



Tendencje zmian wybranych zjawisk
klimatycznych i ich pochodnych
w latach 1981-2015
oraz 2030 i 2050
dla Tomaszowa Mazowieckiego

Autorzy:

Opracowanie danych historycznych

Iwona Wagner (FPP Enviro)
Magdalena Ziółkowska (FPP Enviro)
Anna Wójcikiewicz (FPP Enviro)
Danuta Limanówka (IOŚ-PIB)

Scenariusze klimatyczne

Zespół Zakładu Modelowania Atmosfery i Klimatu IOŚ-PIB

Paweł Durka
Jacek W. Kamiński
Joanna Strużewska
Maciej Jefimow

Spis treści

1	WSTĘP	5
2	WARUNKI TERMICZNE	5
2.1	ŚREDNIA ROCZNA TEMPERATURA POWIETRZA.....	5
2.1.1	Temperatura maksymalna powietrza	6
2.1.1	Temperatura minimalna powietrza.....	6
2.1.2	Uśredniony roczny przebieg temperatury powietrza.....	7
2.2	TEMPERATURY EKSTREMALNE I LICZBA DNI CHARAKTERYSTYCZNYCH.....	7
2.3	DNI UPALNE (TMAX>30°C)	9
2.3.1	Liczba dni z temperaturą maksymalną >30°C	9
2.4	FALA UPAŁÓW	9
2.4.1	Liczba okresów >=3 dni z temperaturą maksymalną powietrza >30°C	9
2.4.2	Najdłuższy ciąg dni z temperaturą maksymalną powietrza >30°C.....	10
2.5	NOCE TROPIKALNE.....	11
2.5.1	Liczba dni z temperaturą minimalną powietrza >20°C.....	11
2.6	DNI GORĄCE (TMAX>25°C)	11
2.6.1	Liczba dni z temperaturą maksymalną >25°C (dni gorące)	11
2.6.2	Liczba okresów >=5 dni z temperaturą maksymalną powietrza >25°C	11
2.6.3	Najdłuższy ciąg dni z temperaturą maksymalną powietrza >25°C.....	12
2.7	DNI MROŻNE (TMAX<0°C)	13
2.7.1	Liczba dni z temperaturą maksymalną<0°C.....	13
2.8	DNI PRZYMROZKOWE (TMIN<0°C)	13
2.8.1	Liczba dni z temperaturą minimalną<0°C.....	13
2.9	FALE CHŁODÓW (ZIMNA)	14
2.9.1	Liczba okresów >=3 dni z temperaturą minimalną powietrza <-10°C	14
2.9.2	Najdłuższy ciąg dni z temperaturą minimalną powietrza <-10°C.....	15
2.10	PRZEJŚCIE TEMPERATURY POWIETRZA PRZEZ 0°C.....	16
2.10.1	Liczba dni z temperaturą minimalną powietrza <0°C oraz temperaturą maksymalną >0°C (Tmin<0°C oraz Tmax>0°C).....	16
2.11	DNI CHARAKTERYSTYCZNE TERMICZNIE	17
2.11.1	Liczba stopniodni grzania dla wartości progowej 17°C i liczba stopniodni chłodzenia dla wartości progowej 27°C.....	17
2.12	DOBOWE WAHANIA TEMPERATURY POWIETRZA	18
2.12.1	Amplituda dobowa temperatury powietrza >=12°C.....	18
2.12.2	Amplituda dobowa temperatury powietrza >= 8°C.....	18
2.13	ZMIENNOŚĆ MIĘDZYDOBOWA.....	19
2.13.1	Liczba dni z temperaturą międzydobową powietrza >= 6°C.....	19
2.13.2	Liczba dni z temperaturą średnią dobową powietrza >10°C	20
3	WARUNKI TERMICZNO-OPADOWE (INDEKSY ŁĄCZONE).....	21
3.1	ŚREDNIA DOBOWA TEMPERATURY POWIETRZA W ZAKRESIE OD -5°C DO +2,50°C I Z OPADEM >1,0 MM.....	21
4	WARUNKI PLUWIALNE (OPADY ATMOSFERYCZNE)	22
4.1	ROCZNA SUMA OPADÓW	22
4.2	OPADY ATMOSFERYCZNE O OKREŚLONYM PROGIEM: LICZBA DNI Z OPADEM WIĘKSZYM BĄDŹ RÓWNYM 10, 20 I 30 MM 23	
4.3	DESZCZE NAWALNE I POWODZIE MIEJSKIE (NAGLE).....	24
5	OKRESY BEZOPADOWE	25
5.1	LICZBA OKRESÓW BEZ OPADU O CZASIE TRWANIA PONAD 5 DNI	25
5.2	NAJDŁUŻSZE OKRESY BEZOPADOWE (OPAD <1MM/D)	26
6	OKRESY NIŻÓWKOWE (RZEKI)	27
6.1	LICZBA NIŻÓWEK (RZEKI).....	28

