki hydrologiczne bardzo silnych opadów zależą od ich natężenia oraz czasu trwania, czyli wysokości warstwy wody jaka spadła podczas danego epizodu opadowego, charakterystyka ta jest nazywana wydajnością opadu. Poszczególne epizody opadowe, które występują w różnym czasie i miejscu można porównać oraz sklasyfikować według skali zaproponowanej przez Chomicza [1951]. Skala Chomicza jest oparta na współczynniku wydajności opadów α. Jest to stosunek sumy opadów *h* (mm) w czasie *t* (min) do pierwiastka kwadratowego z czasu *t* ($\alpha=h/t^{1/2}$), [Kossowska-Cezak, Bajkiewicz-Grabowska, 2008].

Wartości współczynnika α jest kryterium wydzielenia 12 kategorii opadów od zwykłego deszczu do deszczu nawalnego. Wyróżnia się 4 kategorie opadu ulewnego oraz 7 stopni deszczu ulewnego. Zgodnie ze skalą Chomicza jako deszcz ulewny klasyfikuje się epizod opadowy, podczas którego spadło co najmniej 4,5 mm w ciągu 10 minut lub 7,8 mm w ciągu godziny. Natomiast opad nawalny to epizod o wysokości opadów co najmniej 17,9 mm w ciągu 10 minut oraz 43,9 mm w ciągu godziny.

Występowanie opadów ulewnych w Legnicy przeanalizowano na podstawie godzinowych sum opadów dla miesięcy od maja do września ze stacji meteorologicznej w Legnicy z lat 1981-2016. Natężenie opadów oraz współczynnik wydajności wg Chomicza był wyznaczany dla stałych „sztywnych" przedziałów godzinowych (bez względu na rzeczywisty czas trwania opadu). W analizowanym wieloleciu na stacji meteorologicznej w Legnicy każdego roku notowano zdarzenia opadowe określane wg skali Chomicza jako silny deszcz lub deszcz ulewny. Sumaryczna liczba przypadków silnych opadów (A0 wg skali Chomicza) oraz opadów ulewnych (od A1 do A4) w latach 1981-2016 na stacji meteorologicznej w Legnicy charakteryzowała się tendencją rosnącą, nieistotną statystycznie (rys. 12). Należy podkreślić, że komórki intensywnych opadów utworzone w wyniku procesów konwekcyjnych mają zwykle niewielki zasięg przestrzenny, dlatego też dane pomiarowe z 1 stacji meteorologicznej nie rejestrują wszystkich zdarzeń jakie wystąpiły na obszarze całego miasta.



Rysunek 12 Liczba przypadków silnych opadów (A0 wg skali Chomicza) oraz opadów ulewnych (od A1 do A4 wg skali Chomicza) w latach 1981-2016 na stacji meteorologicznej w Legnicy

- Długotrwałe okresy bezopadowe

Niedobór opadów spowodowany przez niskie opady lub długie okresy bezopadowe powoduje również negatywne skutki hydrologiczne, może prowadzić do rozwoju suszy atmosferycznej, a następnie glebowej i hydrologicznej. Okresy bezopadowe, zdefiniowane jako ciągi dni bez opadów lub z opadem dobowym ≤ 1mm, były wyznaczane dla każdego roku. Następnie wyznaczano najdłuższy w roku okres bezopadowy. W analizowanym wieloleciu najdłuższy ciąg bezopadowy trwał 52 dni, od 22 stycznia do 14 marca 2014 roku. Bardzo długie ponad 40-dniowe okresy bezopadowe notowano również w latach: 1983, 1988 i 2007.

Długotrwałe okresy bezopadowe analizowano uwzględniając również kryterium termiczne tj. dni bez opadów lub z opadem dobowym ≤1mm oraz z temperaturą maksymalną powietrza >25°C. W analizowanym wieloleciu najdłuższy okres bezopadowy z wysoką temperatura powietrza utrzymywał się przez 14 dni, od 29 lipca do 11 sierpnia 2004 roku. Długie okresy bezopadowe notowano również w sezonach letnich: 1983, 1994, 2002. Długie, kilkunastodniowe okresy bezopadowe z wysoka temperaturą występują najczęściej na przełomie lipca i sierpnia.

Tabela 10 Najdłuższe ciągi bezopadowe (opad <1 mm/d) na podstawie wyników symulacji klimatycznych EURO-CORDEX dla dwóch scenariuszy koncentracji gazów cieplarnianych RCP4.5 i RCP8.5

Wskaźnik klimatyczny	Scenariusz	EU11CORDEX 2006-2015	EU11CORDEX 2026-2035	EU11CORDEX 2046-2055
		2010	2030	2050
Najdłuższy okres bez opadu (opad < 1mm/d) w roku	RCP4.5	21,2	22,5	21,5
	RCP8.5	22,0	21,6	21,3

2.3. Pokrywa śnieżna

Pokrywa śnieżna jest elementem klimatu o dużym znaczeniu zwłaszcza dla takich sektorów gospodarki jak transport, komunikacja, budownictwo oraz gospodarka wodna. W mieście opady śniegu, zwłaszcza intensywne, wymagają sprawnej pracy służb odpowiedzialnych za utrzymanie dróg, chodników, mogą powodować utrudnienia komunikacyjne oraz stanowić zagrożenie zwłaszcza dla infrastruktury transportowej i energetycznej oraz powodować znaczne obciążenie dachów.

