



Załącznik 1

Tendencje zmian wybranych elementów klimatycznych i ich pochodnych w latach 1981-2015 dla Bełchatowa

Autorzy:

Tomasz Śniezek

Anna Romańczak

Danuta Limanówka

Maciej Sadowski

**przy współudziale dr hab. Katarzyny Osińskiej-Skotak i Małgorzaty Bidłasik
(w zakresie opracowania mapy powierzchniowej miejskiej wyspy ciepła)**

Warszawa 2017, Bełchatów 2019



Spis treści

1.	Wstęp.....	5
3.	Charakterystyka termiczna miasta.....	8
3.1.	Temperatura średnia powietrza	8
3.2.	Temperatura maksymalna powietrza.....	9
3.3.	Temperatura minimalna powietrza.....	10
3.4.	Okresy upałów i okresy zimna (fale upałów i fale zimna)	12
3.5.	Miejska wyspa ciepła	15
3.6.	Temperatura przejściowa i dni charakterystyczne termicznie.....	16
3.7.	Zmienność liczby dni grzewczych i chłodzących	18
4.	Charakterystyka pluwianna miasta.....	20
4.1.	Sumy miesięczne i roczne opadów.....	21
4.2.	Analiza maksymalnych miesięcznych sum opadów w wieloleciu	23
4.3.	Analiza sum dobowych opadu.....	25
4.4.	Analiza długotrwałych okresów bezopadowych	26
4.5.	Analiza prawdopodobieństwa wystąpienia maksymalnego dobowego opadu	27
5.	Pokrywa śnieżna.....	28
6.	Okresy niżówkowe	30
7.	Susze.....	31
8.	Charakterystyka warunków anemometrycznych miasta	33
8.1.	Silny i bardzo silny wiatr.....	33
8.2.	Burze	34
	Podsumowanie	36

Spis tabel

Tab. 1. Charakterystyka stacji pomiarowych Sulejów i Bełchatów.....	6
Tab. 2. Stacja wodowskazowa uwzględniona w opracowaniu	7
Tabela 3 Średnie temperatury w wieloleciu, Sulejów	9
Tab. 3. Maksymalne i minimalne średnie temperatury powietrza na stacji IMGW Sulejów (1981–2015).....	12
Tab. 5 Daty wystąpienia okresów chłodu i długość tych okresów	14
Tab. 6 Najdłuższe ciągi dni bez opadu w Bełchatowie w latach 1980-2015.....	26
Tab. 7 Liczba okresów bez opadu o czasie trwania powyżej 5 dni.....	27
Tab. 8 Wybrane charakterystyki opadów w Bełchatowie w wieloleciu 1980–2015	28
Tab. 9. Liczba niżówek w wieloleciu 1981-2015.....	30
Tab. 10. Niżówki letnie i zimowe w wieloleciu 1981–2015	30
Tab. 11 Liczba niżówek i susz hydrologicznych w wieloleciu 1981–2015.....	31
Tab. 12 Charakterystyka wielolecia 1981–2015 na podstawie wskaźnika SRI	31
Tab. 13 Liczba dni z porywem większym lub równym 17 m/s i maksymalną prędkością w porywie wiatru w Sulejowie w latach 1993-2015	34
Tab. 14 Liczba dni z burzą w Sulejowie w latach 1980-2015.....	35
Tab. 15 Wskaźniki termiczne.....	36
Tab. 16 Wskaźniki pluwalne	36
Tab. 17 Zjawiska ekstremalne	37
Tabela 18 Okresy niżówkowe i susze	37

Spis rysunków

Rys. 1. Mapa okolic Bełchatowa wraz z lokalizacją stacji meteorologicznych IMGW-PIB uwzględnionych	5
Rys. 2. Lokalizacja wodowskazu na rz. Widawce w rejonie Bełchatowa	7
Rys. 3. Wieloletnia zmienność średniej rocznej temperatura powietrza (T _{sr}), temperatury maksymalnej (T _{max}) i temperatury minimalnej (T _{min}) i trend liniowy tych temperatur w Sulejowie (1981-2015)	8
Rys. 4. Przedziały zmienności miesięcznej temperatury średniej w latach dla wielolecia 1981–2015, Sulejów.....	8
Rys. 5. Przebieg roczny maksymalnej temperatury (T _{max}) średniej (T _{sr}) i minimalnej (T _{min}) temperatury powietrza w Sulejowie (1981-2015)	9
Rys. 6. Liczba dni z temperaturą maksymalną większą od 30°C, Sulejów.....	10
Rys. 7. Zakres zmian maksymalnej temperatury w Sulejowie w wieloleciu 1981–2015, Sulejów.....	10
Rys. 8. Liczba dni z temperaturą średnią dobową mniejszą od -10°C, Sulejów	11
Rys. 9. Zakres zmian minimalnej temperatury w Sulejowie w wieloleciu 1981 – 2015, Sulejów.....	11
Rys. 10. Liczba dni upalnych (T _{max} >= 30°C) i ciągów (liczba dni >= 3 z T _{max} >= 30°C) w Sulejowie (1981-2015).....	12
Rys. 11. Liczba dni gorących (T _{max} >=25°C) i ciągów (liczba dni >= 5 z T _{max} >= 25°C) w Sulejowie (1981-2015).....	13
Rys. 12. Liczba dni z temperaturą minimalną >20°C w wieloleciu, Sulejów.....	13
Rys. 13. Okresy chłodu, przynajmniej 3 – dniowe okresy z temperaturą minimalną poniżej -10°C, Sulejów	14
Rys. 14. Powierzchniowa Miejska wyspa ciepła w Bełchatowie w dniu 12 czerwca 2015 r.....	15
Rys. 15. Liczba dni z temperaturą minimalną <0°C (T _{min} <0°C) w wieloleciu 1981–2015, Sulejów	16
Rys. 16. Liczba dni i liczba okresów z temperaturą minimalną niższa od 0°C przez co najmniej 5 dni, Sulejów	17
Rys. 17. Liczba dni z przejściem temperatury przez 0°C w roku, Sulejów	17
Rys. 18. Liczba dni z temperaturą średniodobową większą od 10°C w wieloleciu 1981–2015, Sulejów.....	18
Rys. 19. Liczba dni z dobową temperaturą maksymalną mniejszą od 0°C (T _{max} <0°C, dni mroźne) dla wielolecia 1981–2015, Sulejów	18
Rys. 20. Wskaźnik stopniodni ogrzewania w miesiącach (HDD ang. heating degreeday) w wieloleciu 1981–2015, Sulejów	19
Rys. 21. Wskaźnik stopniodni <17 ogrzewania dla lat wielolecia 1981–2015, Sulejów	19
Rys. 22. Wskaźnik stopniodni >27 chłodzenia dla lat wielolecia 1981–2015, Sulejów	20
Rys. 23. Średnie miesięczne sumy opadów w wieloleciu 1981–2015, Bełchatów	21
Rys. 24. Roczne sumy wysokości opadu w wieloleciu 1980–2015, Bełchatów	21
Rys. 25. Wieloletnia zmienność liczby dni opadem ≥1mm w Bełchatowie (1980–2015).....	22
Rys. 26. Wieloletnia zmienność liczby dni z opadem ≥10mm w Bełchatowie (1980–2015).....	22
Rys. 27. Wieloletnia zmienność liczby dni z opadem ≥20mm w Bełchatowie (1980–2015).....	23
Rys. 28. Wieloletnia zmienność liczby dni z opadem ≥30mm w Bełchatowie (1980 – 2015)	23
Rys. 29. Przebieg wieloletni maksymalnej miesięcznej sumy opadów w Bełchatowie (1980-2015)	24

Rys. 30.	Udział maksymalnych, miesięcznych sum opadów w wybranych miesiącach dla wielolecia 1980–2015, Bełchatów	24
Rys. 31.	Liczba ciągów z opadem ≥ 1 mm o czasie trwania ponad 5 dni w Bełchatowie (1980–2015).....	25
Rys. 32.	Wieloletni przebieg liczby dni z opadem ($>0,1$ mm) i temperaturą średnią dobową w zakresie od -5°C do $2,5^{\circ}\text{C}$ w Sulejowie (1981-2015).....	25
Rys. 33.	Przebieg wieloletni najdłuższego ciągu dni bez opadu w Bełchatowie (1980-2015)	26
Rys. 34.	Okresy bez opadów o czasie trwania ponad 5 dni, Bełchatów.....	26
Rys. 35.	Prawdopodobieństwo (0,2, 0,5, 1, 2, 3, 5, 10, 20 i 50%) wystąpienia maksymalnej sumy opadu o czasie trwania 24 h na stacji IMGW-PIB w Bełchatowie	27
Rys. 36.	Liczba dni z pokrywą śnieżną w sezonach 1980/1981–2014/2015, Sulejów	29
Rys. 37.	Liczba dni z pokrywą śniegu od października do maja w sezonach 1980/1981–2014/2015, Sulejów	29
Rys. 38.	Maksymalna grubość pokrywy śnieżnej w okresie od października do maja w sezonach 1980/1981–2014/2015, Sulejów	30
Rys. 39.	Liczba niżówek i susz hydrologicznych w wieloleciu 1981-2015, wodowskaz Szczerców	31
Rys. 40.	Zmienność wskaźnika SRI w wieloleciu 1981-2015 (rzeka Widawka, posterunek wodowskazowy Szczerców).....	32
Rys. 41.	Wieloletni przebieg liczby dni z porywem ≥ 17 m/s w Sulejowie w latach 1993-2015	33
Rys. 42.	Maksymalne porywy wiatru w Sulejowie w latach 1993-2015	33
Rys. 43.	Wieloletni przebieg liczby dni z burzą w Sulejowie (1980–2015).....	35
Rys. 44.	Przebieg roczny średniej miesięcznej liczby dni z burzą w Sulejowie (1980–2015).....	35

1. Wstęp

Bełchatów jest położony w środkowej Polsce na południe od Łodzi na Wzniesieniach Południowo mazowieckich w mezoregionie Wysoczyzny Bełchatowskiej o współrzędnych geograficznych λ 51 21 49 N i ϕ 19 21 44 E (Rys. 1).



Rys. 1. Mapa okolic Bełchatowa wraz z lokalizacją stacji meteorologicznych IMGW-PIB uwzględnionych w opracowaniu

Ukształtowanie powierzchni cechuje niewielkie zróżnicowanie, wysokości bezwzględne sięgają niewiele ponad 200 m n.p.m. Klimat Bełchatowa i okolic ma charakter przejściowy, który jest kształtowany przez wpływ mas powietrza kontynentalnego (wschodnie) i oceanicznego (zachodnie). Brak większych barier orograficznych ułatwia ich przepływ zarówno w układzie południkowym jak i równoleżnikowym. Zróżnicowanie elementów meteorologicznych w Bełchatowie i okolicy przedstawiają się następująco. Średnia roczna temperatura powietrza wynosi 8,2°C (Sulejów). Ważną informacją klimatologiczną jest liczba tzw. Dni charakterystycznych. Dni upalne z temperaturą maksymalną powyżej 30,0°C występują średnio 6 dni w roku. Najdłuższy okres upałów zanotowano w roku 2015 (19 dni). Najwyższa maksymalna dobowa temperatura powietrza w Sulejowie 38,0°C odnotowana została 8 sierpnia 2013 r. Dni silnie mroźne w czasie których temperatura minimalna spada poniżej -20,0°C występują sporadycznie. Na badanym obszarze rekordowo niską temperaturę dobową powietrza -32,2°C zanotowano dwukrotnie 14 i 30 stycznia 1987 roku w Sulejowie.

Opady atmosferyczne (roczne sumy) zmieniały się od 381 mm (1989 r.) do 917 mm (2010 r.). Maksymalny dobowy opad w okresie 1981-2015 wystąpił 2007 r. i wynosił 67,5 mm. W rejonie Bełchatowa i okolic średnia roczna prędkość wiatru mieściła się w przedziale od 3 do niespełna 5 m/s. Porywy wiatru mogą przekraczać 36 m/s. Niebezpiecznym zjawiskiem są burze, a w badanym wieloleciu największą ich ilość zaobserwowano w roku 2009, bo aż 45.

Dane pomiarowe wykorzystane w opracowaniu do opisanie tendencji zmian zjawisk klimatycznych w mieście pochodzą ze stacji Bełchatów (opady) oddalonej o 6 km od centrum miasta i z najbliższej, położonej o około 36 km na wschód od miasta stacji synoptycznej IMGW-PIB w Sulejowie (Tab. 1).

Tabela 1. Charakterystyka stacji pomiarowych Sulejów i Bełchatów

Kod WMO stacji synoptycznej	Nazwa stacji	Długość geograficzna λ E	Szerokość geograficzna ϕ N	Hs Wysokość m n.p.m.
469	Sulejów	19° 51' 52''	51° 21' 10''	188
4505	Bełchatów	20° 10'	51° 58'	128

Dane pomiarowe ze stacji synoptycznej Sulejów, pomimo położenia stacji w znacznej odległości od Bełchatowa, uznano za odpowiednie do przeanalizowania tendencji zmian zjawisk klimatycznych w regionie i wskazania zagrożeń klimatycznych mających wpływ na funkcjonowanie miasta. Wartości zmiennych klimatycznych zarejestrowanych na stacji Sulejów należy traktować jako wskaźnikowe do oceny, uznając, że różnią się od wartości wskaźników, które były by mierzone w centrum miasta Bełchatowa.

W celu przeanalizowania wpływu warunków termicznych na mieszkańców Siedlec na potrzeby projektu opracowany został przez ekspertów z Wydziału Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej rozkład Miejskiej Powierzchniowej Wyspy Ciepła (MPWC) na podstawie zdjęcia satelitarnego zarejestrowanego z pokładu satelity Landsat 8. Do oceny warunków meteorologicznych i wyboru odpowiedniego terminu do oceny MPWC przeprowadzono analizy z wykorzystaniem danych ziemnych pozyskanych z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego ze stacji synoptycznej Sulejów. Na tej podstawie do wykonania i zobrazowania MPWC wybrano termin 12 czerwca 2015 r. (tak by objąć możliwie najbardziej aktualne zagospodarowanie terenu). Rozkład temperatury powierzchni obliczono na podstawie prawa Planck'a, obraz satelitarny poddano korekcji radiometrycznej i atmosferycznej.

Warunki hydrologiczne (stresory) rejonu Bełchatowa przedstawiono w oparciu o okresy niżówkowe (niskie przepływy wody w rzece) oraz niedobory wody (problem zaopatrzenia w wodę). Wykorzystano pomiary ze stacji wodowskazowej Szczerców na rzece Widawce (Rys. 2, Tab. 2).