6.2	CZAS TRWANIA NIŻÓWEK	30
6.3	NIŻÓWKI I SUSZE HYDROLOGICZNE	31
7	SUSZE SRI.....	32
8	POKRYWA ŚNIEŻNA	34
8.1	LICZBA DNI Z POKRYWĄ ŚNIEŻNĄ W OKRESIE X-V	34
8.2	MAKSYMALNA GRUBOŚĆ POKRYWY ŚNIEŻNEJ W OKRESIE X-V.....	34
9	NIEBEZPIECZNE ZJAWISKA METEOROLOGICZNE – BURZE, SILNY WIATR	35
9.1	BURZE.....	35
9.2	PORYWY WIATRU	36
9.2.1	<i>Liczba dni z porywami wiatru ≥ 17 m/s</i>	<i>36</i>
9.2.2	<i>Maksymalna prędkość wiatru</i>	<i>36</i>
10	ZANIECZYSZCZENIA POWIETRZA	37
10.1	PYŁ ZAWIESZONY PM10	37
10.2	PYŁ ZAWIESZONY PM2,5	39
10.3	OZON TROPOSFERYCZNY.....	39
11	SCENARIUSZE ZMIAN KLIMATU DLA MIASTA DO ROKU 2030, 2050.....	40
11.1	METODYKA ANALIZY	41
11.1.1	<i>Dane źródłowe.....</i>	<i>41</i>
11.1.2	<i>Indeksy klimatyczne.....</i>	<i>42</i>
11.1.3	<i>Algorytm analiz.....</i>	<i>43</i>
11.2	FALE UPAŁÓW	44
11.2.1	<i>Percentyl 98% temperatury maksymalnej dobowej w roku</i>	<i>45</i>
11.2.2	<i>Liczba dni z temperaturą maksymalną $>30^{\circ}\text{C}$ w roku.....</i>	<i>46</i>
11.2.3	<i>Liczba okresów o długości przynajmniej 3 dni z temperaturą maksymalną $>30^{\circ}\text{C}$ w roku.....</i>	<i>47</i>
11.2.4	<i>Czas trwania okresów o długości przynajmniej 3 dni z temperaturą maksymalną $>30^{\circ}\text{C}$ w roku</i>	<i>48</i>
11.2.5	<i>Liczba dni z temperaturą maksymalną $>25^{\circ}\text{C}$ w roku.....</i>	<i>49</i>
11.2.6	<i>Liczba okresów o długości przynajmniej 5 dni z temperaturą maksymalną $>25^{\circ}\text{C}$ w roku.....</i>	<i>50</i>
11.2.7	<i>Czas trwania okresów o długości przynajmniej 5 dni z temperaturą maksymalną $>25^{\circ}\text{C}$ w roku</i>	<i>51</i>
11.2.8	<i>Liczba dni z temperaturą minimalną $>20^{\circ}\text{C}$ w roku</i>	<i>52</i>
11.3	FALE CHŁODU	53
11.3.1	<i>Percentyl 2% temperatury minimalnej dobowej w roku.....</i>	<i>54</i>
11.3.2	<i>Liczba dni z temperaturą maksymalną $<0^{\circ}\text{C}$ w roku.....</i>	<i>55</i>
11.3.3	<i>Liczba dni z temperaturą minimalną $<-10^{\circ}\text{C}$ w roku.....</i>	<i>56</i>
11.3.4	<i>Liczba okresów o długości przynajmniej 3 dni z temperaturą minimalną $<-10^{\circ}\text{C}$ w roku.....</i>	<i>57</i>
11.3.5	<i>Czas trwania okresów o długości przynajmniej 3 dni z temperaturą minimalną $<-10^{\circ}\text{C}$ w roku</i>	<i>58</i>
11.4	PRZYMROZKI	59
11.4.1	<i>Liczba dni z temperaturą minimalną $<0^{\circ}\text{C}$ w roku</i>	<i>60</i>
11.4.2	<i>Liczba okresów o długości przynajmniej 5 dni z temperaturą minimalną $<0^{\circ}\text{C}$ w roku</i>	<i>61</i>
11.4.3	<i>Czas trwania okresów o długości przynajmniej 5 dni z temperaturą minimalną $<0^{\circ}\text{C}$ w roku</i>	<i>62</i>
11.4.4	<i>Liczba dni z przejściem temperatury przez 0°C w roku</i>	<i>63</i>
11.5	ŚREDNIE WARUNKI TERMICZNE	64
11.5.1	<i>Stopniodni dla temperatury średniodobowej $<17^{\circ}\text{C}$ w roku</i>	<i>65</i>
11.5.2	<i>Stopniodni dla temperatury średniodobowej $>27^{\circ}\text{C}$ w roku</i>	<i>66</i>
11.5.3	<i>Liczba dni z temperaturą średniodobową $>10^{\circ}\text{C}$ w roku</i>	<i>67</i>
11.5.4	<i>Wartość temperatury średniorocznej.....</i>	<i>68</i>
11.6	SUSZE.....	69
11.6.1	<i>Najdłuższy okres bez opadu (opad <1 mm/d) w roku.....</i>	<i>69</i>
11.6.2	<i>Liczba okresów bez opadu dłuższych od 5 dni w roku</i>	<i>70</i>
11.7	DNI Z OPADEM	71
11.7.1	<i>Suma roczna opadu</i>	<i>71</i>
11.7.2	<i>Liczba dni z opadem ≥ 1 mm/d w roku</i>	<i>72</i>
11.7.3	<i>Liczba okresów z opadem ≥ 1 mm/d dłuższych od 5 dni w roku.....</i>	<i>73</i>

11.8	ŚREDNIE WARUNKI OPADOWE	74
11.9	OPAD EKSTREMALNY.....	74
11.9.1	Liczba dni z opadem ≥ 10 mm/d w roku	75
11.9.2	Liczba dni z opadem ≥ 20 mm/d w roku	76
11.10	INDEKSY TEMPERATUROWO-OPADOWE	77
12	ZAŁĄCZNIK A	78
13	ZAŁĄCZNIK B.....	84
14	ZAŁĄCZNIK C.....	89