Pokrywa śnieżna jest elementem meteorologicznym, na który mają wpływ zarówno temperatura powietrza, suma opadów, w tym udział opadów w postaci stałej, warunki solarne, anemologiczne i cyrkulacyjne [Falarz, 2007]. Obserwacje pokrywy śnieżnej wykonywane są raz na dobę o godzinie 6 UTC. Jako dzień z pokrywą śnieżną jest uznawany taki, w którym w porannym terminie obserwacyjnym (6 UTC) pokrywa śnieżna zajmuje co najmniej połowę obserwowanego terenu i ma średnią grubość co najmniej 1 cm. Warunki śnieżne w Legnicy scharakteryzowano na podstawie następujących wskaźników:

- liczba dni z pokrywą śnieżną,
- maksymalna grubość pokrywy,
- daty pierwszego i ostatniego dnia z pokrywą śnieżną w sezonie zimowym tj. w okresie od X do V.

Występowanie skrajnych dat pokrywy śnieżnej charakteryzuje się dużą zmiennością w czasie. W Legnicy pierwszy dzień z pokrywą śnieżna (o grubości ≥1 cm) przypada zwykle w III dekadzie

listopada (średnio 23 listopada), jednak pierwsza pokrywa śnieżna może już być obserwowana w II dekadzie października (13.10.2002). W analizowanym wieloleciu był również sezon zimowy, w czasie którego pokrywa śnieżna wystąpiła po raz pierwszy dopiero w styczniu tj. w sezonie zimowym 2013/2014. Ostatnie wystąpienie pokrywy śnieżnej przypada w Legnicy średnio w II dekadzie marca (17 marca). W sezonie zimowym 2013/2014 pokrywa śnieżna zanikła już 31 stycznia.

Potencjalny okres zalegania pokrywy śnieżnej informuje, jak długi jest w danym miejscu tj. w Legnicy okres roku, w którym można spodziewać się wystąpienia pokrywy śnieżnej. Początek i koniec potencjalnego okresu występowania pokrywy śnieżnej jest w przypadku miasta istotną informacją dla transportu i komunikacji oraz służb utrzymania miasta odpowiedzialnych za odśnieżanie. W Legnicy potencjalny okres występowania pokrywy śnieżnej tj. przedział czasu pomiędzy pierwszym a ostatnim pojawieniem się pokrywy śnieżnej w sezonie zimowym wynosi średnio 114 dni. Najdłuższy potencjalny okres występowania pokrywy śnieżnej był obserwowany w sezonie 2002/2003 (177 dni), a najkrótszy zimą 2013/2014, tylko 16 dni.

Rzeczywisty okres zalegania pokrywy śnieżnej jest w Legnicy znacznie krótszy od czasu jej potencjalnego występowania. Obserwuje się średnio w sezonie zimowym 40 dni z pokrywą śnieżną. Najdłużej pokrywa śnieżna zalega w styczniu, lutym i grudniu, odpowiednio po 13, 11 i 9 dni (tab. 11). W tych miesiącach w czasie śnieżnych zim pokrywa może występować przez cały miesiąc. W analizowanym wieloleciu liczba dni z pokrywą śnieżną zmieniała się w bardzo szerokim zakresie od 8 dni zimą 2007/2008 do 108 w sezonie 1995/96. Czas zalegania pokrywy śnieżnej charakteryzuje się niewielką, nieistotną statystycznie tendencją rosnącą.

Tabela 21 Wybrane charakterystyki pokrywy śnieżnej w Legnicy (1981/1982 – 2013/2014)

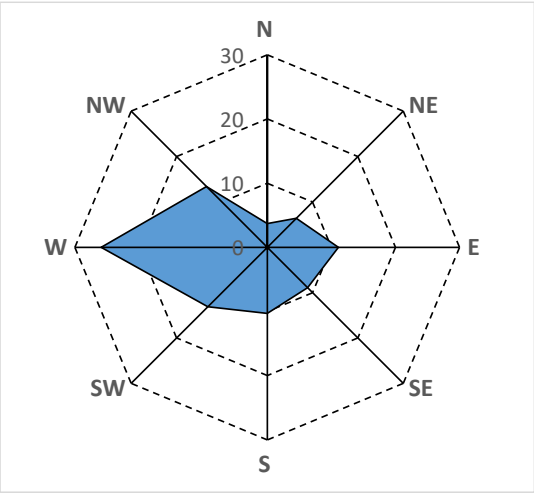
Charakterystyka pokrywy śnieżnej	Miesiące								Cały sezon
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	
Liczba dni z pokrywa śnieżną									
Średnia liczba dni	0,2	3,2	8,5	13,2	10,9	4,4	0,6	0,1	40,1
Maksymalna grubość pokrywy śnieżnej (cm)									
Maksymalna grubość	9	22	30	33	27	28	6	5	33