Rys. 2. Lokalizacja wodowskazu na rz. Widawce w rejonie Bełchatowa

Tabela 2. Stacja wodowskazowa uwzględniona w opracowaniu

Stacja wodowskazowa	Rzeka	Kod	Km rzeki (wg MPHP)	Powierzchnia zlewni [km ²]	Wielolecie
Szczerców	Widawka	1750	39,7	719,32	1981-2015

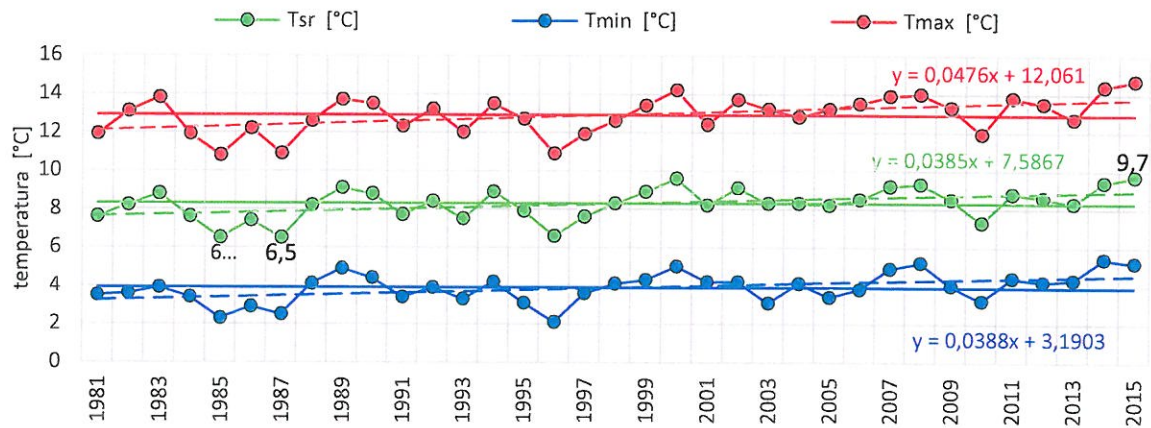
Niżówkę zdefiniowano jako okres, w którym przepływy były równe lub niższe od założonej wartości progowej przepływu, zwany również przepływem granicznym (Zielińska 1963, Ozga-Zielińska, Brzeziński 1997; Tallaksen). Stosując kryterium gospodarcze wartość przepływu granicznego przyjmuje się na poziomie Q70%, a określony na podstawie krzywej sum czasów trwania przepływów wraz z wyższymi. Niżówki są również wskaźnikiem wyznaczania susz hydrologicznych (Tokarczyk 2010).

W ocenie podatności miasta na występowania suszy hydrologicznej wykorzystano wskaźnik standaryzowany odpływu SRI (ang. Standardized Runoff Index) (Shukla, Wood, 2008). Wskaźnik charakteryzuje wilgotnościowe warunki hydrologiczne w zlewni na podstawie wielkości odpływu ze zlewni. Klasyfikację wskaźnika SRI przeprowadza się wykorzystując przedziały wartości dla standaryzowanego wskaźnika opadu (SPI).

3. Charakterystyka termiczna miasta

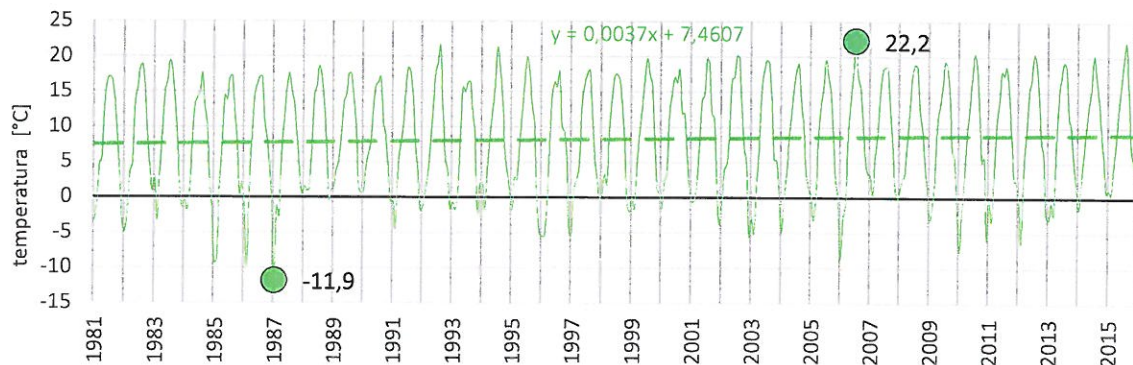
3.1. Temperatura średnia powietrza

Poniżej przedstawiono przebiegi średnich rocznych temperatur powietrza w kolejnych latach wielolecia (Rys. 3).



Rys. 3. Wieloletnia zmienność średniej rocznej temperatura powietrza (Tsr), temperatury maksymalnej (Tmax) i temperatury minimalnej (Tmin) i trend liniowy tych temperatur w Sulejowie (1981-2015)

Wartości średniej rocznej temperatury (Rys.3 wykres zielony) wahały się w przedziale od 6,5°C w latach 1985 i 1987 do 9,7°C w roku 2015. Przez cały okres wielolecia można mówić o niewielkim, dodatnim trendzie tych zmian. Temperatura średnia roczna wzrasta około 0,4°C na każde dziesięć lat. Średnia temperatura z wielolecia wyniosła 8,2°C.



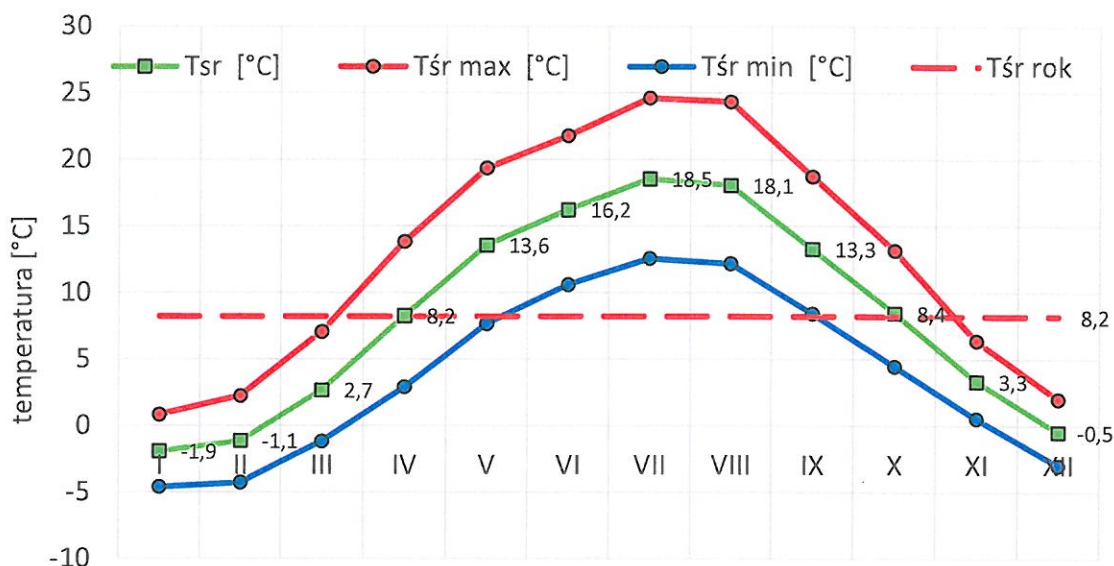
Rys. 4. Przedziały zmienności miesięcznej temperatury średniej w latach dla wielolecia 1981–2015, Sulejów

Temperatury średnie miesięczne zmieniały się od -11,9°C w styczniu 1987 r. do 22,2°C w lipcu 2006 r. (Rys. 4). Widać z tego wykresu, że znaczna część wyników średnich miesięcznych temperatur miała wartości dodatnie. Dla całego wielolecia średnie temperatury przedstawione zostały w tabeli 3.

Tabela 3. Średnie temperatury w wieloleciu, Sulejów

Temperatura średnia [°C]	Temperatura średnia maksymalna [°C]	Temperatura średnia minimalna [°C]
8,2	12,9	3,9

Na rysunku 5 przedstawiono zmienność średnich temperatur miesięcznych obliczonych jako wartości średnie dla kolejnych miesięcy wszystkich lat wielolecia.

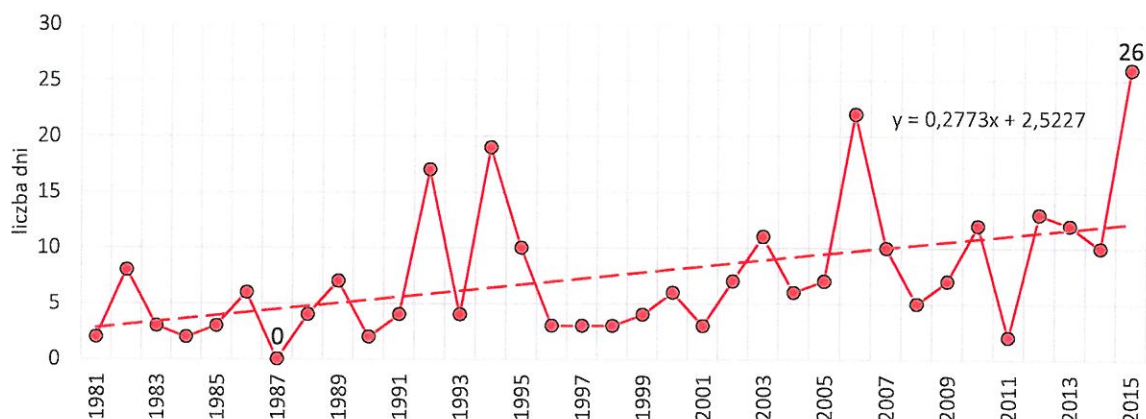


Rys. 5. Przebieg roczny maksymalnej temperatury (Tmax) średniej (Tsr) i minimalnej (Tmin) temperatury powietrza w Sulejowie (1981-2015)

Styczeń jest w wieloleciu najchłodniejszym miesiącem ze średnią temperaturą wynoszącą $-1,9^{\circ}\text{C}$ oraz temperaturami: średnią minimalną $-4,6^{\circ}\text{C}$ oraz średnią maksymalną $0,8^{\circ}\text{C}$. Najcieplejszym miesiącem w wieloleciu jest lipiec ze średnią temperaturą $18,5^{\circ}\text{C}$ oraz temperaturami: średnią minimalną $12,6^{\circ}\text{C}$ oraz średnią maksymalną $24,6^{\circ}\text{C}$.

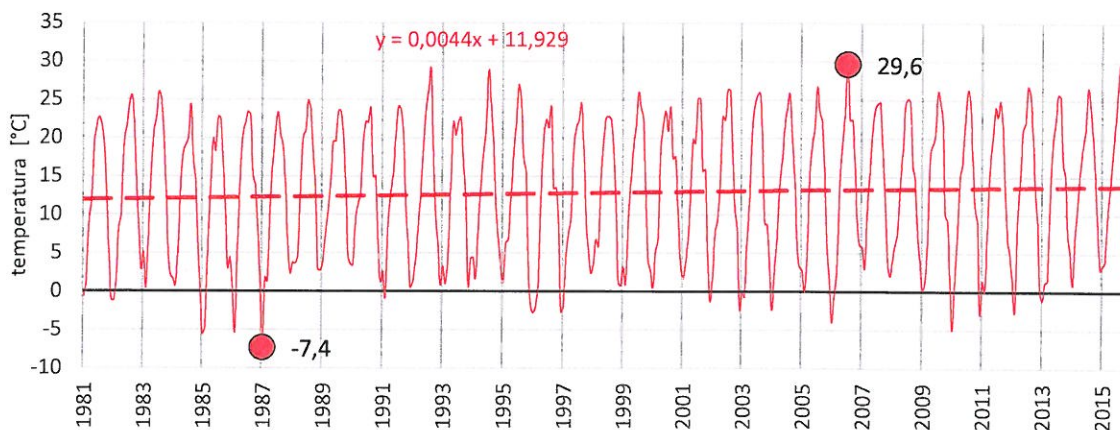
3.2. Temperatura maksymalna powietrza

Wskaźnikiem zmian temperatury powietrza jest temperatura maksymalna w wieloleciu. Wyznacza się wartość percentyla 98% temperatury maksymalnej, czyli wartość temperatury, powyżej której znajduje się 2% przypadków. Dla stacji Sulejów ta graniczna wartość temperatury to $30,0^{\circ}\text{C}$. Na rysunku 6 przedstawiono liczbę dni, kiedy wartość temperatury średniodobowej przekracza wartość 30°C . Najmniej dni z taką temperaturą było w roku 1987 (zero dni) natomiast najwięcej w roku 2015 (26 dni). Liczba dni upalnych konsekwentnie rosła w ciągu wielolecia o ok. 2,8 dnia na dekadę.



Rys. 6. Liczba dni z temperaturą maksymalną większą od 30°C, Sulejów

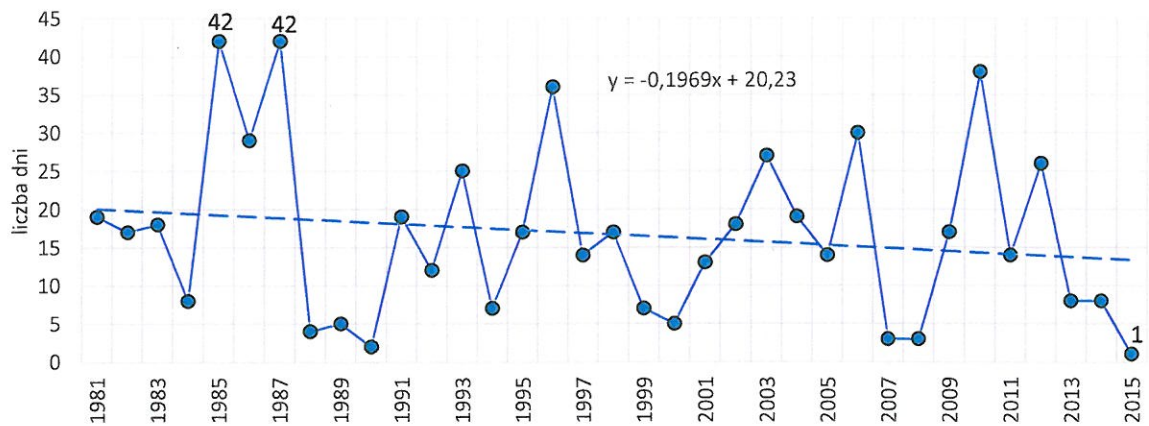
Średnia miesięczna temperatura maksymalna wzrasta o około 0,5°C w skali dziesięciolecia (Rys. 7). Najniższą wartość osiągnęła w roku styczniu 1987 – -7,4°C a najwyższą w lipcu roku 2006 – 29,6°C.



Rys. 7. Zakres zmian maksymalnej temperatury w Sulejowie w wieloleciu 1981–2015, Sulejów

3.3. Temperatura minimalna powietrza

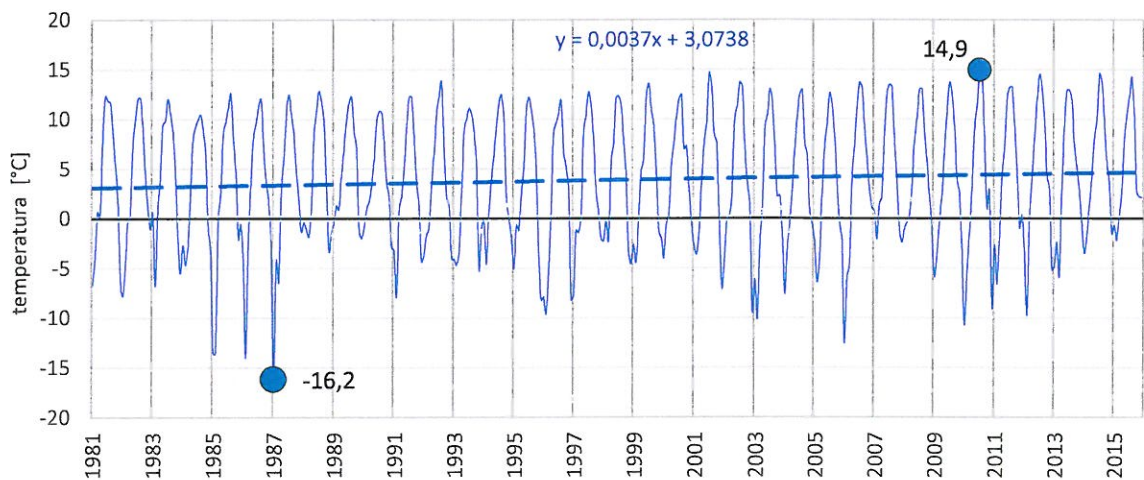
Podobnie jak dla temperatury maksymalnej policzona została temperatura minimalna dla percentyla 2%, której wartość wyniosła -14,4°C. Oznacza to, że 2% wyników temperatury minimalnej znajduje się poniżej tej wartości.