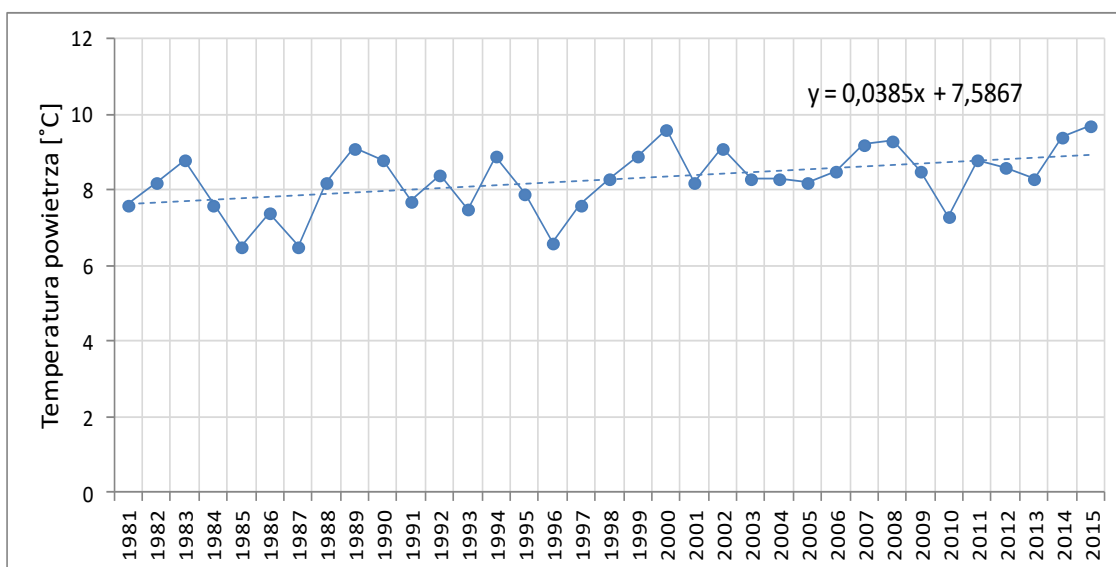
1 Wstęp

Niniejszy dokument prezentuje tendencje historycznych zmian wybranych zjawisk klimatycznych i ich pochodnych dla miasta i okolic Tomaszowa Mazowieckiego. W celu oceny tendencji zmian klimatu dokonano analizy danych klimatycznych pochodzących ze stacji Sulejów z lat 1981-2015. W celu oceny jakości powietrza wykorzystano dane pochodzące z dwóch stacji pomiarowych Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Łodzi, znajdujących się w Tomaszowie Mazowieckim (PL1002) i Piotrkowie Trybunalskim (PL1002). Poniższe tabele i wykresy przedstawiają średnie wieloletnie oraz najwyższe i najniższe wartości wybranych elementów i wskaźników klimatu w okolicy Tomaszowa Mazowieckiego.

2 Warunki termiczne

2.1 Średnia roczna temperatura powietrza

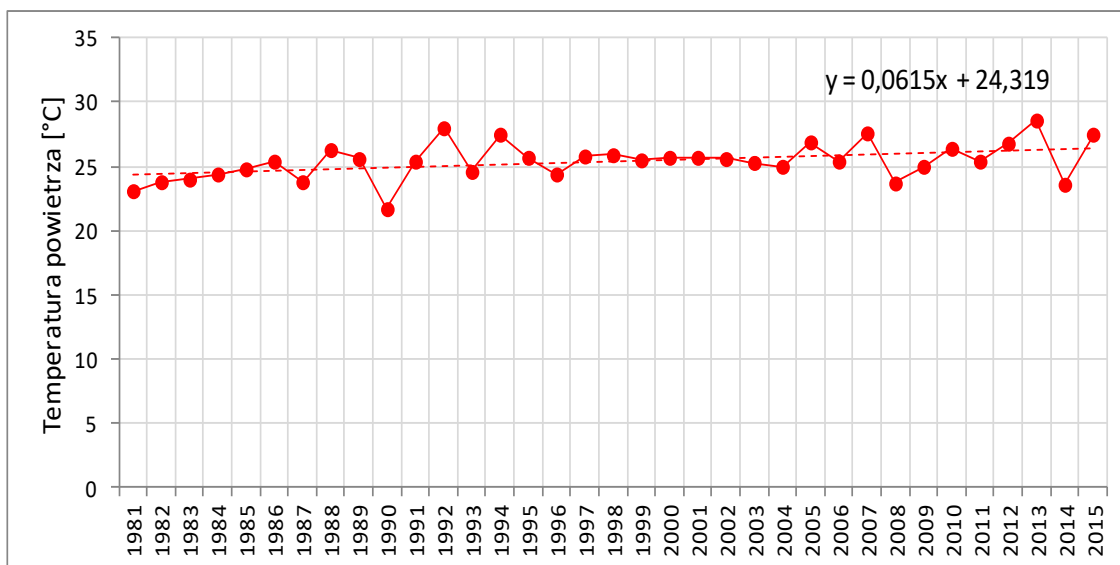
Średnia roczna temperatura powietrza w okolicach Tomaszowa Mazowieckiego w badanym wieloleciu wyniosła 8,3°C (Rysunek 1). Jej wartości wahały się w zakresie od 6,5°C w roku 1985 do 9,6°C w roku 2000 przy tendencji wzrostowej o ok. 0,4°C na dekadę.



Rysunek 1. Wieloletnia zmienność średniej rocznej temperatury powietrza

2.1.1 Temperatura maksymalna powietrza

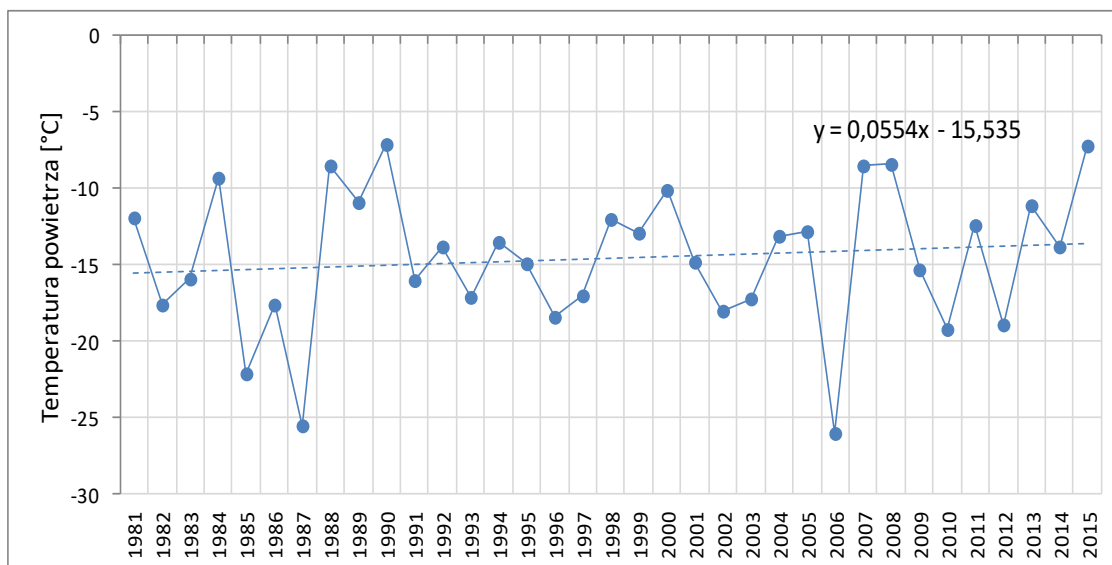
Średnia roczna temperatura maksymalna powietrza wynosi w Tomaszowie Mazowieckim 25,4°C. Jej wartości wahały się w zakresie od 21,7°C w roku 1990 do 28,6°C w roku 2013 (Rysunek 2). Widoczna jest tendencja wzrostu średniej maksymalnej temperatury (ok. 0,6°C/10 lat).