2.4. Wiatr i burze

Warunki anemometryczne (wiatr) określono na podstawie następujących wskaźników:

- średnia roczna prędkość wiatru,
- rozkład kierunków wiatru (róża wiatru),
- maksymalna prędkość wiatru,

Średnia roczna prędkość wiatru w Legnicy wynosi 3,5 m/s, jest najwyższa w nizinnej części Dolnego Śląska. Najwyższe prędkości wiatru występują w sezonie zimowym, na ogół w styczniu (4,1 m/s) i są uwarunkowane dużymi poziomymi gradientami ciśnienia atmosferycznego nad obszarem Dolnego Śląska [Głowicki i in., 2005]. Wiatr silny (o prędkości ≥10 m/s), występuje w roku ze średnią częstością 2%. Natomiast najniższe prędkości wiatru są obserwowane w sierpniu. W Legnicy z największą frekwencją (25,9%) obserwowany jest wiatr z sektora zachodniego (rys. 13).



Rysunek 13 Rozkład częstości (%) kierunków wiatru w Legnicy

Procesy atmosferyczne odpowiedzialne za wystąpienie na Dolnym Śląsku wiatru o bardzo dużych/ekstremalnych prędkościach wiatru są związane z ogólną cyrkulacją atmosfery i utworzeniem się głębokiego ośrodka niżowego nad Atlantykiem lub z warunkami atmosferycznymi, które sprzyjają rozwojowi intensywnej konwekcji.

Wiatr o bardzo dużych/ekstremalnych prędkościach wiatru spowodowany przez procesy atmosferyczne o zasięgu wielkoskalowym jest związany z działalnością cyklonalną nad Europą i północnym Atlantykiem. Wiatr o sile huraganu jest charakterystyczny dla cyklonów (głębokich i aktywnych ośrodków niżowych, poniżej 970 hPa), które przemieszczają się znad Atlantyku przez M. Północne w kierunku południowej Skandynawii i M. Bałtyckiego [Lorenc, 2012]. Przykładem zdarzeń wiatrowych o zasięgu wielkoskalowym są cyklony (orkany), które wystąpiły w Polsce i na Dolnym Śląsku w dniach: 18-19 stycznia 2007 roku - orkan Cyryl oraz Emma w dniu 1 marca 2008 roku. W dniach 16-19 stycznia 2007 roku intensywna działalność cyklonalna była przyczyną pojawienia się wiatru huraganowego, znanego pod nazwą Cyryl, w którego zasięgu znalazł się znaczny obszar zachodniej i środkowej Europy. W dniu 18 stycznia 2007 roku na stacji meteorologicznej w Legnicy odnotowano prędkości wiatru, które wynosiły w porywach do 37 m/s. Skutkiem przejścia huraganu Cyryl były liczne szkody materialne, wiatrołomy, uszkodzenia linii wysokiego napięcia, zerwane dachy domów.

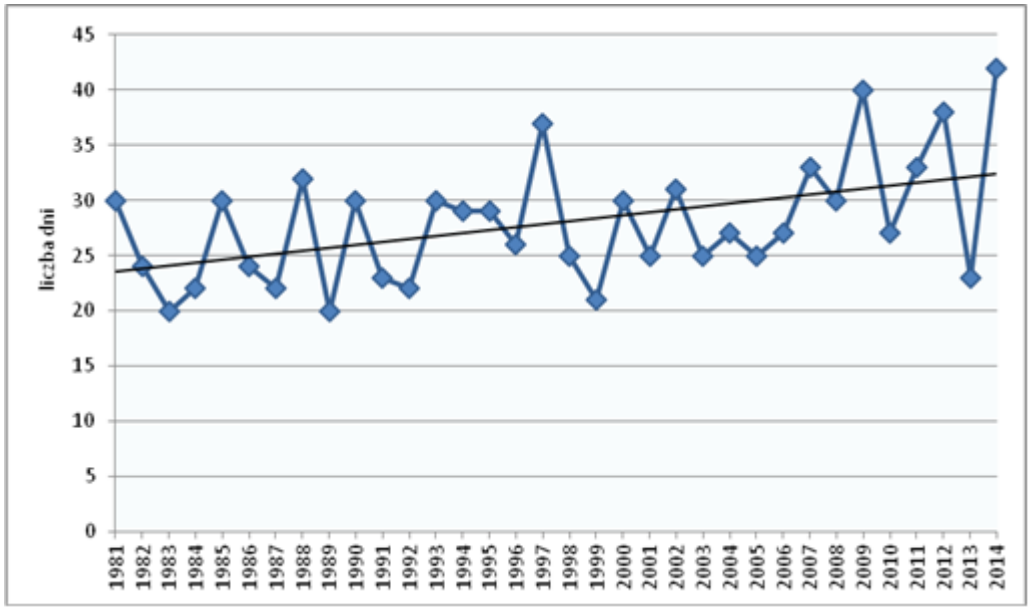
Ekstremalne prędkości wiatru mogą występować w skali lokalnej, podczas intensywnej konwekcji. Czynnikami sprzyjającymi wystąpieniu silnej konwekcji jest ciepła i wilgotna masa powietrza oraz duża chwiejność masy powietrza występująca na froncie chłodnym albo na skutek nagrzania powierzchni gruntu przez insolację [Sobik i Błaś, 2010]. Takie warunki meteorologiczne sprzyjają intensywnej konwekcji i powstawaniu małoskalowych wirów powietrznych – burz termicznych, trąb powietrznych i szkwałów o zasięgu lokalnym. Szkwał jest to nagły, krótkotrwały wzrost prędkości wiatru (nawet powyżej 20-30 m/s), zjawisku może towarzyszyć silny opad i burza. Najczęściej powstaje przed frontem chłodnym, jego zwiastunem jest chmura Cumulonimbus [Słownik meteorologiczny, 2003].