Rys. 8. Liczba dni z temperaturą średnią dobową mniejszą od -10°C, Sulejów

Liczba dni z temperaturą minimalną mniejszą niż -10°C systematycznie spada w tempie około 1,9 dnia w ciągu dekady (Rys. 8). Najwięcej dni z taką temperaturą było w latach 1985 i 1987 (42) a najmniej w roku 2015 (1).

Średnia miesięczna temperatura minimalna wzrasta o około 0,4°C w skali dziesięciolecia (Rys. 9).



Rys. 9. Zakres zmian minimalnej temperatury w Sulejowie w wieloleciu 1981 – 2015, Sulejów

Najniższą wartość -16,2°C osiągnęła w styczniu roku 1987 natomiast najwyższą 14,9°C w lipcu roku 2010.

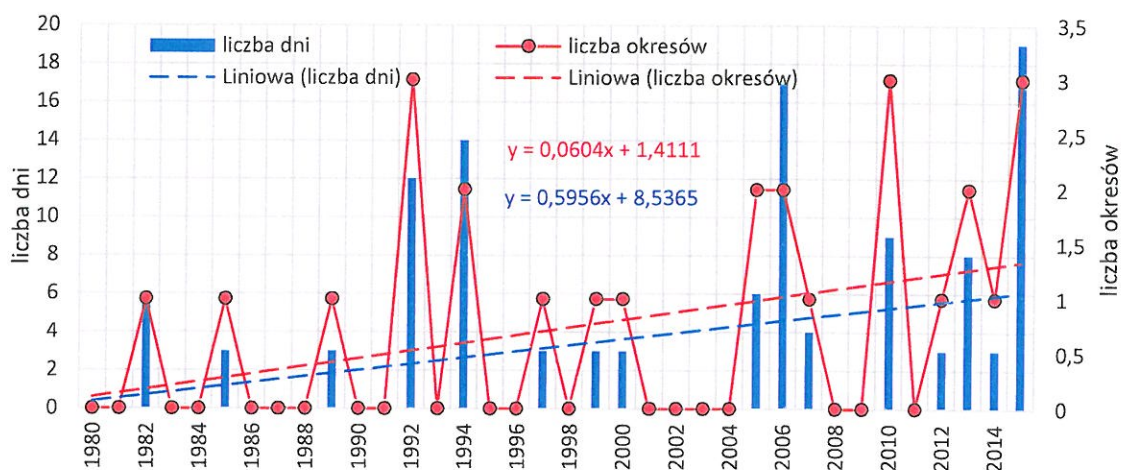
Najwyższa średnia maksymalna temperatura stycznia 5,9°C – najzimniejszego miesiąca wielolecia – miała miejsce w roku 2007 a najniższa minimalna -16,2°C w roku 1987. Najwyższa średnia maksymalna temperatura lipca 29,6°C – najcieplejszego miesiąca roku – miała miejsce w roku 2006 a najniższa minimalna 10°C w roku 1984.

Tabela 4. Maksymalne i minimalne średnie temperatury powietrza na stacji IMGW Sulejów (1981–2015)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Tmax [°C]	5,9	8,9	11,5	18,1	22,8	24,4	29,6	29,4	22,4	17,6	10,5	7,3
Tmin [°C]	-16,2	-14,0	-6,4	0,2	5,0	9,3	10,0	10,4	6,9	1,0	-5,2	-9,3

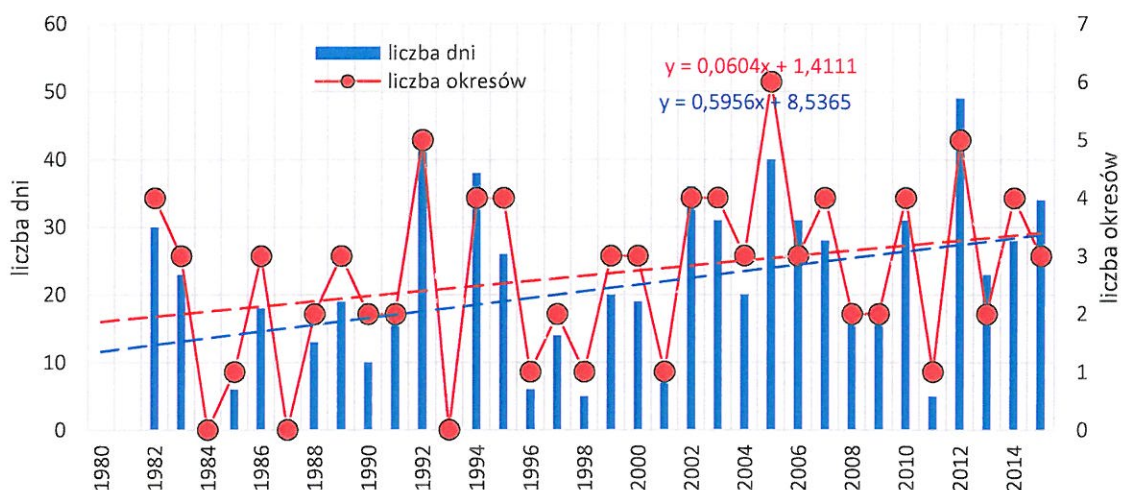
3.4. Okresy upałów i okresy zimna (fale upałów i fale zimna)

Fale upałów definiowane są jako okresy przynajmniej trzech dni z temperaturą maksymalną powietrza powyżej 30°C. W Sulejowie miały miejsce w ciągu szesnastu lat badanego wielolecia. Analizując wykres na rysunku 10 można stwierdzić jednak, że zarówno liczba okresów (fal) przynajmniej trzydniowych wzrasta o około 0,6 okresu na każde dziesięciolecie, jak i rośnie liczba dni w okresie w tempie 5,9 dnia na dekadę. Oznacza to średni trend wzrostowy liczby i długości fal upałów pomimo braku tego zjawiska w wielu latach wielolecia.



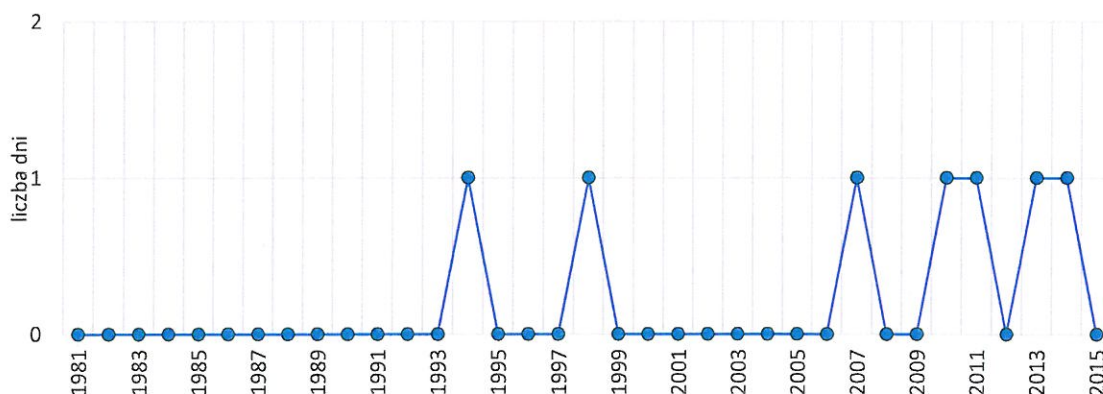
Rys. 10. Liczba dni upalnych ($T_{max} \geq 30^{\circ}\text{C}$) i ciągów (liczba dni ≥ 3 z $T_{max} \geq 30^{\circ}\text{C}$) w Sulejowie (1981-2015)

Najdłuższą falę upałów zanotowano w roku 2015 (19 dni) natomiast największą liczbę fal (3) zanotowano w latach 1992, 2010 i 2015.



Rys. 11. Liczba dni gorących ($T_{max} \geq 25^{\circ}\text{C}$) i ciągów (liczba dni ≥ 5 z $T_{max} \geq 25^{\circ}\text{C}$) w Sulejowie (1981-2015)

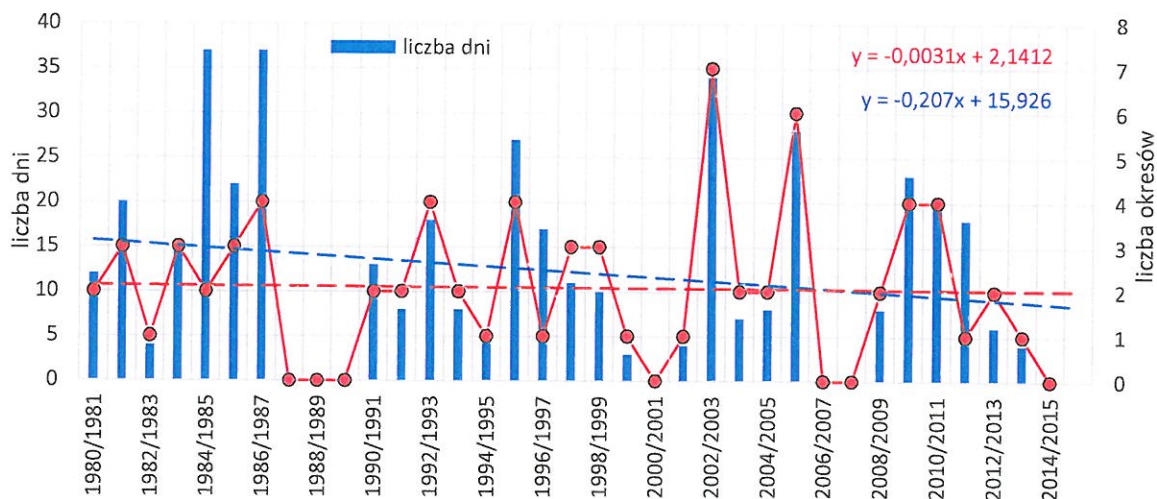
Liczba dni gorących z temperaturą maksymalną większą od 25°C ($T_{max} > 25^{\circ}\text{C}$) i bez opadu przez 3 lub więcej kolejnych dni wzrasta w tempie około 5,9 dnia w ciągu dekady (Rys. 11). Najmniej takich dni było w latach 1998 i 2011 (po 4 dni) natomiast najwięcej ich było w roku 2012 (49 dni).



Rys. 12. Liczba dni z temperaturą minimalną $> 20^{\circ}\text{C}$ w wieloleciu, Sulejów

Na uwagę zasługuje nieznaczny wzrost liczby dni z temperaturą minimalną większą od 20°C (Rys. 12) co potwierdza tezę o wzroście temperatury średniej.

Okresy chłodu definiowane są jako okresy przynajmniej 3 – dniowe z temperaturą minimalną poniżej -10°C .



Rys. 13. Okresy chłodu, przynajmniej 3 – dniowe okresy z temperaturą minimalną poniżej -10°C , Sulejów

W Sulejowie okresów chłodu i liczby dni z temperaturą minimalną poniżej -10°C jest znacznie więcej niż okresów upału. Niemniej okresy chłodu występują coraz rzadziej – ich spadek dokonuje się bardzo wolno z prędkością około 0,03 okresu w ciągu dekady. Podobnie zmniejsza się liczba dni z taką temperaturą o około 2 dni na dekadę (Rys. 13).

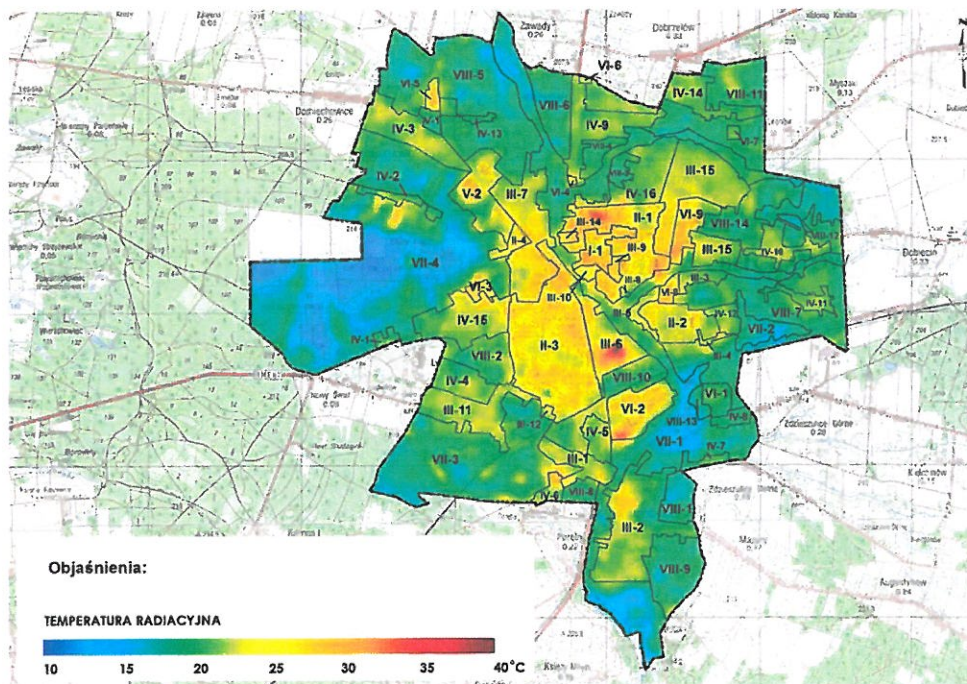
Tabela 5. Daty wystąpienia okresów chłodu i długość tych okresów

początek okresu (data)	czas trwania okresu (liczba dni)	początek okresu (data)	czas trwania okresu (liczba dni)	początek okresu (data)	czas trwania okresu (liczba dni)
1980-12-1	8	1993-1-30	3	2004-1-3	4
1981-1-7	4	1993-3-4	3	2004-2-11	3
1981-12-16	4	1993-11-18	3	2005-2-6	5
1981-12-21	3	1994-2-13	5	2005-2-27	3
1982-1-8	13	1995-12-27	5	2006-1-8	5
1983-2-14	4	1996-1-21	9	2006-1-16	3
1983-12-1	4	1996-2-2	10	2006-1-20	10
1983-12-11	6	1996-3-8	3	2006-2-4	4
1984-2-15	5	1996-12-24	17	2006-2-27	3
1985-1-2	20	1997-12-15	4	2006-3-7	3
1985-2-7	17	1998-1-25	3	2009-1-5	5
1986-2-4	6	1998-1-31	4	2009-2-20	3
1986-2-11	5	1998-11-20	4	2009-12-17	6
1986-2-21	11	1998-12-2	3	2010-1-3	4
1987-1-7	16	1999-1-29	3	2010-1-20	9
1987-1-27	9	2000-1-22	3	2010-3-7	4
1987-3-1	7	2002-1-3	4	2010-11-30	6
1987-3-11	5	2002-12-8	6	2010-12-16	4
1991-1-17	3	2002-12-23	5	2010-12-27	3
1991-1-30	10	2002-12-31	3	2011-2-20	7
1991-12-8	3	2003-1-5	8	2012-1-27	18
1992-1-21	5	2003-2-1	3	2012-12-8	3
1992-12-23	6	2003-2-11	4	2013-3-23	3
1993-1-1	6	2003-2-22	5	2014-1-24	4

W ciągu siedmiu sezonów zimowych zjawisko okresów chłodu nie wystąpiło. Najwięcej okresów chłodu wystąpiło w sezonie zimowym 2002/2003. Było ich 7. Najdłużej chłody utrzymywały się w sezonach 1984/1985 i 1986/1987 – 37 dni (Tab. 5).