Rysunek 2. Wieloletnia zmienność średniej temperatury maksymalnej powietrza

2.1.1 Temperatura minimalna powietrza

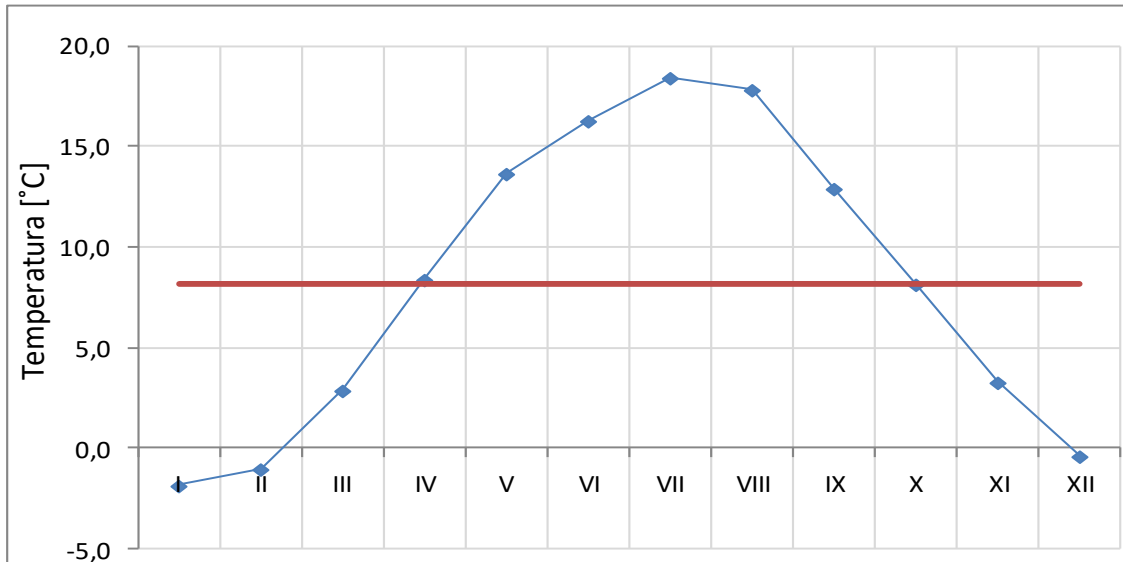
Średnia roczna temperatura minimalna wynosi w Tomaszowie Mazowieckim -14,5°C. Jej wartości wahały się w zakresie od -26°C w roku 2006 do -7,1°C w roku 1990 (Rysunek 3). Tendencja wzrostu średniej minimalnej temperatury wskazuje na wzrost o niecałe 0,6°C w ciągu każdej dekady.



Rysunek 3. Wieloletnia zmienność średniej temperatury minimalnej powietrza

2.1.2 Uśredniony roczny przebieg temperatury powietrza

Wartość temperatury średniej miesięcznej dla wielolecia 1981 – 2015 waha się od $-1,8^{\circ}\text{C}$ w styczniu do $18,4^{\circ}\text{C}$ w lipcu (Rysunek 4). Średnia roczna temperatura powietrza dla wielolecia wynosi $8,2^{\circ}\text{C}$.

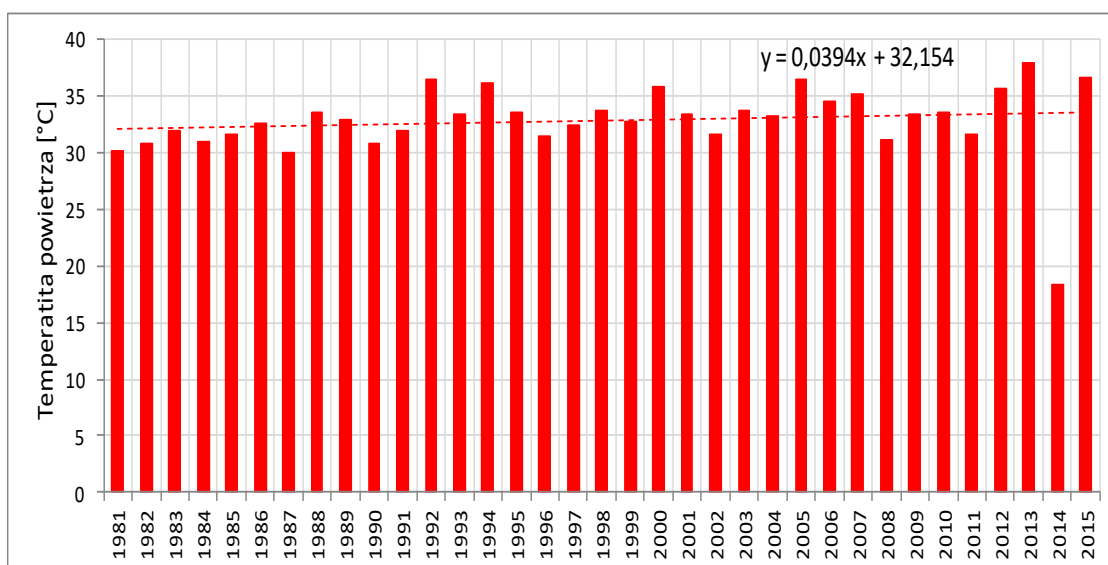


Rysunek 4. Roczny przebieg uśrednionych wartości temperatury powietrza dla okresu 1981 – 2015