W Legnicy wystąpienie szkwału było obserwowane w dniu 23 lipca 2009 roku. Przyczyną wystąpienia ekstremalnych prędkości wiatru było przechodzenie aktywnego frontu chłodnego związanego z niżem z centrum nad Morzem Północnym, który oddzielał masę powietrza zwrotnikowego, zalegającego m.in. nad Polską, od napływającego z zachodu chłodniejszego powietrza polarno-morskiego. Znaczne różnice termiczne spowodowały wystąpienie zjawisk burzowych, z silnymi opadami i ekstremalnymi prędkościami wiatru. Na stacji meteorologicznej w Legnicy odnotowano maksymalny poryw wiatru o prędkości 37 m/s. Zdarzenie to spowodowało znaczne szkody materialne, w postaci wiatrołomów, zerwania sieci elektrycznej, trakcji kolejowej, dachów domów. Szczególnie duże straty

odnotowano w Legnicy, gdzie 1 osoba zginęła, a zniszczeniu uległ m.in. zabytkowy park obejmujący obszar około 60 ha.

Burza jest zjawiskiem atmosferycznym z grupy elektrometeorów w postaci wyładowań atmosferycznych, związana z występowaniem chmur Cumulonimbus (Słownik meteorologiczny, 2003). Cumulonimbus (Cb) jest chmurą o dużej rozbudowie pionowej, która w umiarkowanych szerokościach geograficznych może sięgać do 10 km. Chmurze Cb mogą towarzyszyć gwałtowne zdarzenia pogodowe, takie jak: opady gradu, silne opady deszczu, bardzo silne porywy wiatru. Zjawiska te nie zawsze towarzyszą burzy, powstają dość przypadkowo, ale ich wystąpienia nie można wykluczyć. Burze zaliczane są do ekstremalnych zdarzeń meteorologicznych, jednak nie każda burza jest zdarzeniem ekstremalnym, wynika to m.in. z charakteru zjawiska (Bielec-Bąkowska, 2013). Każde wystąpienie burzy należy jednak traktować jako potencjalnie groźne zjawisko, które może powodować zagrożenie dla transportu lotniczego, problemy w łączności, szkody w rolnictwie lub uszkodzenia budynków.

W Legnicy średnia roczna liczba dni z burzą wynosi 27 dni. Okres największej aktywności burzowej trwa od maja do sierpnia, kiedy występuje ponad 88% wszystkich burz. Największa miesięczna liczba dni burzowych tj. 14 wystąpiła w lipcu 2012 roku, a w roku 2009 przez dwa kolejne miesiące (czerwiec i lipiec) notowano po 13 dni z burzą. Najniższą liczbę dni z burzą zanotowano w latach 1983 i 1989 po 20 dni, a najwyższą w roku 2014 – 42 dni z burzą. W wieloleciu 1981-2014 liczba dni z burzą zwiększała się o 2,7 dni na 10 lat, wzrost istotny statystycznie na poziomie 5% (rys. 14).



Rysunek 4 Liczba dni z burzą w Legnicy (1981-2014)

2.5. Okresy niżówkowe

Przeprowadzone analizy w zlewni Kaczawy dotyczące niżówek i okresów susz hydrologicznych pozwalają na następujące podsumowanie:

- największym problemem są niżówki krótkotrwałe, dla których prawdopodobieństwo nieosiągnięcia niedoboru jest mniejsze lub równe $D_{50\%}$ a czas trwania nie przekracza 30 dni, takich niżówek na analizowanych stacjach wodowskazowych zaobserwowano od 56 do 76 w wieloleciu 1981-2015,
- niżówki długotrwałe o prawdopodobieństwie nieosiągnięcia niedoboru do $D_{80\%}$ oraz czasie trwania do 90 dni wystąpiły ponad 20 razy w analizowanym wieloleciu,
- susza hydrologiczna umiarkowana z prawdopodobieństwem nieosiągnięcia niedoboru do $D_{90\%}$ oraz czasem trwania do 120 dni wystąpiła od 5 (w zlewni Kaczawy do Piątnicy) do 9 razy w Czarnej Wodzie do Bukownej,
- susza hydrologiczna silna wystąpiła od 2 do 4 razy,
- susza hydrologiczna ekstremalna wystąpiła tylko raz w zlewni Kaczawy do wodowskazu w Duninie.