3.5. Miejska wyspa ciepła

Miejska wyspa ciepła (MWC) definiowana jest jako zjawisko klimatyczne polegające na występowaniu podwyższonej temperatury powietrza w mieście w stosunku do otaczających je terenów peryferyjnych (niezabudowanych). W związku z brakiem danych o temperaturze powietrza w różnych obszarach miasta opracowano tzw. powierzchnię miejską wyspę ciepła (powierzchniowa MWC). To obraz dostarczający informacji o temperaturze różnych powierzchni, a zatem nie o temperaturze powietrza, ale umożliwiający ocenę zróżnicowania termicznego różnych części miasta istotną w ocenie wrażliwości miasta na zagrożenia klimatyczne. W tym celu na opracowaną mapę nałożono obszary wrażliwości miasta (Rys. 14).



Rys. 14. Powierzchniowa Miejska wyspa ciepła w Bełchatowie w dniu 12 czerwca 2015 r.

Na podstawie utworzonej mapy powierzchniowej MWC przeprowadzono analizę przestrzenną warunków termicznych na obszarze Bełchatowa. Zaobserwowano duże kontrasty termiczne w obrębie miasta. Różnice wartości temperatury powierzchni pomiędzy wyznaczonymi obszarami wrażliwości dochodzą do 30°C.

W przestrzeni miasta w sposób wyraźny wyróżnia się cieplejsze centrum z temperaturą powierzchni przekraczającą 25°C. Ten fragment Bełchatowa obejmuje obszar zabudowy śródmiejskiej (I), tereny przemysłowe i składowe, w tym tereny kolejowe, wielkie centra handlowe i inne technicznie zainwestowane (VI) oraz centralnie położone osiedla mieszkaniowe wielorodzinne (II) i obszary

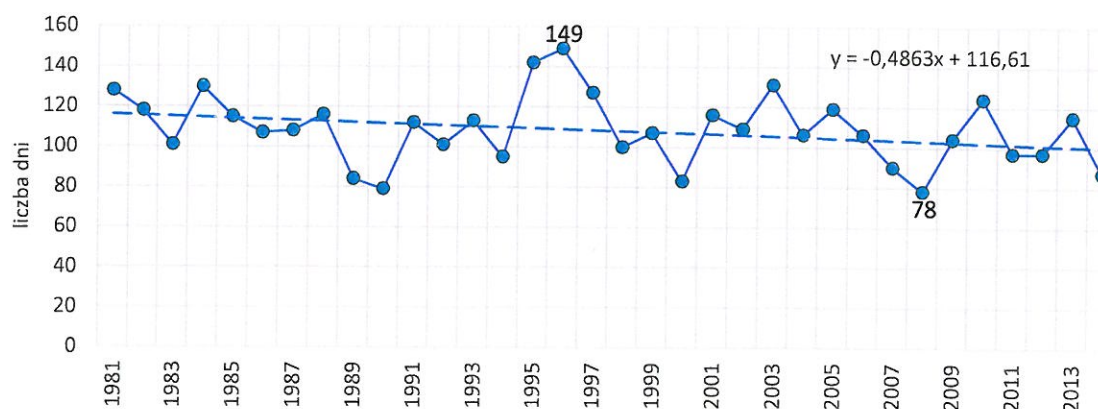
intensywnej zabudowy jednorodzinnej (III). Na tym terenie temperatura powierzchni miejscowo zwiększa się do ponad 35°C, a punktowo dochodzi do 40°C. Najwyższe wartości temperatury powierzchni odnotowano na obszarze określanym jako tereny przemysłowe i składowe, w tym tereny kolejowe, wielkie centra handlowe i inne technicznie zainwestowane, ale także na obszarach o zabudowie mieszkaniowej (osiedle wielorodzinne (II-1) i jednorodzinne o zabudowie intensywnej (III 6), co świadczy o bardzo intensywnym zagospodarowaniu tych terenów. W ścisłym centrum miasta zaznacza się jako chłodniejszy wąski pas doliny rzeki Rakówki, z temperaturą powierzchni 15°C–20°C.

Na przeważającej części obszarów położonych na obrzeżach miasta zmniejsza się temperatura powierzchni do poniżej 20°C, miejscami jednak dochodzi do 30°C na terenach usług o swobodnej lokalizacji, obszarze określanym jako tereny przemysłowe i składowe, w tym tereny kolejowe, wielkie centra handlowe i inne technicznie zainwestowane, oraz terenach o znaczącym udziale budynków mieszkalnych (zabudowa jednorodzinna intensywna i ekstensywna).

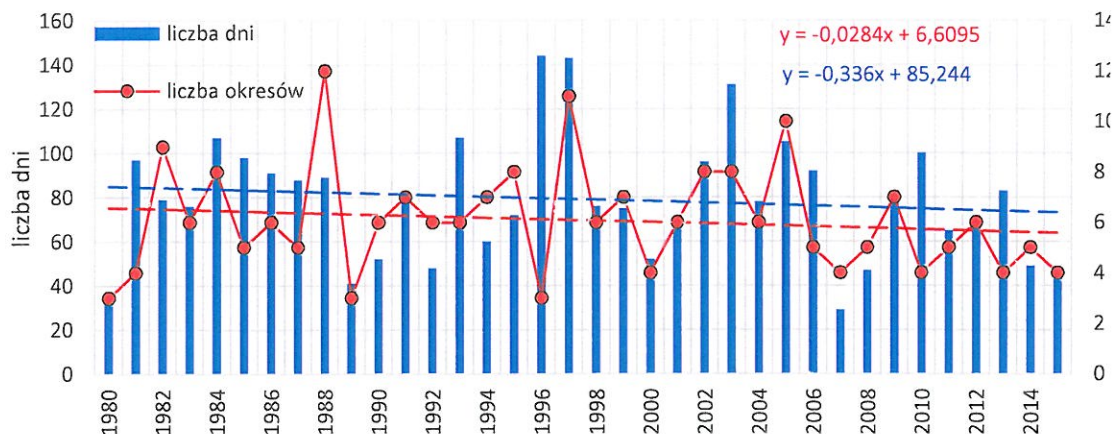
Osnowa przyrodnicza miasta obejmująca dolinę rzeki Rakówki i jej dopływów oraz tereny zielone to obszar o temperaturze powierzchni poniżej 20°C. Należy zauważyć, że najniższe wartości temperatury, około 10°C, występują na obszarze, gdzie znajdują się akwenty wodne.

3.6. Temperatura przejściowa i dni charakterystyczne termicznie

Rysunek 15 przedstawia liczbę dni z temperaturą minimalną mniejszą od 0°C ($T_{min} < 0^{\circ}C$). Jest to liczba dni z przymrozkami. Największa liczba dni spełniających to kryterium wystąpiła w roku 1996 (149 dni) najmniejsza natomiast w roku 2008 (78 dni). Liczba dni z przymrozkami stopniowo maleje w tempie około 5 dni w ciągu dziesięciu lat.



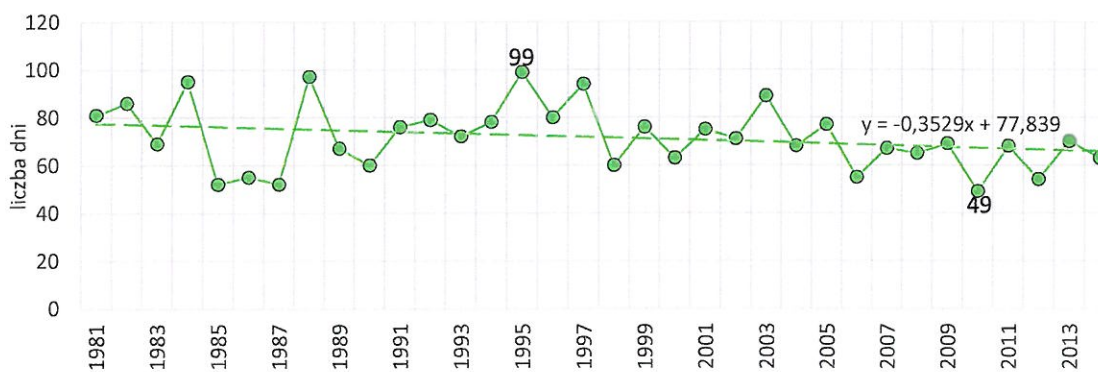
Rys. 15. Liczba dni z temperaturą minimalną $< 0^{\circ}C$ ($T_{min} < 0^{\circ}C$) w wieloleciu 1981–2015, Sulejów



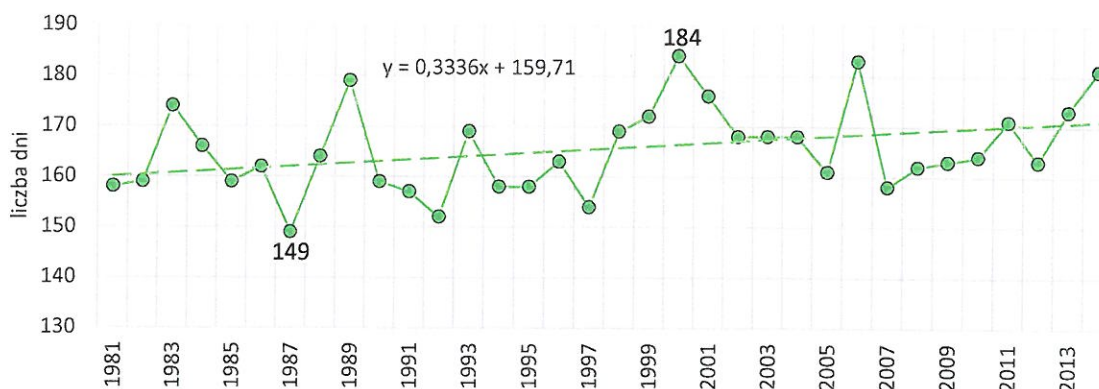
Rys. 16. Liczba dni i liczba okresów z temperaturą minimalną niższą od 0°C przez co najmniej 5 dni, Sulejów

Liczba dni i liczba okresów z temperaturą minimalną niższą od 0°C przez co najmniej 5 dni z upływem czasu również wykazuje tendencję spadkową (Rys. 16). Liczba okresów spada w dziesięciolecie o około 0,3 okresu, natomiast liczba dni ze wzmiarkowaną temperaturą spada o około 3,4 dnia na dziesięciolecie. Największą liczbę okresów z temperaturą minimalną mniejszą niż 0°C przez co najmniej 5 dni zanotowano w roku 1988 (12) natomiast najmniejszą w latach 1980, 1989 i 1996 (3).

Liczba dni, w czasie których temperatura powietrza przechodzi przez punkt 0°C spada sukcesywnie o około 3,5 dnia w dziesięciolecie (Rys. 17). Największą liczbę takich dni zanotowano w roku 1995 (99) a najmniejszą w roku 2010 (49).

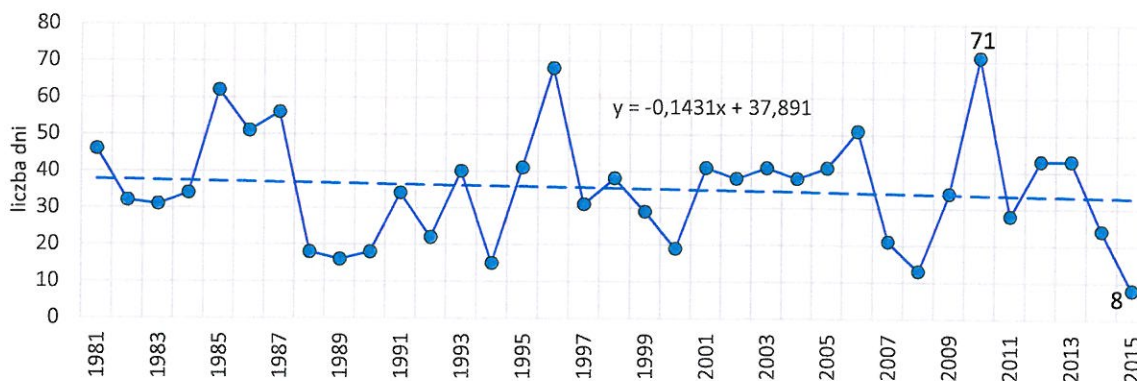


Rys. 17. Liczba dni z przejściem temperatury przez 0°C w roku, Sulejów



Rys. 18. Liczba dni z temperaturą średniodobową większą od 10°C w wieloleciu 1981–2015, Sulejów

Wzrasta natomiast liczba dni ze średniodobową temperaturą większą niż 10°C w tempie około 3,3 dnia w ciągu dziesięciolecia (Rys.18). Minimalna liczba takich dni wystąpiła w roku 1987 i wyniosła 149 przypadków. Maksymalna liczba dni wystąpiła w roku 2000 i wyniosła 184 przypadki.



Rys. 19. Liczba dni z dobową temperaturą maksymalną mniejszą od 0°C (Tmax<0°C, dni mroźne) dla wielolecia 1981–2015, Sulejów

Spada również liczba dni mroźnych z temperaturą maksymalną mniejszą od 0°C (Tmax<0°C) o około 1,4 dnia w ciągu dziesięciolecia. Najniższe wartości tego wskaźnika zanotowano w roku 2015 (8 dni) natomiast najwyższe w roku 2010 (71 dni).

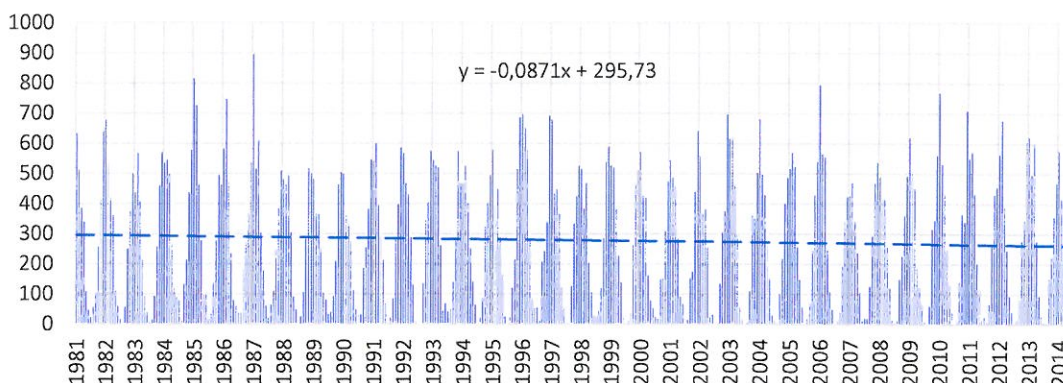
3.7. Zmienność liczby dni grzewczych i chłodzących

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

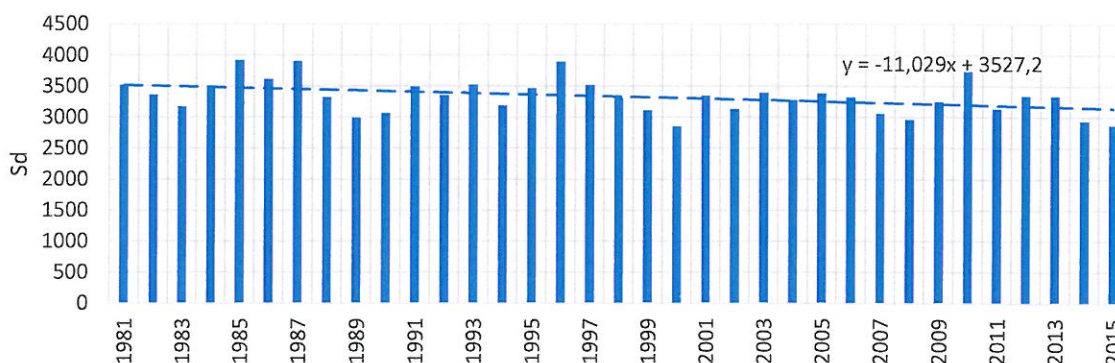
$$Sd(17^{\circ}\text{C}) = \sum_{i=1}^n [17^{\circ}\text{C} - t_{sr}(i)] \text{ dla } t_{sr}(i) \leq 15^{\circ}\text{C}$$

$Sd(17^{\circ}C) = 0$ dla $t_{sr}(i) > 15^{\circ}C$

Wartość tego wskaźnika dla kolejnych miesięcy wielolecia przedstawiono na rysunku 20.