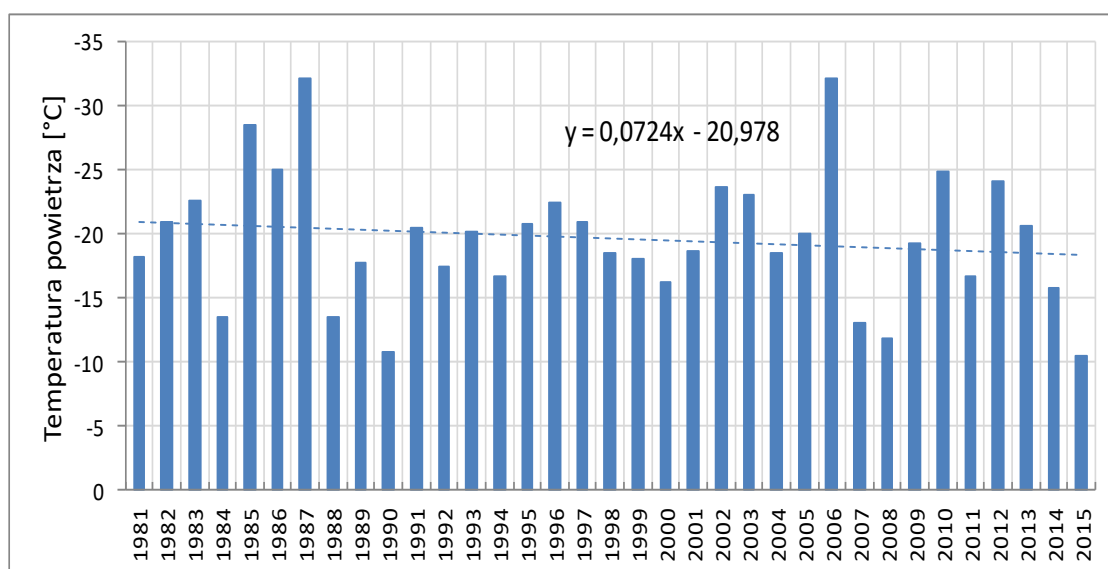
2.2 Temperatury ekstremalne i liczba dni charakterystycznych

W ramach analizy czynników klimatycznych wyliczony został percentyl 98 temperatury maksymalnej i percentyl 2 dla minimalnej temperatury powietrza, czyli wielkość, poniżej której występuje 2% wartości temperatury minimalnej. W przypadku Tomaszowa, percentyl 98% temperatury maksymalnej dobowej wynosi 30°C . Percentyl 2% temperatury minimalnej dobowej w roku wynosi $-14,4^{\circ}\text{C}$.

Absolutna temperatura maksymalna w Tomaszowie Mazowieckim zarejestrowana została 8 sierpnia 2015 i osiągnęła wartość $36,6^{\circ}\text{C}$ (Rysunek 5). Absolutna temperatura minimalna w tym okresie odnotowała została dwukrotnie 14 i 30 stycznia 1987 roku i wyniosła $-32,2^{\circ}\text{C}$ (Rysunek 6).



Rysunek 5. Wartość absolutnych temperatur maksymalnych w każdym roku w badanym wieloleciu

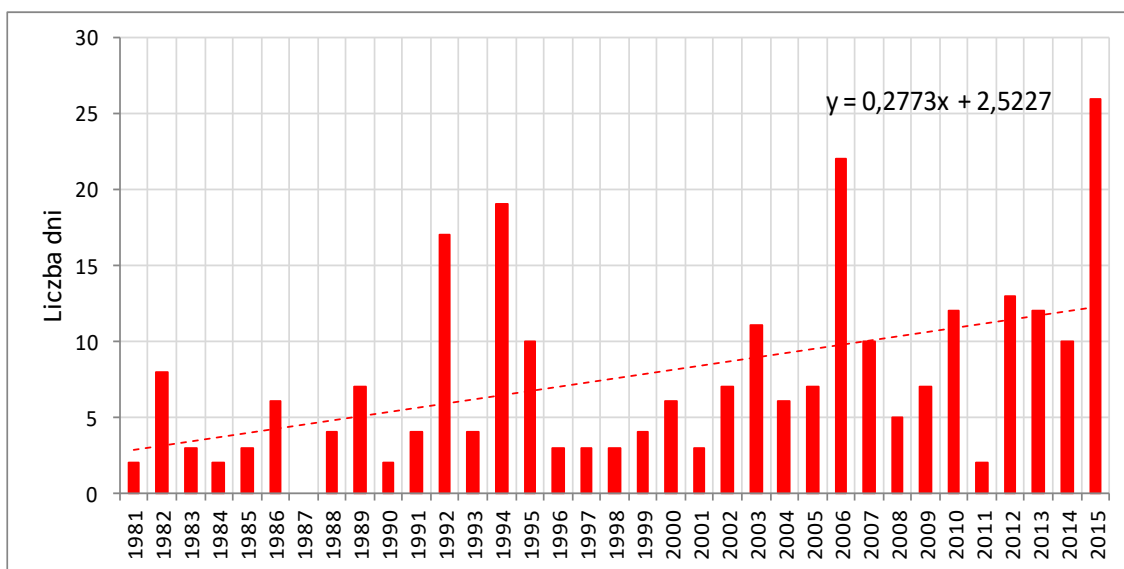


Rysunek 6. Wartość absolutnych temperatur minimalnych w każdym roku w badanym wieloleciu

2.3 Dni upalne ($T_{max} > 30^{\circ}\text{C}$)

2.3.1 Liczba dni z temperaturą maksymalną $> 30^{\circ}\text{C}$

Zauważalna jest zwiększająca się liczba dni z maksymalną temperaturą powietrza przekraczającą 30°C , średnio o 3 dni w dziesięcioleciu (Rysunek 7). Charakterystyczna jest duża zmienność dni z takimi warunkami termicznymi, charakteryzująca się wysokim współczynnikiem zmienności na poziomie 80%. Lata 1994, 2006 i 2015 są latami najcieplejszymi w badanym wieloleciu.

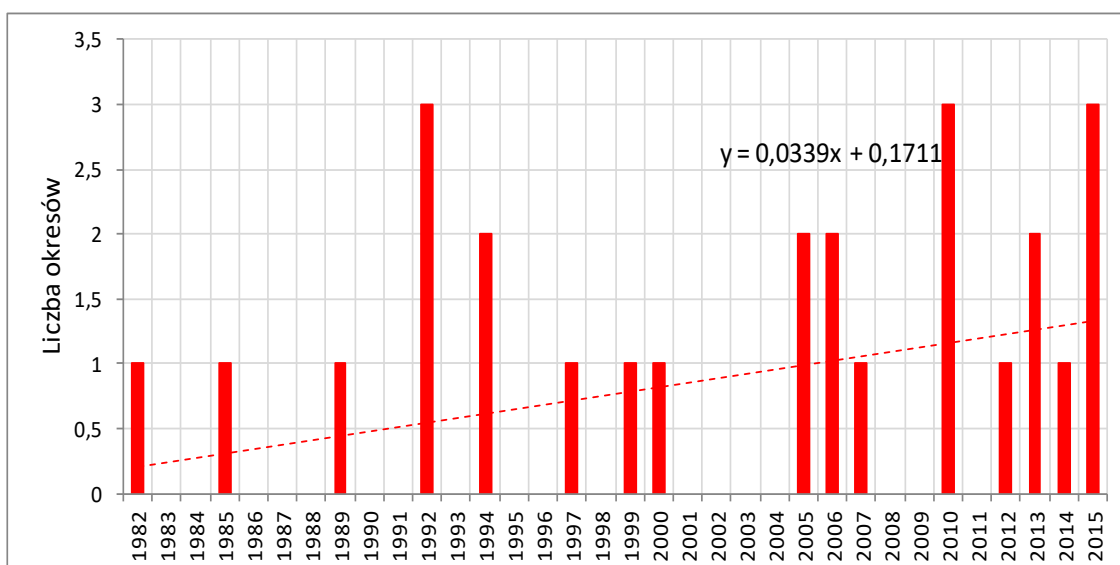


Rysunek 7. Wieloletnia zmienność liczby dni z temperaturą maksymalną większą niż 30°C .