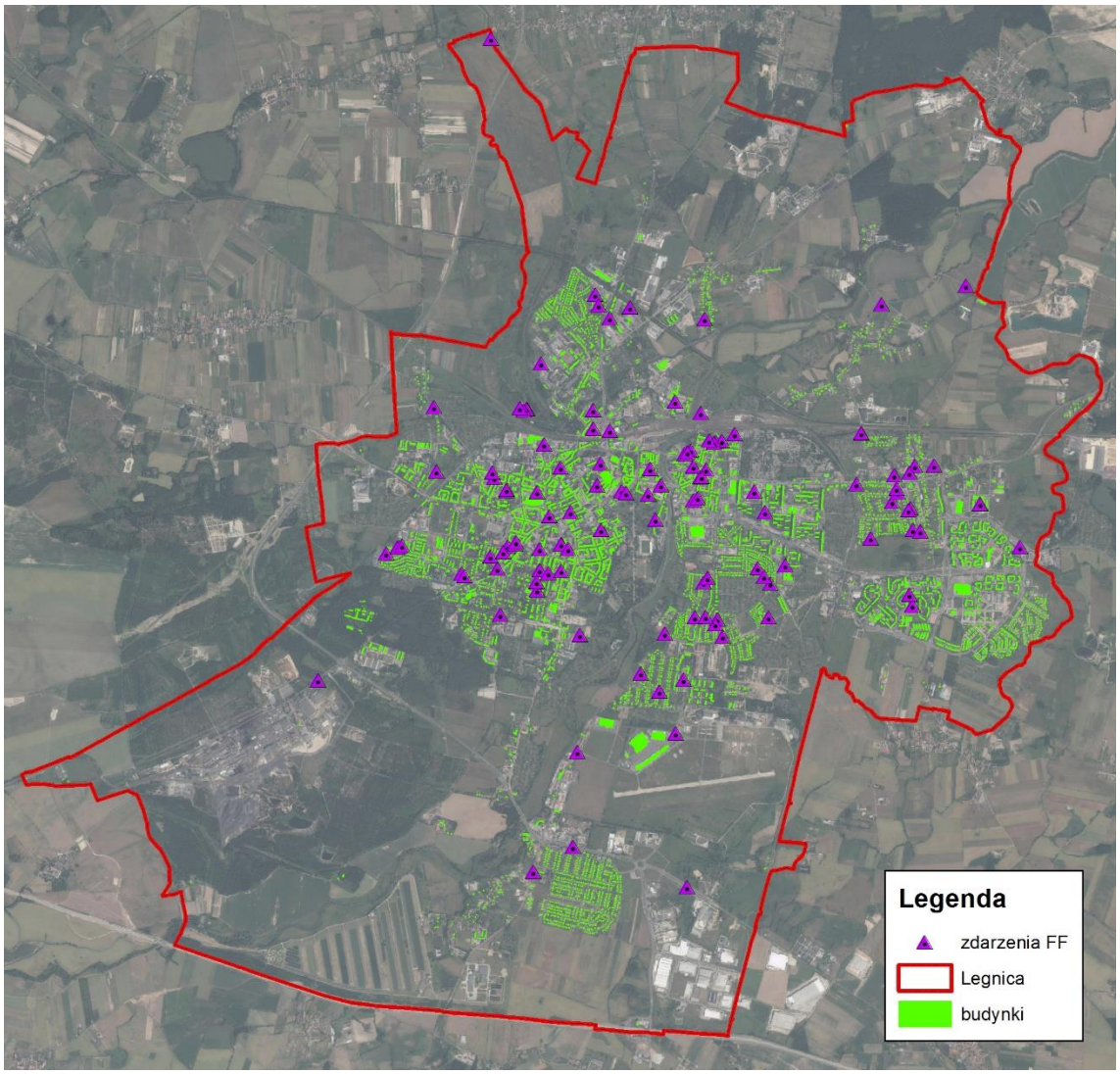
W związku z powyższym zagrożenie suszą ocenia się jako średnie.

2.6. Powódź

- Powodzie miejskie (nagłe)

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

Na podstawie bazy danych Państwowej Straży pożarnej (PSP) sporządzano mapę lokalizacji zdarzeń typu flash flood w Legnicy związanych z wystąpieniem deszczy nawalnych w latach 2010-2016. Na mapie poniżej kolorem różowym zaznaczono miejsca, w których była prowadzona interwencja wskutek wystąpienia powodzi miejskiej (rys. 15). W Legnicy punkty te koncentrują się przede wszystkim w centralnej części miasta. Niewielka ilość interwencji zlokalizowana była również w części północnej i południowej miasta.