Rys. 20. Wskaźnik stopniodni ogrzewania w miesiącach (HDD ang. heating degree day) w wieloleciu 1981–2015, Sulejów



Rys. 21. Wskaźnik stopniodni <17 ogrzewania dla lat wielolecia 1981–2015, Sulejów

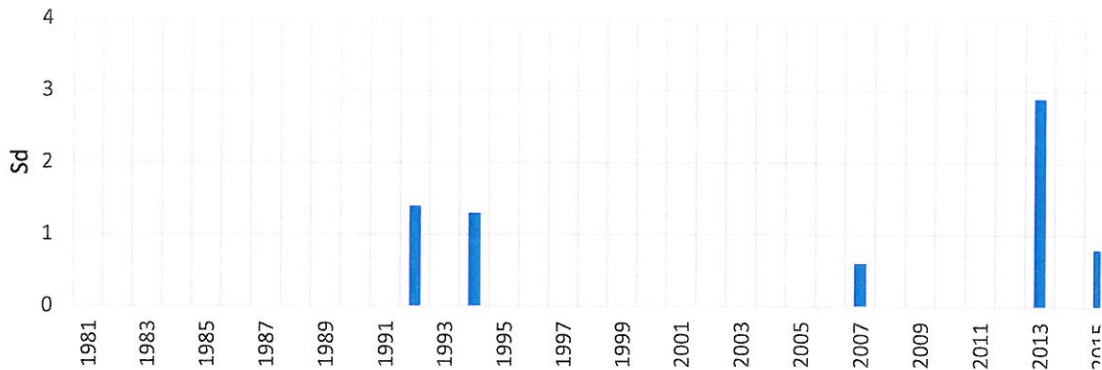
Na rysunku 21 przedstawiono wartości wskaźnika HDD dla kolejnych lat wielolecia. Widać na tym wykresie wyraźny trend spadkowy wskaźnika w tempie około 110 stopniodni w skali dziesięciolecia. Oznacza to mniejsze zapotrzebowanie na energię potrzebną do ogrzewania lokali użytkowych przy niskich temperaturach.

W okresach letnich nadmierny ($t_{sr} \geq 27^{\circ}C$) wzrost temperatury wymaga włączania klimatyzacji i chłodzenia lokali użytkowych. Liczbę stopniodni chłodzenia wyznacza się w tym wypadku z zależności:

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

$$Sd(27^{\circ}C) = 0 \text{ dla } t_{sr}(i) < 27^{\circ}C$$

W pięciu lat średnie temperatury dobowe przekroczyły poziom temperatury $27^{\circ}C$, powyżej którego wymagane było chłodzenie mieszkań (Rys. 22).



Rys. 22. Wskaźnik stopniodni >27 chłodzenia dla lat wielolecia 1981–2015, Sulejów

Pomimo niewielkiej liczby wskaźnik ten rośnie w tempie około 0,14 stopniodnia na dziesięciolecie. Nie widać więc bardzo poważnego problemu związanego z chłodzeniem za pomocą urządzeń klimatyzacyjnych.

4. Charakterystyka pluwialna miasta

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 nawałne powodujące wezbrania i powodzie lokalne typu flashflood. 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.

Podstawowym materiałem źródłowym do realizacji zadania badawczego były zbiory dobowych sum opadów atmosferycznych, które wystąpiły w okresie 1981-2015 pozyskane z Centralnej Bazy Danych Historycznych IMGW. Podstawowym materiałem badawczym były dobowe sumy opadów w wybranych miastach ze szczególną analizą opadów o wysokości >10 mm, >20mm oraz >30 mm. Jednostką czasową przyjętą do analizy intensywnych opadów dobowych była standardowa doba opadowa (okres 24 godzin, od 06 do 06 czasu UTC). Opad dobowy o wysokości >30mm stanowi także progową (krytyczną) wartość opadów, przy przekroczeniu której istnieje konieczność sporządzania przez biura prognoz meteorologicznych IMGW ostrzeżeń „intensywne opady deszczu”.

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

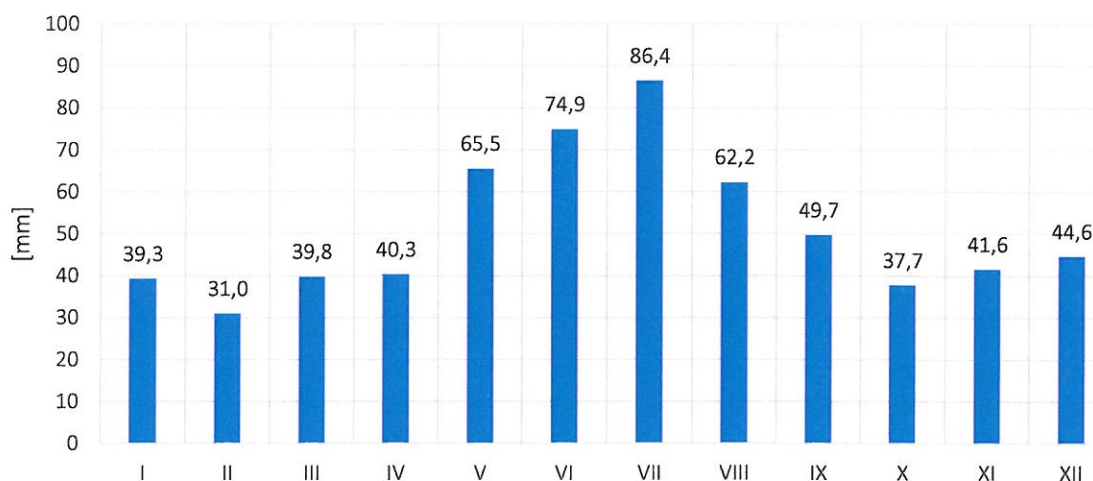
- suma miesięczne i roczna opadów,
- liczba dni z sumą dobową opadów ≥ 1 mm tj. dni z opadem
- liczba dni z sumą dobową opadów >10 mm tj. dni z opadem umiarkowanym
- liczba dni z sumą dobową opadów >20 mm tj. dni z opadem umiarkowanie silnym,
- liczba dni z sumą dobową opadów >30 mm tj. dni z opadem silnym

- maksymalny opad miesięczny,
- ciąg opadu ≥ 1 mm o czasie trwania ponad 5 dni
- liczba dni z opadem i Tśr od -5°C do $2,5^{\circ}\text{C}$
- najdłuższy okres bezopadowy (liczba dni) w roku
- prawdopodobieństwo przewyższenia maksymalnych opadów dobowych 2,3,5,10,50%

Dla w/w wskaźników obliczono wartości charakterystyczne oraz trendy.

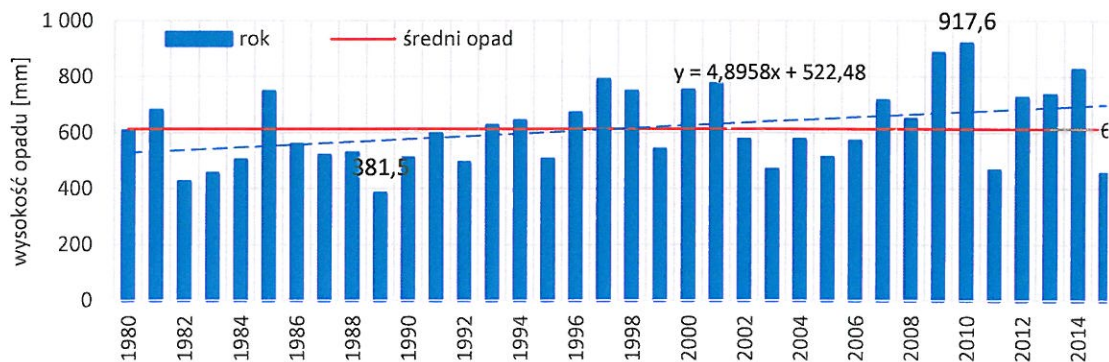
4.1. Sumy miesięczne i roczne opadów

Średnie miesięczne sumy opadów atmosferycznych przedstawione zostały na wykresie (Rys. 23). Najmniej obfitym w wieloleciu miesiącem jest luty ze średnią sumą opadów 31,0mm. Najbardziej deszczowym miesiącem w wieloleciu jest lipiec, kiedy średnio spadało 86,4mm opadu.



Rys. 23. Średnie miesięczne sumy opadów w wieloleciu 1981–2015, Bełchatów

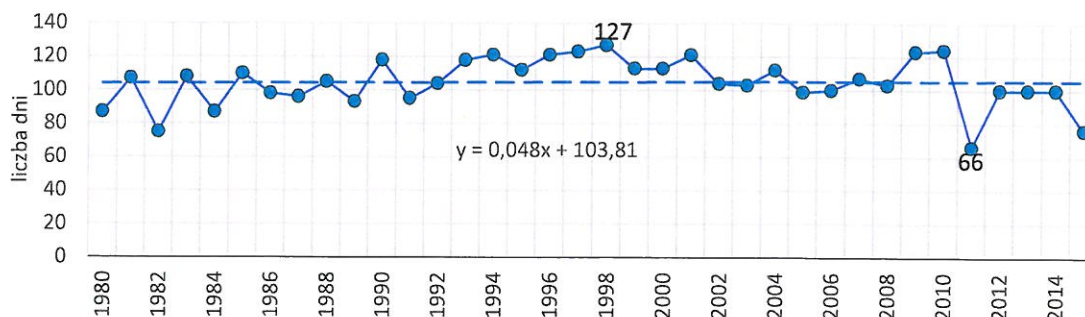
Z analizy rocznych sum opadu (Rys. 24) wynika, iż ilość wody opadowej docierającej do podłoża wzrasta średnio o 49mm opadu na dekadę.



Rys. 24. Roczne sumy wysokości opadu w wieloleciu 1980–2015, Bełchatów

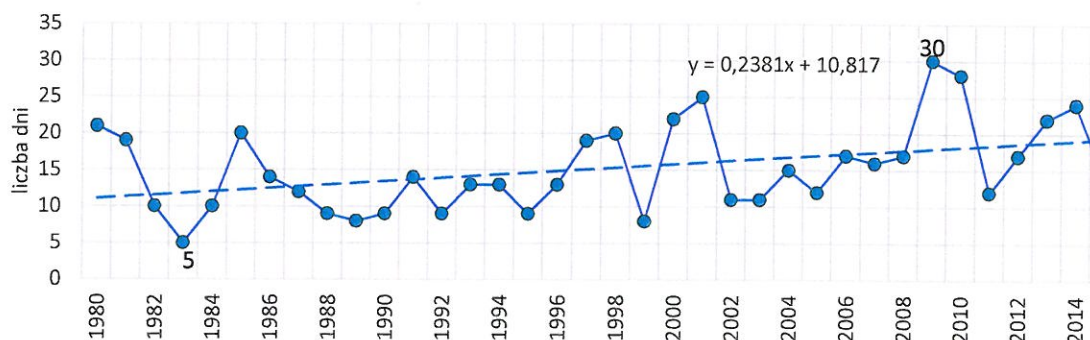
W analizowanym wieloleciu najsuchszym był rok 1989, kiedy spadło 381,5 mm opadu natomiast najmokrzejszym rokiem był rok 2010, kiedy spadło 917,6mm opadu.

Liczba dni z opadem (opad \geq 1mm) w okresie wielolecia pozostawała nieomal niezmienna. Zaobserwowano bardzo słaby spadek tej liczby na poziomie 0,5 dnia na dekadę (Rys. 25).



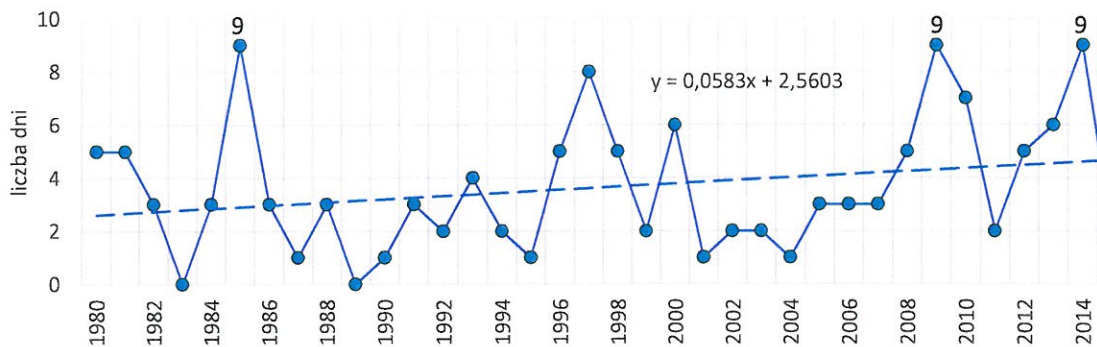
Rys. 25. Wieloletnia zmienność liczby dni opadem ≥ 1 mm w Bełchatowie (1980–2015)

Najmniej dni z opadem zanotowano w roku 2011 (66 dni – 18% roku) a najwięcej w roku 1998 (127 dni – 35% roku).



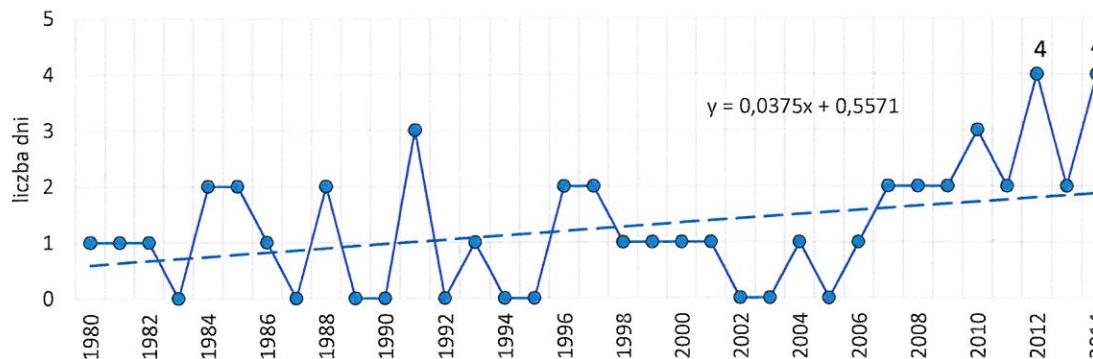
Rys. 26. Wieloletnia zmienność liczby dni z opadem ≥ 10 mm w Bełchatowie (1980–2015)

Liczba dni z opadami o większych dobowych sumach wykazuje bardziej zdecydowany, wzrostowy trend. Liczba dni z opadem równym lub większym niż 10 mm (opadem umiarkowanym) oscyluje między wartościami 5 dni w roku 1983 a 30 dni w roku 2009 (Rys. 26). Liczba dni z takim opadem wzrasta średni na dekadę o 2,4 dnia.