2.4 Fala upałów

2.4.1 Liczba okresów ≥ 3 dni z temperaturą maksymalną powietrza $> 30^{\circ}\text{C}$

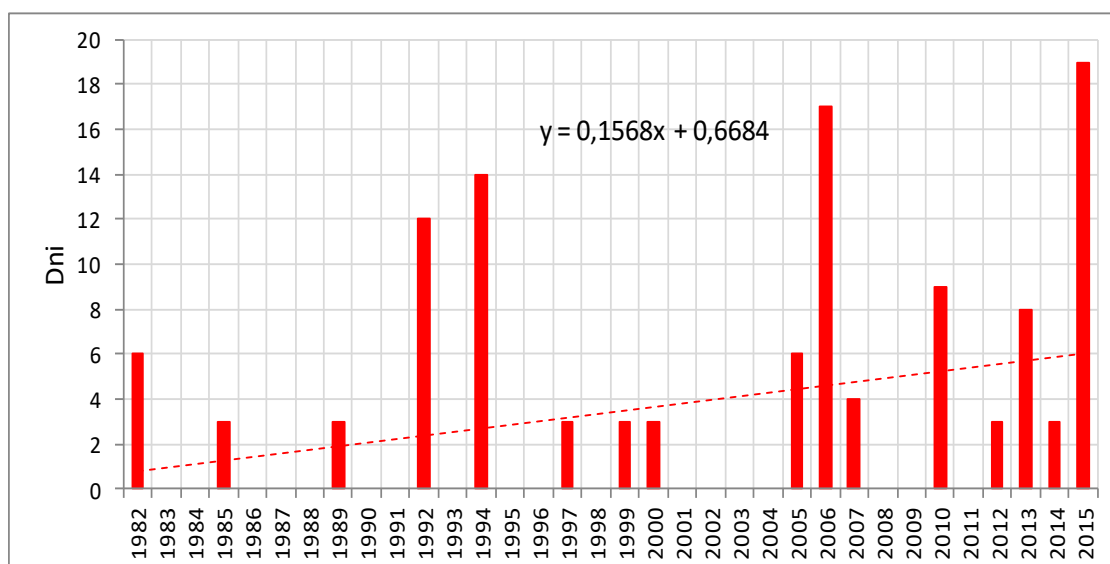
Odnotowana została tendencja wzrostowa liczby okresów z temperaturą wynoszącą powyżej 30°C utrzymującą się co najmniej 3 dni (Rysunek 8). Wzrost zjawiska wyniósł około 1 okres/20 lat. Występuje bardzo duża zmienność występowania fal ciepła między latami (charakteryzująca się współczynnikiem zmienności na poziomie 129%). Najwięcej fal upałów wystąpiło w latach: 1992, 2010 i 2015, zaś lata 1983 – 1984, 1986 – 1988, 1990 – 1991, 1993, 1995 – 1996, 1998, 2001 – 2004, 2008 – 2009, 2011 charakteryzują się brakiem wystąpienia fali ciepła.



Rysunek 8. Wieloletnia zmienność liczby okresów z temperaturą maksymalną większą niż 30°C

2.4.2 Najdłuższy ciąg dni z temperaturą maksymalną powietrza >30°C

Fale upałów charakteryzują się średnim czasem trwania wynoszącym 1,6 dnia (Rysunek 8 **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.**, Rysunek 9). W badanym wieloleciu wystąpiło od 1 do 3 fal, o czasie trwania jednej fali upałów od 3 do 12 dni. W latach 1983 – 1984, 1986 – 1988, 1990 – 1991, 1993, 1995 – 1996, 1998, 2001 – 2004, 2008 – 2009, 2011 nie wystąpiło zjawisko fali upałów. Największe natężenie zjawiska wystąpiło w latach: 1994 (2 fale, o łącznej długości 14 dni), 2006 (2 fale, trwające łącznie 17 dni) i 2015 (3 fale, trwające łącznie 17 dni). Zauważalne jest zwiększanie się zjawiska o 1,9 dnia/dekadę.



Rysunek 9. Najdłuższy ciąg dni okresów ciepła z temperaturą maksymalną powietrza powyżej 30°C

2.5 Noce tropikalne

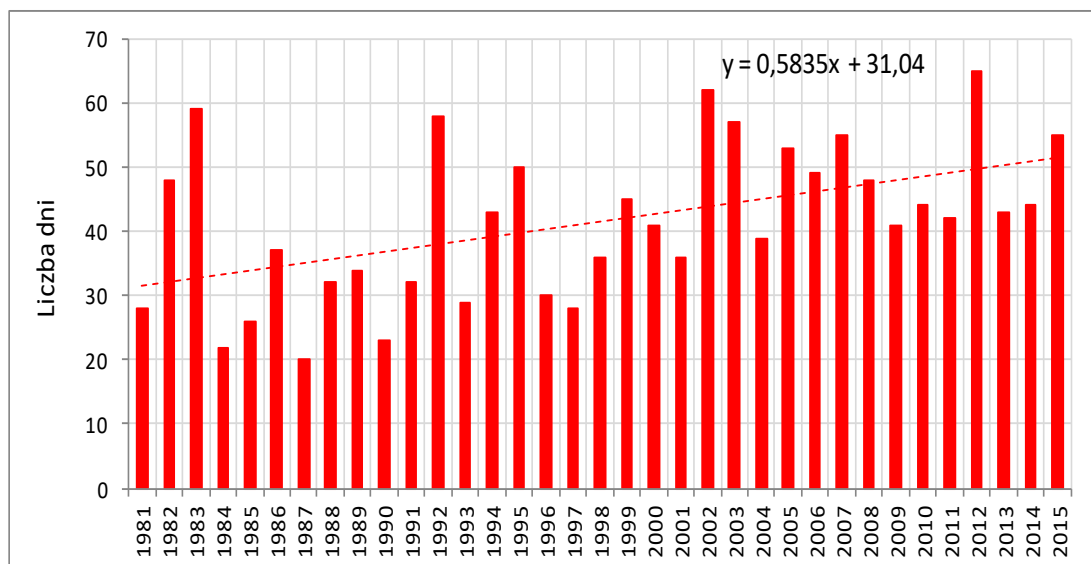
2.5.1 Liczba dni z temperaturą minimalną powietrza >20°C