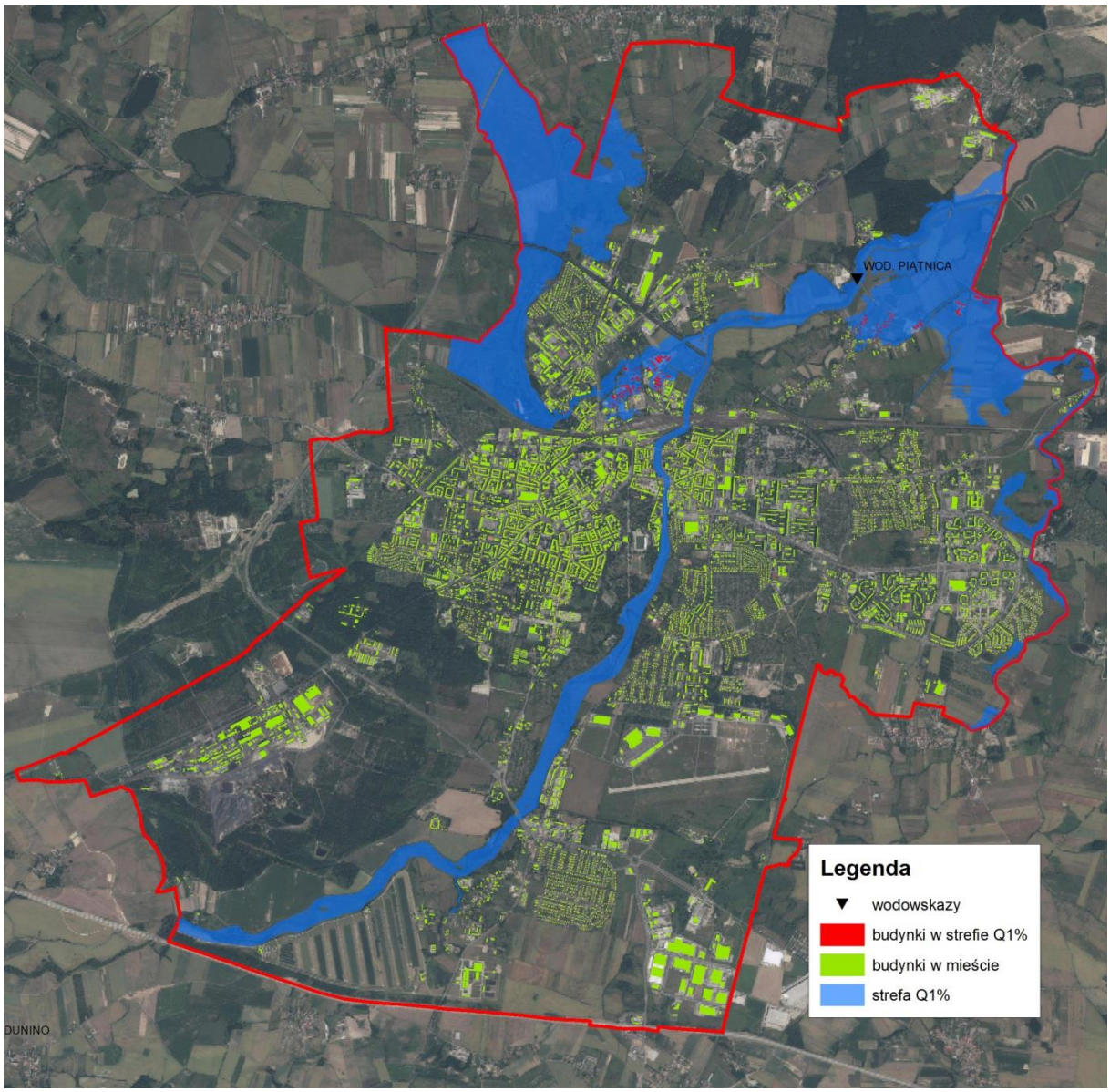


Rysunek 5 Mapa zdarzeń typu flash flood (FF).

W ostatnich 6 latach częstości interwencji utrzymuje się na stałym poziomie, około 25 interwencji rocznie, a lokalizacja wskazuje również na ten sam obszar. Tylko w roku 2014 zarejestrowano jedynie 2 zgłoszenia. Ostanie dwa lata wskazują na brak poprawy w zakresie wystąpienia podtopień. Interwencja dotyczą budynków, straty wywołane tymi zdarzeniami obejmują lokalne obszary miasta. Wobec powyższego zagrożenie powodziami miejskimi można uznać jako średnie.

- Powodzie od strony rzek

Legnica położona jest w zlewni rzeki Kaczawy. Opracowanie map zagrożenia i ryzyka powodziowego na terenie miasta Legnica obejmowało rzeki: Kaczawę, Czarną Wodę oraz Wierzbiak. Wyznaczone zasięgi dla prawdopodobieństwa wystąpienia 1% w tzw. wariancie zero PZRP (wariant map zagrożenia zaktualizowany o inwestycje przeciwpowodziowe wykonane w okresie od opublikowania MZP (map zagrożenia powodziowego)/MRP (map ryzyka powodziowego), a opracowaniem PZRP) przedstawia rysunek 15. Powierzchnia strefy zalewu wynosi 673 ha. W strefie zalewu znajduje się 367 budynków i 437 zagrożonych osób.