Rys. 27. Wieloletnia zmienność liczby dni z opadem ≥ 20 mm w Bełchatowie (1980–2015)

Liczba dni w roku z opadem równym lub większym niż 20mm (opadem umiarkowanie silnym) zmienia się od 0 w latach 1983 i 1989 do 9 dni w latach 1985, 2009 i 2014. Powoli też wzrasta liczba dni z takim opadem o około 0,6 dnia w ciągu dziesięciolecia (Rys.27).

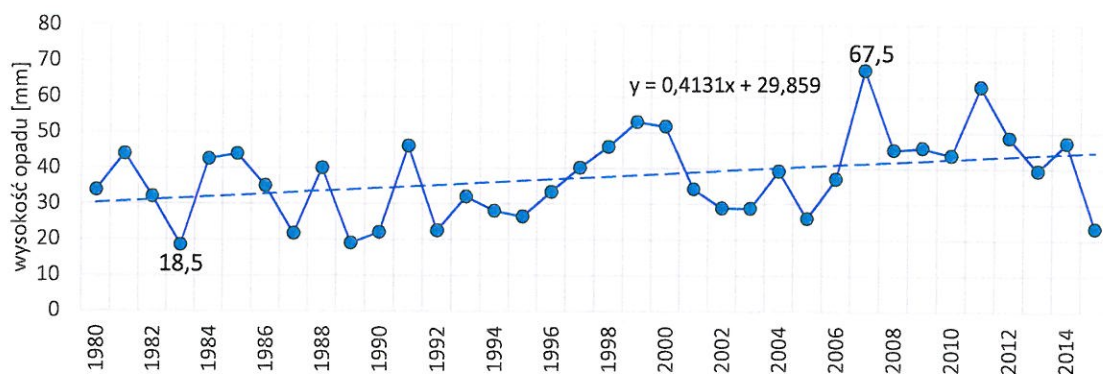


Rys. 28. Wieloletnia zmienność liczby dni z opadem ≥ 30 mm w Bełchatowie (1980 – 2015)

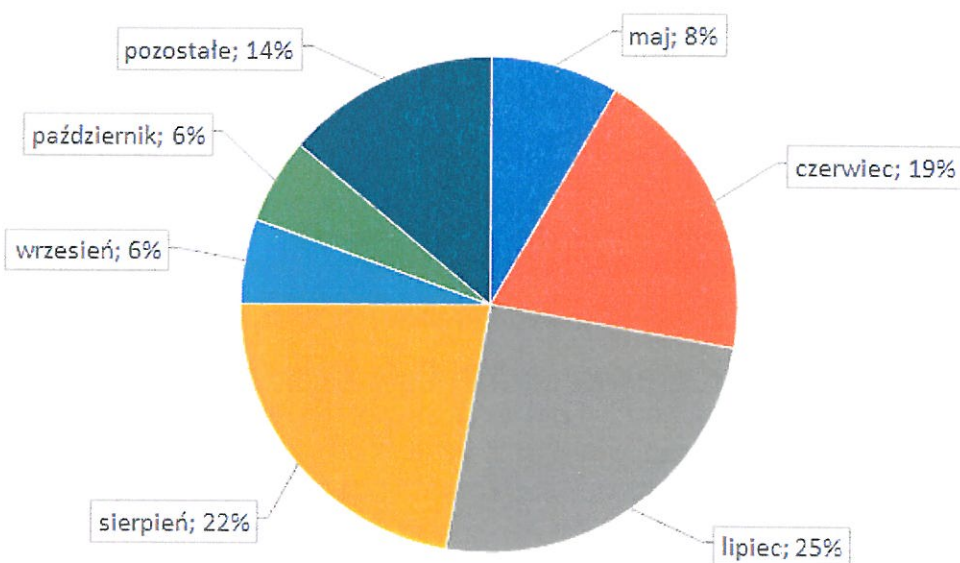
Najmniej dni opadowych zanotowano w okresie wielolecia z opadem większym lub równym niż 30mm (opad silny). Takich przypadków nie zanotowano w latach 1983, 1985, 1989–1990, 1994–1995, 2002–2003, 2005 i 2015. Po jednym przypadku rocznie zanotowano w latach 1980–1982, 1986, 1993, 1998–2001, 2004 i 2006. Po dwa przypadki zanotowano w latach 1984–1985, 1988, 1996–1997, 2007–2009, 2011 i 2013. Trzy przypadki zanotowano w latach 1991 i 2009, cztery przypadki w latach 2012 i 2014 (Rys.28).

4.2. Analiza maksymalnych miesięcznych sum opadów w wieloleciu

Maksymalne miesięczne sumy opadów w wieloleciu nie wykazują wielkiego przyrostu. Średni dekadowy wzrost wysokości tego typu opadu jest na poziomie 4,1mm pomimo zmienności zjawiska w kolejnych latach (Rys. 29). Występuje zmienność maksymalnych miesięcznych opadów od 18,5 mm (1983) do 67,5 mm (2007).



Rys. 29. Przebieg wieloletni maksymalnej miesięcznej sumy opadów w Bełchatowie (1980-2015)

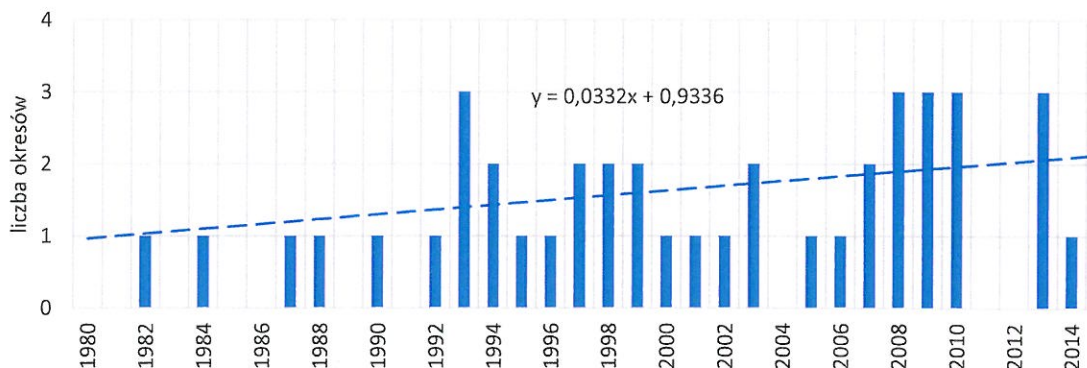


Rys. 30. Udział maksymalnych, miesięcznych sum opadów w wybranych miesiącach dla wielolecia 1980–2015, Bełchatów

Maksymalne, miesięczne sumy opadów w roku w lipcu występuje w wieloleciu najczęściej (28%) przypadków, najrzadziej w październiku (3%) (Rys. 30).

4.3. Analiza sum dobowych opadu

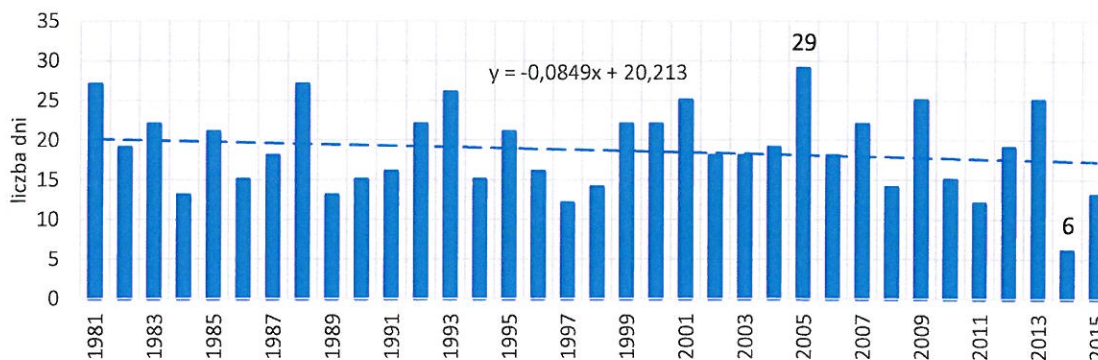
Drugą cechą charakterystyczną opadów (poza natężenie) jest długotrwałość. Długotrwały opad wnosi czasami tak dużo wody do podłoża, że nie jest ona dostatecznie szybko odprowadzana skutkując podtopieniami (a w dłuższym okresie powodziami).



Rys. 31. Liczba ciągów z opadem $\geq 1\text{mm}$ o czasie trwania ponad 5 dni w Bełchatowie (1980–2015)

Opady o czasie trwania ponad 5 dni zdarzają się coraz częściej. Liczba okresów opadowych wzrasta w okresie dziesięciolecia średnio o 0,3 okresu (Rys. 31). W niektórych latach (1980–1981, 1983, 1989, 1991, 2004 i 2011–2012) brak było takich opadów natomiast w latach 1993, 2008–2010 i 2013 zaobserwowano po trzy takie okresy.

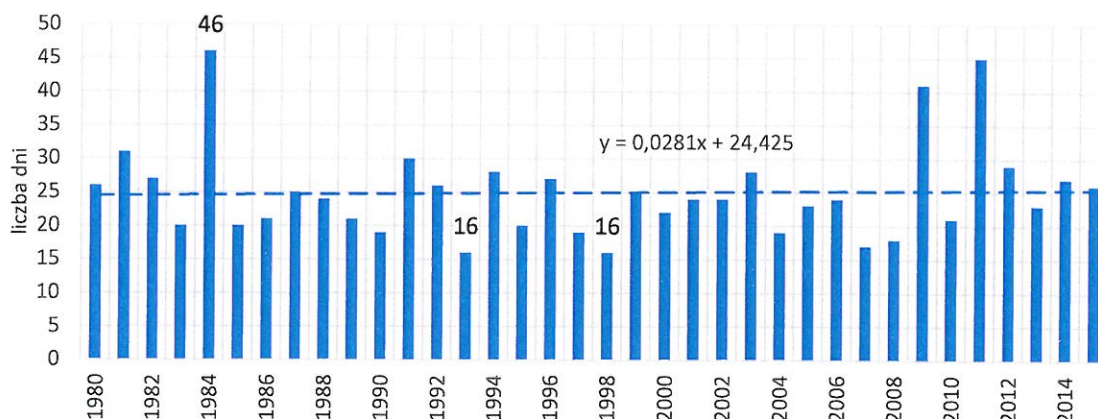
Maleje natomiast liczba dni z opadem, gdy temperatura średnia dobowa zmienia się w przedziale od -5°C do $2,5^{\circ}\text{C}$ (Rys. 32). Taka zmienność temperatury sprzyja powstawaniu gołoledzi i znacznie utrudnia warunki panujące szczególnie na drogach. Liczba dni z opadem z takimi warunkami termicznymi maleje w ciągu dziesięciolecia średnio o 0,8 dnia. Najwięcej takich dni wystąpiło w roku 2005 (29) a najmniej w roku 2014 (6).



Rys. 32. Wieloletni przebieg liczby dni z opadem ($>0,1\text{mm}$) i temperaturą średnią dobową w zakresie od -5°C do $2,5^{\circ}\text{C}$ w Sulejowie (1981-2015)

4.4. Analiza długotrwałych okresów bezopadowych

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

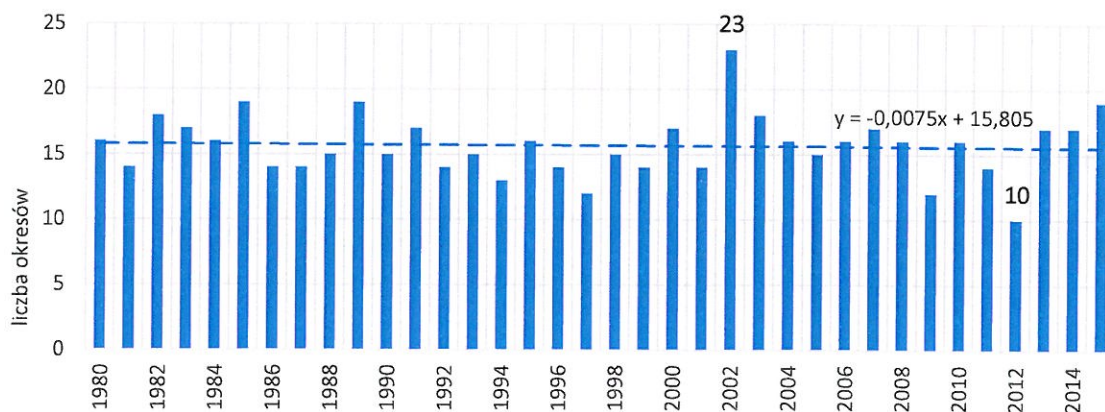


Rys. 33. Przebieg wieloletni najdłuższego ciągu dni bez opadu w Bełchatowie (1980-2015)

Powoli nasila się zjawisko przedłużania się okresów bezopadowych. Dokonuje się to z prędkością około 0,3 dnia na dziesięciolecie (Rys. 33). Długość okresów bezopadowych jest mocno zróżnicowana w wieloleciu i zmienia się od okresu 16-dniowych w latach 1993 i 1998 do okresu o długości 46 dni w roku 1984 (Tab. 6).

Tabela 6. Najdłuższe ciągi dni bez opadu w Bełchatowie w latach 1980-2015

rok	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	max	rok
liczba dni	26	31	27	20	46	20	21	25	24	21	19	30	26	16	28	20	27	19	46	1984
rok	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	min	rok
liczba dni	16	25	22	24	24	28	19	23	24	17	18	41	21	45	29	23	27	26	16	1993,1998



Rys. 34. Okresy bez opadowe o czasie trwania ponad 5 dni, Bełchatów

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.

Taka sytuacja została przedstawiona na rysunku 34. Pokazano na nim liczbę okresów o czasie trwania ponad pięć dni. Widać, że liczba okresów jest prawie niezmienna w wieloletnim okresie.

Najmniej takich okresów wystąpiło w roku 2012 (10). Najwięcej okresów wystąpiło w roku 2002 (23) (Tab. 7).

Tabela 7. Liczba okresów bez opadu o czasie trwania powyżej 5 dni

rok	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	max	rok
liczba okresów	16	14	18	17	16	19	14	14	15	19	15	17	14	15	13	16	14	12	23	2002
rok	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	min	rok
liczba okresów	15	14	17	14	23	18	16	15	16	17	16	12	16	14	10	17	17	19	10	2012

4.5. Analiza prawdopodobieństwa wystąpienia maksymalnego dobowego opadu

Prawdopodobieństwo wystąpienia maksymalnych opadów dobowych (najwyższa zanotowana wartość dla każdego roku) obliczono metodą Gumbela opartą na I rozkładzie ekstremalnym Fishera-Tippetta, uwzględniając serię największych opadów rocznych z okresu 1980-2015.

W oparciu o wyniki maksymalnych rocznych sum dobowych opadu wyznaczono opady o prawdopodobieństwie przekroczenia 0,2, 0,5, 1, 2, 3, 5, 10, 20 i 50%.



Rys. 35. Prawdopodobieństwo (0,2, 0,5, 1, 2, 3, 5, 10, 20 i 50%) wystąpienia maksymalnej sumy opadu o czasie trwania 24 h na stacji IMGW-PIB w Bełchatowie

Rysunek 35 przedstawia prawdopodobieństwo wystąpienia maksymalnego opadu dobowego (mm) o określonym p wyniki obliczeń otrzymane metodą Gumbela (Gumbel J., 1963. Statistical forecast of droughts. Bulletin of the intern ass. of Scient. Hydrology, t. VIII, nr 1). Wynika z tego rysunku, że np. raz na dwa lata należy spodziewać się maksymalnego dobowego opadu o wysokości 35,2 mm a raz na dwadzieścia lat opadu o wysokości 65,5 mm.