Liczba dni z temperaturą minimalną powyżej 20°C (noce tropikalne) w wieloleciu była niewielka. Zjawisko zarejestrowano w 7 latach (w latach: 1994, 1998, 2007, 2010, 2011, 2013, 2014), w pozostałych latach nie wystąpiło.

2.6 Dni gorące (Tmax>25°C)

2.6.1 Liczba dni z temperaturą maksymalną >25°C (dni gorące)

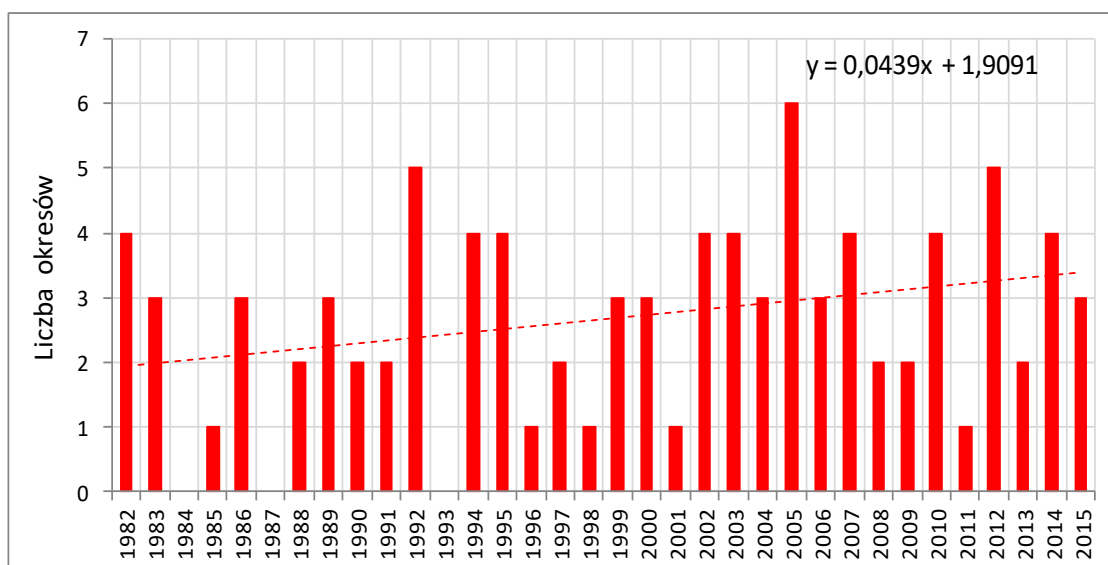
Liczba dni z temperaturą maksymalną powyżej 25°C w wieloleciu wykazuje tendencję wzrostową (ok. 5,8 dnia/dekada) (Rysunek 10). Występuje duża zmienność liczby dni w roku od 20 dni (1987r.) do 65 dni (2012r.).



Rysunek 10. Wieloletnia zmienność liczby dni z temperaturą maksymalną powyżej 25 °C

2.6.2 Liczba okresów ≥ 5 dni z temperaturą maksymalną powietrza >25°C

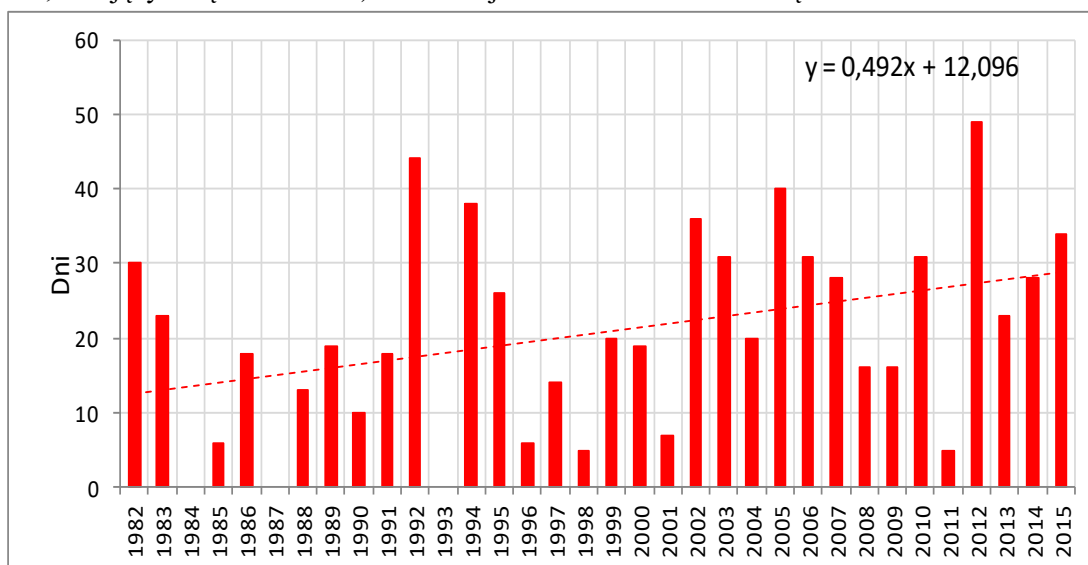
Wystąpiła tendencja wzrostowa liczby okresów z temperaturą wynoszącą powyżej 25°C utrzymującą się co najmniej 5 dni (Rysunek 11). Wzrost wyniósł ponad 0,4 okresu/dekadę. Największe natężenie zjawiska wystąpiło w roku 2005 (6 okresów), zaś brak zjawiska cechuje lata 1883, 1984, 1987 i 1993.