Rysunek 6 Zagrożenie powodziowe na obszarze Miasta Legnica (wg MZP/MRP, PZRP)

Kaczawa na terenie Legnicy jest niemalże na całym odcinku obustronnie obwałowana natomiast Czarna Woda obwałowana jest prawostronnie na długości 4,7 km.

Podsumowując, zagrożenie powodziowe występujące na obszarze Miasta Legnicy należy ocenić jako średnie. Należy mieć na uwadze, że postępujące zmiany klimatu oraz wzrost intensywność zagospodarowania przestrzennego mogą w przyszłości prowadzić do wzrostu poziomu zagrożenia i ryzyka powodziowego w Legnicy.

2.7. Koncentracja zanieczyszczeń powietrza

Na podstawie pomiarów stężeń zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego na stacji zlokalizowanej przy ul. Rzeczpospolitej w Legnicy, przeprowadzono analizę stężeń pyłu zawieszonego PM10 w latach

2006-2015, pyłu zawieszonego PM2,5 w latach 2010-2015 dla oraz ozonu troposferycznego w latach 2012-2015.

Dodatkowo do analiz trendów stężeń ozonu wykorzystano pomiary tego zanieczyszczenia prowadzone na stacji pomiarowej w Legnicy przy ul. Rzeczpospolitej. Wyniki analizowano w odniesieniu do wartości kryterialnych określonych w obowiązujących przepisach prawnych.

Analizy średnich rocznych stężeń pyłu zawieszonego PM10 w powietrzu wykazały w latach 2009-2012 przekraczania poziomu dopuszczalnego (40 µg/m^3) ze względu na ochronę zdrowia ludzi. Od 2012 wartości średnie roczne stężeń pyłu PM10 spadają i nie przekraczają wartości normatywnej. W przypadku stężeń średnich dobowych, zarówno wartość maksymalna roczna jak i 36 maksimum stężeń w okresie 2006-2015 przekraczała dopuszczalny poziom stężenia 50 µg/m3. Dla wartości maksymalnej rocznej obserwowany jest wyraźny trend malejący, natomiast 36 maksimum stężeń kształtuje się od 2013 roku na stałym, niższym w stosunku do poprzednich lat, jednak nadal względnie wysokim poziomie.

Dla pyłu zawieszonego PM2,5 obserwowany jest stopniowy spadek stężeń średniorocznych z niewielkimi przekroczeniami poziomów dopuszczalnych w latach 2012-2014. W roku 2015 nie zanotowano przekroczenia poziomu dopuszczalnego ze względu na ochronę zdrowia. Również wartości maksymalnych stężeń dobowych wykazują tendencję malejącą.

Ozon troposferyczny w Legnicy monitorowany jest od 2012 roku. W tym okresie odnotowano przekroczenia poziomu docelowego 120 µg/m3 w roku 2012 i 2015. Dopuszczalna częstość przekraczania poziomu docelowego wynosi 25 dni. W roku 2012 przekroczenia zaobserwowano w ciągu 29 a w roku 2015 w ciągu 34 dni. Przeprowadzona z uwagi na ochronę roślin analiza wskaźnika AOT40 nie wykazała przekroczeń poziomu dopuszczalnego 18 000 µg/m^{3}xh w latach 2012-2015. Analiza trendu przeprowadzona została na podstawie pomiarów stężeń ozonu troposferycznego w Legnicy przy ul. Rzeczpospolitej. W okresie 2006-2015 dla wskaźnika AOT40 obserwowany jest trend malejący, natomiast maksymalna wartość stężeń 8-godzinnych kształtuje się na jednakowym poziomie zbliżonym do maksymalnej wartości dopuszczalnej.

Przeprowadzona analiza epizodów wysokich stężeń z uwagi na występowanie smogu wykazała, że na terenie miasta Legnicy istnieje zagrożenie dla wystąpień smogu kwaśnego i smogu fotochemicznego. W przypadku smogu kwaśnego w latach 2006-2015, epizody wysokich stężeń zanieczyszczeń pyłem zawieszonym, tj. dni z przekroczeniem poziomu 50 µg/m3, obserwowane były każdego roku, przez co najmniej 55 dni. W ostatnich latach 2012-2015 jest ich średnio 75, przy czym norma dopuszcza 35 dni z przekroczeniami.

Zagrożenie smogiem fotochemicznym obserwowane było w Legnicy w roku 2012 i 2015. W przypadku epizodów wysokich stężeń zanieczyszczeń ozonem troposferycznym nie można wyznaczyć jednoznacznej tendencji malejącej dla tego zanieczyszczenia, ze względu na duży wpływ warunków termicznych w poszczególnych latach na liczbę przekroczeń stężeń dopuszczalnych.