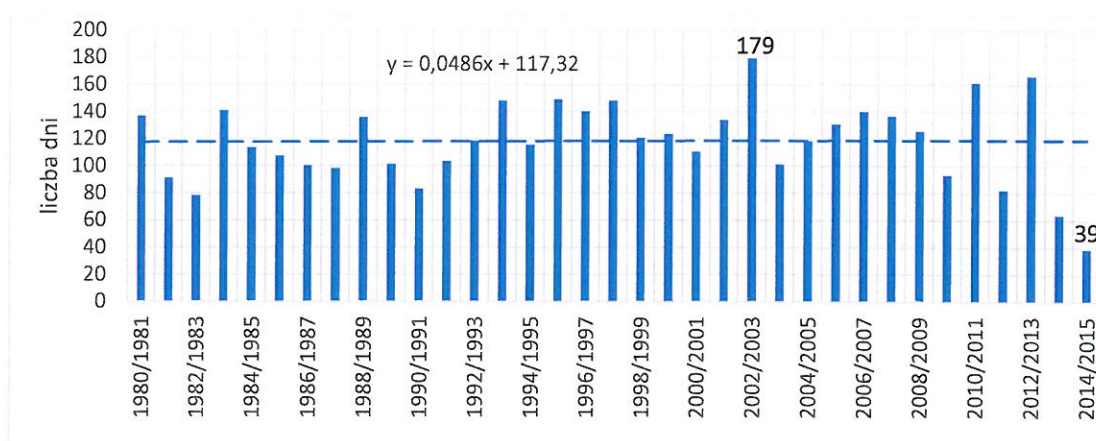
W tabeli 8 przedstawiono wybrane i opisane wcześniej charakterystyki opadów atmosferycznych, które miały miejsce w wieloleciu 1980–2015.

Tabela 8. Wybrane charakterystyki opadów w Bełchatowie w wieloleciu 1980–2015

rok	suma roczna opadów [mm]	liczba dni z opadem ≥ 1 mm	liczba dni z opadem ≥ 10 mm	liczba dni z opadem ≥ 20 mm	liczba dni z opadem ≥ 30 mm	max dobową sumą opadów roku [mm]	liczba ciągów opadu ≥ 1 mm o czasie trwania ponad 5 dni	liczba dni z pokrywą śniegu od X do V	max grubość pokrywy śniegu od V do X [cm]
1980	605,6	87	21	5	1	33,8	0		
1981	677,3	107	19	5	1	44,0	0	73	16
1982	422,8	75	10	3	1	32,0	1	72	42
1983	452,6	108	5	0	0	18,5	0	42	25
1984	500,9	87	10	3	2	42,5	1	72	12
1985	745,8	110	20	9	2	44,0	0	73	20
1986	557,3	98	14	3	1	35,0	0	76	17
1987	518,6	96	12	1	0	21,7	1	81	34
1988	526,6	105	9	3	2	40,0	1	36	8
1989	381,5	93	8	0	0	19,0	0	22	6
1990	508,1	118	9	1	0	22,0	1	26	10
1991	594,0	95	14	3	3	46,2	0	43	16
1992	491,5	104	9	2	0	22,5	1	40	9
1993	624,2	118	13	4	1	32,0	3	79	24
1994	641,6	121	13	2	0	28,0	2	44	10
1995	503,9	112	9	1	0	26,5	1	32	14
1996	668,9	121	13	5	2	33,4	1	111	11
1997	786,8	123	19	8	2	40,2	2	41	7
1998	745,2	127	20	5	1	46,0	2	41	7
1999	538,0	113	8	2	1	53,0	2	65	24
2000	750,1	113	22	6	1	51,7	1	52	23
2001	772,9	121	25	1	1	34,2	1	31	14
2002	574,5	104	11	2	0	28,9	1	62	25
2003	467,1	103	11	2	0	28,8	2	63	13
2004	574,6	112	15	1	1	39,2	0	73	16
2005	509,4	99	12	3	0	26,0	1	67	21
2006	568,3	100	17	3	1	37,1	1	117	35
2007	714,0	107	16	3	2	67,5	2	23	18
2008	646,7	103	17	5	2	45,2	3	27	3
2009	884,1	123	30	9	2	45,8	3	57	23
2010	917,6	124	28	7	3	43,7	3	83	46
2011	464,0	66	12	2	2	62,9	0	73	26
2012	724,0	100	17	5	4	48,7	0	40	11
2013	733,6	100	22	6	2	39,5	3	96	26
2014	824,9	100	24	9	4	47,2	1	21	10
2015	452,9	76	14	2	0	23,4	1	21	15

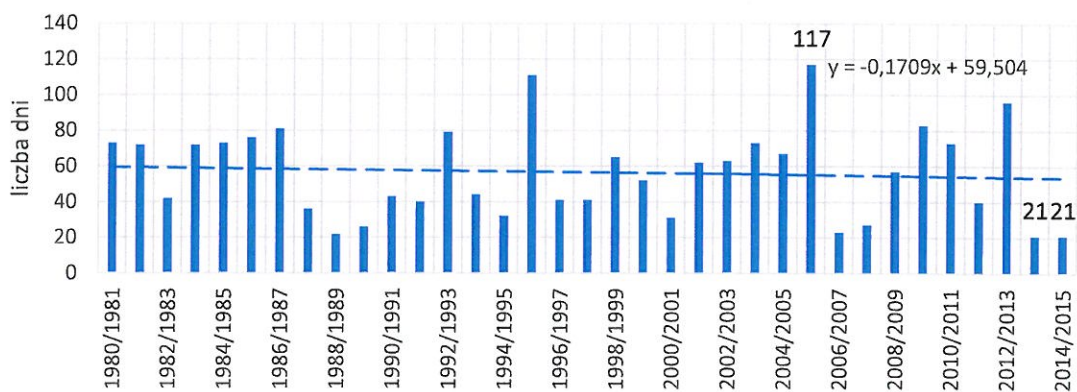
5. Pokrywa śnieżna

Okres pojawiania się i zalegania pokrywy śnieżnej różni się zarówno datą pojawienia się pierwszego śniegu jak i datą zaniku, czyli ostatniego śniegu. Dla Sulejowa najwcześniej w wieloleciu śnieg pojawił się 13 października 2002 roku, a najpóźniej 10 stycznia 2012 roku. Pokrywa śnieżna ostatecznie zanikła najwcześniej 10 lutego 2014 roku, a najpóźniej 4 maja 2011 roku.



Rys. 36. Liczba dni z pokrywą śnieżną w sezonach 1980/1981–2014/2015, Sulejów

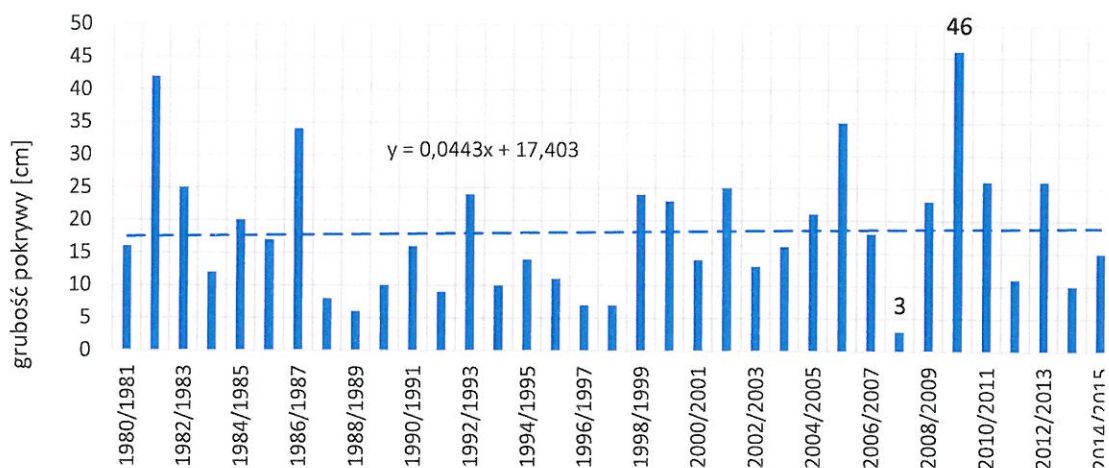
Najkrótszy okres między pojawieniem się pierwszego śniegu a zanikiem ostatniego miał miejsce w sezonie 2014/2015 i liczył 39 dni. Najdłuższy okres miał miejsce w sezonie 2002/2003 i liczył 179 dni (Rys. 36). Średnia długość tego okresu jest niemal niezmienna (wzrasta o około 0,5 dnia na dekadę).



Rys. 37. Liczba dni z pokrywą śniegu od października do maja w sezonach 1980/1981–2014/2015, Sulejów

Liczbę dni, kiedy powierzchnię ziemi pokrywała warstwa śniegu przedstawia rysunek 37. Najkrócej stała pokrywa śniegu zalegała między październikiem a majem w sezonach 2013/2014 i 2014/2015 i było to 21 dni. Najdłużej – 117 dni – powierzchnia ziemi pokryta była śniegiem w sezonie 2005/2006. Liczba dni z pokrywą śniegu maleje o około 1,7 dnia na dziesięciolecie.

Wzrasta natomiast maksymalna grubość pokrywy śnieżnej o około 0,4 cm na dekadę (Rys. 38). Najmniejsza maksymalna grubość pokrywy śnieżnej zaobserwowana została w sezonie 2007/2008 i wyniosła 3 cm a największa w sezonie 2009/2010 i wyniosła 46 cm.



Rys. 38. Maksymalna grubość pokrywy śnieżnej w okresie od października do maja w sezonach 1980/1981–2014/2015, Sulejów

6. Okresy niżówkowe

W okolicy miasta Bełchatów znajduje się 1 stacja wodowskazowa Szczerców na rzece Widawce, której dopływem jest rzeka Rakówka przepływająca przez miasto. Wyniki wieloletnich pomiarów z tej stacji zostały wykorzystane na potrzeby analizy okresów niżówkowych i susz hydrologicznych na obszarze Bełchatowa.

W wieloleciu 1981–2015 zidentyfikowano łącznie 64 niżówki, w tym 50 w okresie letnim (tab. 9 i 10). W zależności od czasu trwania największy udział mają niżówki o długości trwania ponad 30 dni – ponad 65% niżówek. Najrzadziej występują niżówki o czasie trwania do 10 dni (5 przypadków).

Tabela 9. Tab. 9. Liczba niżówek w wieloleciu 1981-2015

Stacja wodowskazowa	Rzeka	Liczba niżówek				
		ogółem	do 10 dni	od 11 do 20 dni	od 21 do 30 dni	ponad 30 dni
Szczerców	Widawka	64	5	7	10	42

Tabela 10. Tab. 10. Niżówki letnie i zimowe w wieloleciu 1981–2015

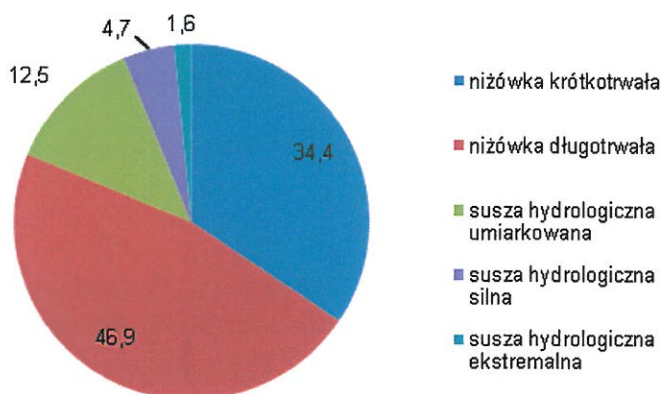
Stacja wodowskazowa	Rzeka	Liczba dni niżówek 1981-2015	Liczba dni niżówek letnich NI	Liczba dni niżówek zimowych Nz	NI/Nz
Szczerców	Widawka	64	50	14	3,57

Analiza niżówek i susz hydrologicznych w Bełchatowie (tab. 11, rys. 39) wskazała, że na tym odcinku rzeki Widawki przeważają niżówki długotrwałe, które stanowią ok. 47% wszystkich niżówek

zidentyfikowanych w wieloleciu 1981–2015 na posterunku wodowskazowym Szczerców. W przypadku suszy hydrologicznej przeważa susza umiarkowana – 12,5% wszystkich zidentyfikowanych okresów susz. Susza hydrologiczna ekstremalna wystąpiła jeden raz na tym posterunku wodowskazowym.

Tabela 11. Tab. 11 Liczba niżówek i susz hydrologicznych w wieloleciu 1981–2015

Stacja wodowskazowa	Rzeka	Liczba niżówek i susz hydrologicznych				
		niżówka krótkotrwała	niżówka długotrwała	susza hydrologiczna umiarkowana	susza hydrologiczna silna	susza hydrologiczna ekstremalna
Szczerców	Widawka	22	30	8	3	1



Rys. 39. Liczba niżówek i susz hydrologicznych w wieloleciu 1981-2015, wodowskaz Szczerców

7. Susze

Dla obszaru miasta Bełchatowa przeprowadzono analizę wskaźnika SRI do oceny podatności regionalnej na występowanie suszy hydrologicznej dla posterunku wodowskazowego Szczerców na rzece Widawce, przyjmując 1, 6 i 12-miesięczne okresy akumulacji (Tab. 12).

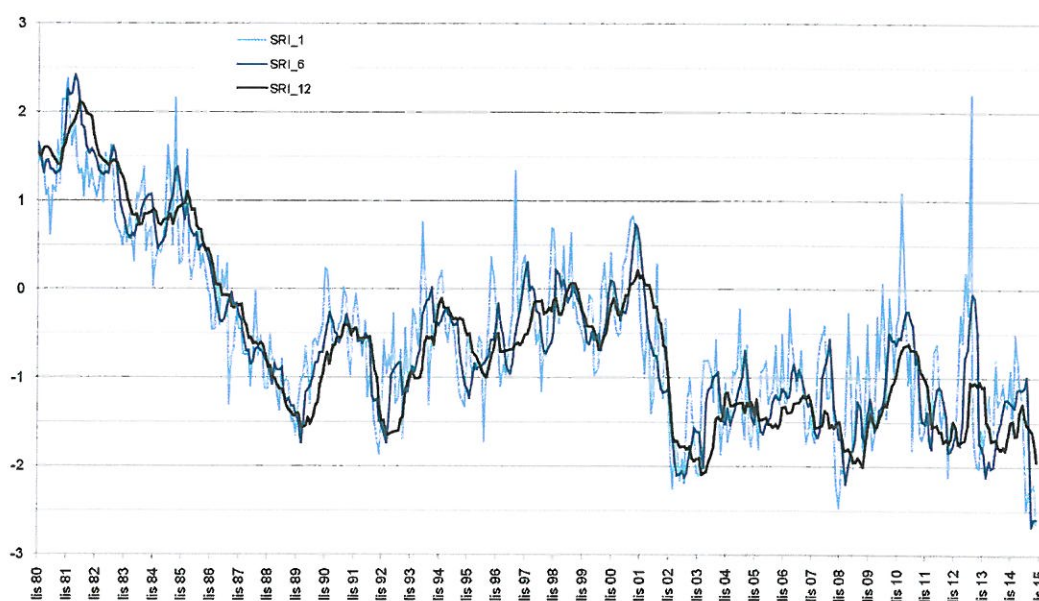
Tabela 12. Tab. 12 Charakterystyka wielolecia 1981–2015 na podstawie wskaźnika SRI

Wartość SRI	Klasyfikacja okresu	Udział miesięcy w wieloleciu 1981–2015 [%]					
		rzeka Widawka, wodowskaz Szczerców					
		SRI 1		SRI 6		SRI 12	
		li.	%	li.	%	li.	%
$\geq 2,0$	ekstremalnie mokry	5	1,2	6	1,4	3	0,7
$1,5 \leq \text{SRI} < 2,0$	bardzo mokry	10	2,4	12	2,9	19	4,5

Wartość SRI	Klasyfikacja okresu	Udział miesięcy w wieloleciu 1981–2015 [%]					
		rzeka Widawka, wodowskaz Szczerców					
		SRI 1		SRI 6		SRI 12	
		li.	%	li.	%	li.	%
$1,0 \leq \text{SRI} < 1,5$	umiarkowanie mokry	27	6,4	23	5,5	18	4,3
$-1,0 \leq \text{SRI} < 1,0$	bliski warunkom normalnym	240	57,1	228	54,3	198	47,1
$-1,5 \leq \text{SRI} < -1,0$	umiarkowanie suchy	79	18,8	88	21,0	95	22,6
$-2,0 \leq \text{SRI} < -1,5$	bardzo suchy	42	10,0	49	11,7	84	20,0
$\text{SRI} < -2,0$	ekstremalnie suchy	17	4,0	14	3,3	3	0,7

W badanym wieloleciu przeważały okresy bliskie warunkom normalnym na wodowskazu Szczerców na rzece Widawka (wartości SRI w przedziale 54,3–57,1%), za to w okresie 12-miesięcznym procentowy udział takich warunków wynosił 47,1. Wyraźnie stał się widoczny udział okresów suchych. Okresy umiarkowanie suche stanowiły aż 18,8–22,6% w zależności od przyjętego okresu akumulacji. Zaznaczył się także udział okresów bardzo suchych, będących 2,6–4,8% wszystkich przypadków wielolecia, oraz ekstremalnie suche odpowiadających za 0,7–4,0% przypadków, szczególnie w 1 miesięcznym okresie akumulacji. Okresy mokre pojawiają się w około 10%, z czego większość przypada jednak na okresy tylko umiarkowanie mokre.

Zmienność współczynnika SRI na przestrzeni lat 1981–2015 wskazuje na trend malejący wartości współczynnika SRI, czyli wzrost liczby okresów suchych (Rys. 40). Oznacza to, że zasoby wód powierzchniowych regionu systematycznie maleją.



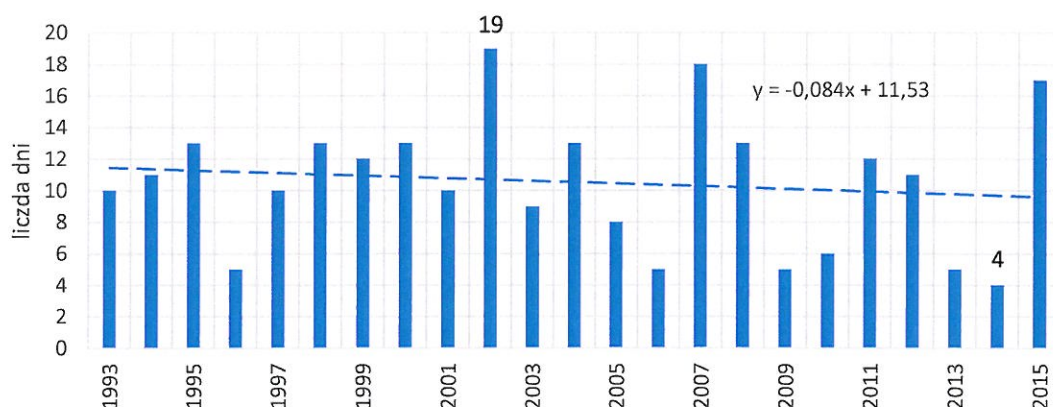
Rys. 40. Zmienność wskaźnika SRI w wieloleciu 1981–2015 (rzeka Widawka, posterunek wodowskazowy Szczerców)

8. Charakterystyka warunków anemometrycznych miasta

8.1. Silny i bardzo silny wiatr

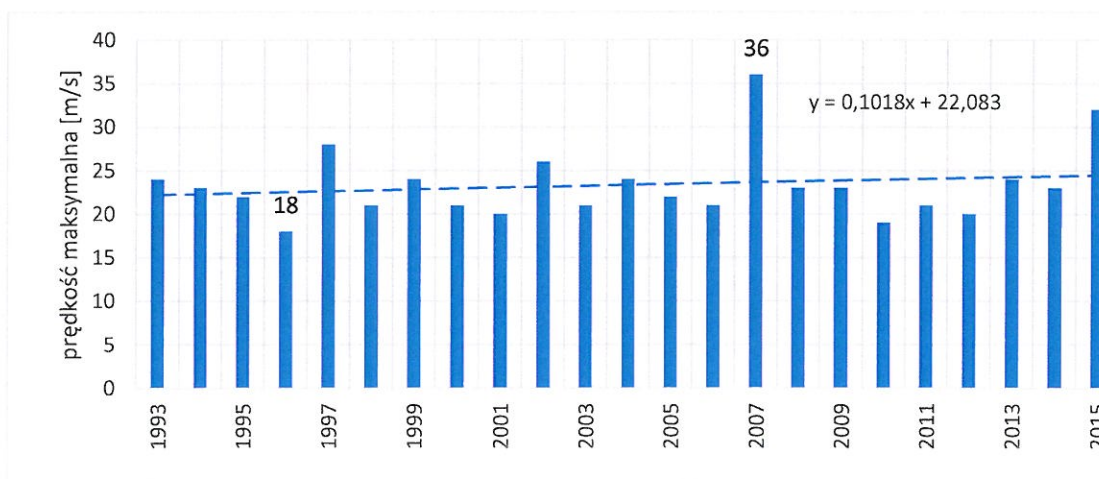
Wiatr obok temperatury i opadów jest kolejnym czynnikiem meteorologicznym mającym zasadniczy wpływ na funkcjonowanie organizmów miejskich. W opracowaniu przyjęto jako próg wiatru bardzo silnego prędkość 17 m/s. Jest to prędkość odpowiadająca 7/8 stopniowi skali Beauforta (bardzo silny wiatr/sztorm).

W Sulejowie występuje duża zmienność liczby dni, kiedy wiatr przekracza w porywach prędkość 17 m/s (Rys. 41).



Rys. 41. Wieloletni przebieg liczby dni z porywem ≥ 17 m/s w Sulejowie w latach 1993-2015

Najmniej takich dni było w roku 2014 (4 dni). Najobfitszy po tym względem był rok 2002, kiedy było aż 19 dni z takimi porywami. Analizując dane pomiarowe można stwierdzić, że w wieloleciu nastąpił spadek liczby dni z porywami o około 0,8 dnia w ciągu dekady.



Rys. 42. Maksymalne porywy wiatru w Sulejowie w latach 1993-2015

Nastąpił również wzrost maksymalnej prędkości wiatru w porywach o około 1m/s w ciągu dziesięciolecia (Rys. 42). Najłabsze porywy wiatru (18 m/s) notowano w roku 1996 a najsilniejsze (36 m/s) w roku 2007 (Tab. 13).

Tabela 13. Liczba dni z porywem większym lub równym 17 m/s i maksymalna prędkością w porywie wiatru w Sulejowie w latach 1993-2015

rok	liczba dni z porywem ≥ 17 m/s	max poryw m/s	data wystąpienia
1993	10	24	1993-01-12
1994	11	23	1994-01-28
1995	13	22	1995-03-19
1996	5	18	1996-05-04 min
1997	10	28	1997-03-28
1998	13	21	1998-10-28
1999	12	24	1999-02-05
2000	13	21	2000-01-31
2001	10	20	2001-05-29
2002	19	26	2002-10-28
2003	9	21	2003-03-31
2004	13	24	2004-02-07
2005	8	22	2005-01-09
2006	5	21	2006-09-04
2007	18	36	2007-05-11 max
2008	13	23	2008-01-26
2009	5	23	2009-07-23
2010	6	19	2010-03-01
2011	12	21	2011-02-12
2012	11	20	2012-01-05
2013	5	24	2013-12-06
2014	4	23	2014-03-15
2015	17	32	2015-06-29

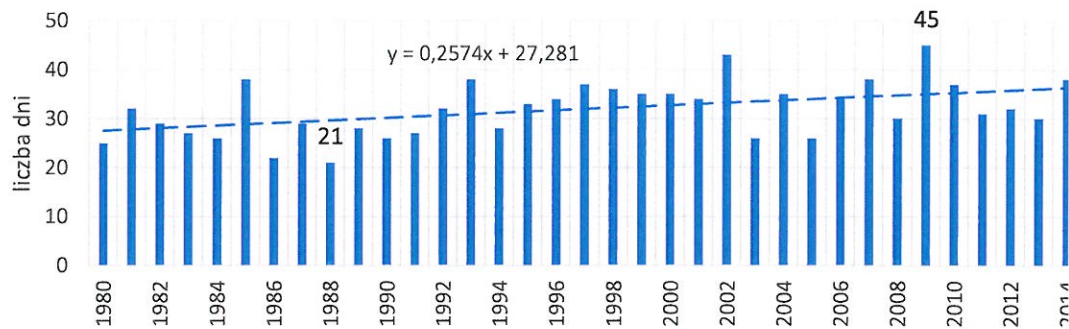
8.2. Burze

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

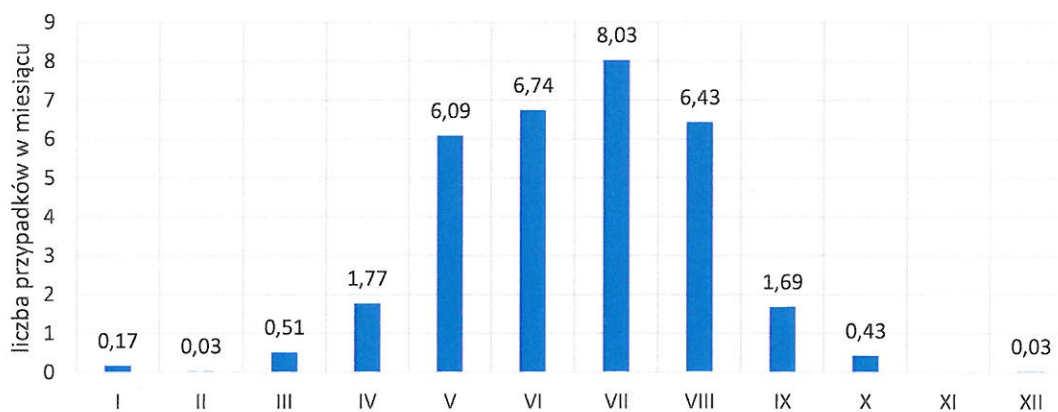
W Sulejowie liczba dni z burzą wzrosła średnio w ciągu dziesięciolecia prawie o 3 dni (Rys. 43).

Największe liczby dni z burzami w wieloleciu zaobserwowano w roku 2009 (45 dni) a najmniej w roku 1988 (21 dni) (Tab. 14).

Najwięcej dni z burzami (Rys. 44) występowało średnio w wieloleciu w lipcu (8,03 dnia), a najmniej w listopadzie, kiedy burza w wieloleciu nie wystąpiła ani raz (0).



Rys. 43. Wieloletni przebieg liczby dni z burzą w Sulejowie (1980–2015)



Rys. 44. Przebieg roczny średniej miesięcznej liczby dni z burzą w Sulejowie (1980–2015)

Tabela 14. Liczba dni z burzą w Sulejowie w latach 1980-2015

rok	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	max	rok
liczba dni z burzą	25	32	29	27	26	38	22	29	21	28	26	27	32	38	28	33	34	37	45	2009
rok	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	min	rok
liczba dni z burzą	36	35	35	34	43	26	35	26	34	38	30	45	37	31	32	30	38		21	1988

Podsumowanie

W tabelach 15–14 zawarto wskaźniki klimatyczne i hydrologiczne na podstawie których określono ich zmienność w kontekście oceny i oddziaływania na klimat Bełchatowa i okolic. Kolor czerwony wskazuje na tendencję wzrostową, a niebieski na spadkową. Natomiast kolorem zielonym oznaczono brak tendencji. Ilość plusów czy minusów oznacza wagę wskaźnika, a tym samym stopień zagrożenia dla procesów gospodarki miejskiej.

Tabela 15. Wskaźniki termiczne

Wskaźniki termiczne	Ocena
Średnia roczna temperatura powietrza	+++
Średnia roczna temperatura maksymalna	+++
Średnia roczna temperatura minimalna	+++
Liczba dni z temperaturą maksymalną >30°C, dni upalne	++
Liczba dni z temperaturą średnią dobową <-10°C, dni mroźne	---
Liczba fal upałów(przynajmniej trzydniowe okresy z dobową temperaturą maksymalną powietrza powyżej 30°C)	++
Roczna suma dni w fali upałów	++
Liczba dni z temperaturą minimalną >20°C, noce tropikalne	++
Liczba fal chłodu (fal mroźnych) (przynajmniej trzydniowe okresy z dobową temperaturą minimalną poniżej -10°C)	----
Roczna suma dni fali chłodu	----
Liczba dni z temperaturą minimalną <0°C, przymrozki	----
Liczba dni z temperaturą minimalną <0°C przez co najmniej pięć dni	----
Liczba okresów z temperaturą minimalną <0°C przez co najmniej pięć dni	----
Liczba dni z przejściem temperatury przez 0°C	----
Liczba dni z temperaturą średnią dobową powyżej 10°C	+
Liczba dni z dobową temperaturą maksymalną <0°C, dni mroźne	---
Liczba dni z temperaturą maksymalną >25°C, dni gorące	+
Liczba okresów z temperaturą maksymalną >25°C, dni gorące	+
Wskaźnik stopniodni ogrzewania	----
Wskaźnik stopniodni chłodzenia	+

Tabela 16. Wskaźniki pluwialne

Wskaźniki pluwialne	Ocena
Roczne sumy wysokości opadów	++
Liczba dni w roku z opadem ≥1 mm	±
Liczba dni w roku z opadem ≥10 mm	++
Liczba dni w roku z opadem ≥20 mm	+++
Liczba dni w roku z opadem ≥30 mm	+++
Maksymalne miesięczne sumy opadów w roku	++
Okres opadu ≥1mm o czasie trwania ponad 5 dni	++
Liczba dni z opadem i T _{sr} od -5°C do 2,5°C	----
Najdłuższy okres bezopadowy (liczba dni)	±±
Okresy bez opadowe o czasie trwania ponad 5 dni	±
Liczba dni w roku między pierwszym a ostatnim śniegiem	±
Liczba dni z pokrywą śniegu od października do maja	---
Maksymalna grubość pokrywy śnieżnej w okresie października	+

Tabela 17. Zjawiska ekstremalne

Wskaźniki	Ocena
Liczba dni z porywem wiatru o prędkości ≥ 17 m/s	---
Maksymalne porywy wiatru	++
Liczba dni z burzą w roku	++

Tabela 18. Okresy niżówkowe i susze

Wskaźniki	Ocena
Okresy niżówkowe	+++
Susze	+++

Skala ocen tendencji zmian wskaźników klimatycznych

	Tendencja wzrostowa
	Tendencja spadkowa
	Brak tendencji

Skala ocen zagrożenia klimatycznego dla miasta

+	Brak zagrożenia
++	Zagrożenie słabe
+++	Zagrożenie silne