W związku z zanotowanymi w analizowanym okresie przekroczeniami poziomu dopuszczalnego poziomu stężeń oraz dopuszczalnej częstości przekroczeń dla pyłu PM10, PM2,5 oraz ozonu troposferycznego dla ochrony zdrowia ludzi należy stwierdzić istotną wrażliwość pod względem koncentracji zanieczyszczeń powietrza dla miasta Legnicy w sektorze zdrowie publiczne/grupy wrażliwe (osoby >65 roku życia, dzieci<5 roku życia, osoby przewlekle chore).

Literatura

Bielec-Bąkowska Z., 2013, Burze i grady w Polsce. Prace Geogr. IGiGP UJ, z. 132.

Błażejczyk K., Kuchcik M., Milewski P., Dudek W., Kręcisz B., Błażejczyk A., Szmyd J., Degórska B., Pałczyński C., 2014, Miejska wyspa ciepła w Warszawie: uwarunkowania klimatyczne i urbanistyczne. Warszawa IGiPZ PAN, Wyd. Sedno.

Chomicz K.,1951, Ulewy i deszcze nawalne w Polsce. Wiadomości Służby Hydrologicznej, t. 2, z. 5.

Dubicka M., 1994, Wpływ cyrkulacji atmosfery na kształtowanie warunków klimatu (na przykładzie Wrocławia). Studia Geogr. LX, Acta Universitatis Wratislaviensis No 1581, 295.

Falarz M., 2007,Potencjalny okres występowania pokrywy śnieżnej w Polsce i jego zmiany w XX wieku. [w:] Wahania klimatu w różnych skalach przestrzennych i czasowych. IGiGP UJ, Kraków, 205-213.

Głowicki B., Otop I., Urban G., Tomczyński K., 2005, Klimat. [w:] Opracowanie ekofizjograficzne dla województwa dolnośląskiego. Woj. Biuro Urbanistyczne we Wrocławiu, 53-62.

Kossowska-Cezak, Bajkiewicz-Grabowska, 2008, Podstawy hydrometeorologii. PWN Warszawa.

Kozłowska-Szczęsna T., Krawczyk B., Kuchcik M., 2004, Wpływ środowiska atmosferycznego na zdrowie i samopoczucie człowieka. Monografie IGiPZ PAN Warszawa, 194.

Kożuchowski K., 2011, Klimat Polski. Nowe spojrzenie. PWN Warszawa.

Kożuchowski K., Żmudzka E., 2003, 100-year series of areally averaged temperatures and precipitation totals in Poland. [w:] Man and climate in the 20th century. Acta Universitatis Wratislaviensis, Studia Geogr. 75, 116-122.

Kuchcik M., 2006, Fale upałów w Polsce w latach 1993-2002. Przegląd Geograficzny, vol. 78, 3, 397-412.

Kuchcik M., 2013, The attempt to validate the applicability of two climate models for the evaluation of heat wave related mortality in Warsaw in the 21st century, Geographia Polonica, Vol. 86, 4, 295–311.

Kunert A., Błażejczyk K., 2011, Zróżnicowanie temperatury powietrza w skali lokalnej w różnych typach krajobrazu Polski. Przegląd Geograficzny, 83,1, 15-30.

Kwiatkowski J, 1975, Zasięg fenów sudeckich i ich wpływ na mezoklimat regionów południowo-zachodniej i środkowej Polski. Przegląd Geofizyczny, 20(28),1, 69-90.

Lewińska J.,2000, Klimat miasta – zasoby, zagrożenia, kształtowanie. Inst. Gosp. Przestrz. Komun., Kraków, 151.

Lewińska J., 2006, Ochrona klimatu miasta – potrzeba i możliwości kształtowania. [w:] Klimatyczne aspekty środowiska geograficznego. IGiGP UJ, 185-192.

Lorenc H., 2012, Struktura maksymalnych prędkości wiatru w Polsce. [w:] Klęski żywiołowe a bezpieczeństwo wewnętrzne kraju. Tom 3. Seria: Monografie IMGW-PIB.

Łupikasza E., 2010, Genetyczne typy opadów ekstremalnych w sezonie letnim w Polsce oraz ich zmienność wieloletnia w okresie 1951-2007. [w:] Klimat Polski na tle klimatu Europy. Warunki termiczne i opadowe. Seria: studia i Prace z Geografii i Geologii nr 15. Wyd. Nauk. Bogucki, 131-144.

Oke T.R., 1982, The energetic basis of the urban heat Island. Quarterly Journal of Royal Meteorological Society, 108, 1-24.

Słownik meteorologiczny, 2003, red. T. Niedźwiedź, PTGofiz., Wyd. IMGW Warszawa.

Sobik M, Błaś M., 2010, Wyjątkowe zdarzenia meteorologiczne. [w:] Migoń P (red.), Wyjątkowe zdarzenia przyrodnicze na Dolnym Śląsku i ich skutki. Rozprawy Naukowe Instytutu Geografii i Rozwoju Regionalnego 14, UWr, 35-80.