Rysunek 11. Wieloletnia zmienność liczby okresów z temperaturą maksymalną większą niż 25 °C

2.6.3 Najdłuższy ciąg dni z temperaturą maksymalną powietrza >25°C

W badanym wieloleciu czas trwania fali ciepła wynosi średnio 8 dni. Charakterystyczna jest bardzo duża zmienność: od 0 do 6 fal, o czasie trwania jednej fali upałów od 5 do 19 dni (1994) (Rysunek 11 **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.**, Rysunek 12). W wieloleciu wystąpiły 3 lata bez okresu z temperaturą powyżej 25 stopni. Największe natężenie zjawiska zauważalne w latach: 1992 (5 okresów, o łącznej długości 44 dni), 2005 (6 okresów, trwających łącznie 40 dni), 2012 (8 okresów, trwających łącznie 49 dni). Wzrost zjawiska o ok. 5 dni/dekadę.

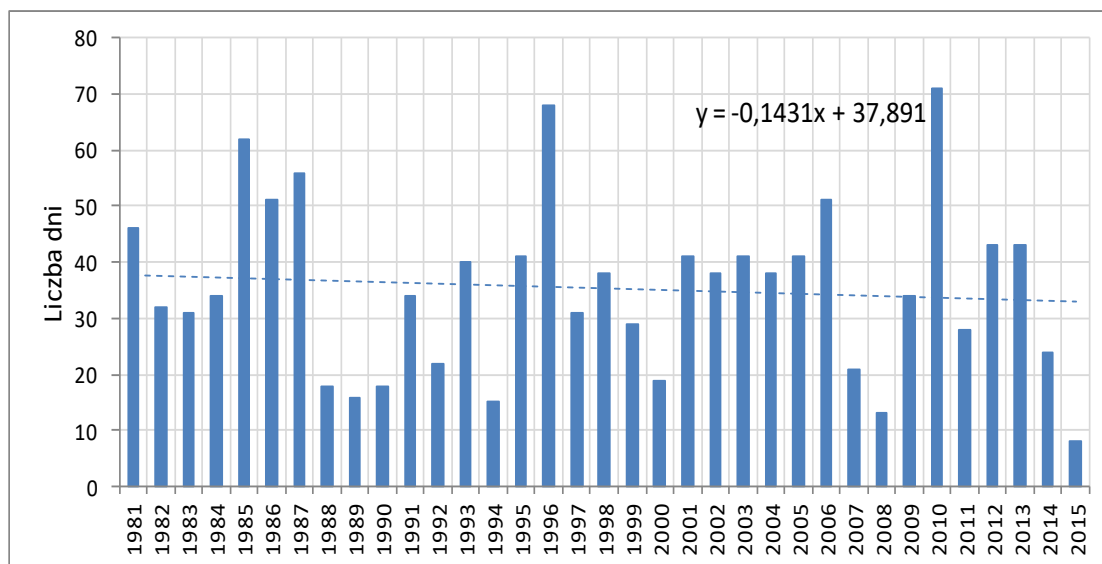


Rysunek 12. Wieloletnia zmienność liczby dni okresów gorących trwających co najmniej 5 dni z temperaturą maksymalną powyżej 25 °C

2.7 Dni mroźne ($T_{max} < 0^{\circ}C$)

2.7.1 Liczba dni z temperaturą maksymalną $< 0^{\circ}C$

Liczba dni z temperaturą maksymalną poniżej $0^{\circ}C$ w wieloleciu wykazuje tendencję spadkową (ok. 1,4 dnia/dekada) (Rysunek 13). Występuje duża zmienność wskaźnika w roku od 8 (2015r.) do 71 dni (2010r.), charakteryzująca się współczynnikiem zmienności na poziomie 43%.

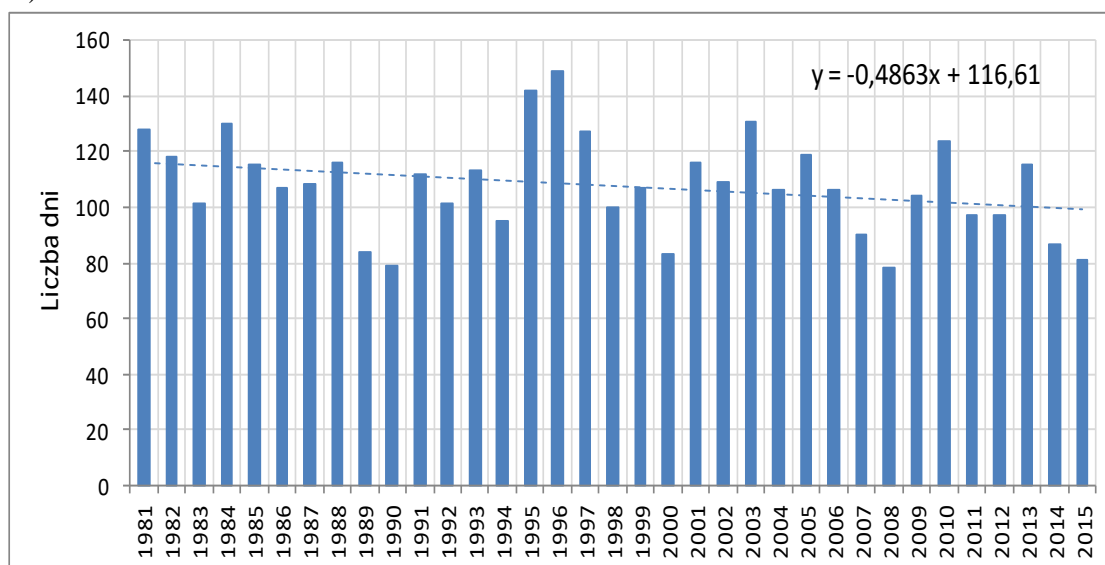


Rysunek 13. Wieloletnia zmienność liczby dni z temperaturą maksymalną poniżej $0^{\circ}C$

2.8 Dni przymrozkowe ($T_{min} < 0^{\circ}C$)

2.8.1 Liczba dni z temperaturą minimalną $< 0^{\circ}C$

Liczba dni z temperaturą minimalną poniżej $0^{\circ}C$ w wieloleciu wykazuje tendencję spadkową (ok. 4,9 dnia/dekada) (Rysunek 14). Występuje duża zmienność liczby dni w roku od 78 (2008) do 149 (1996).

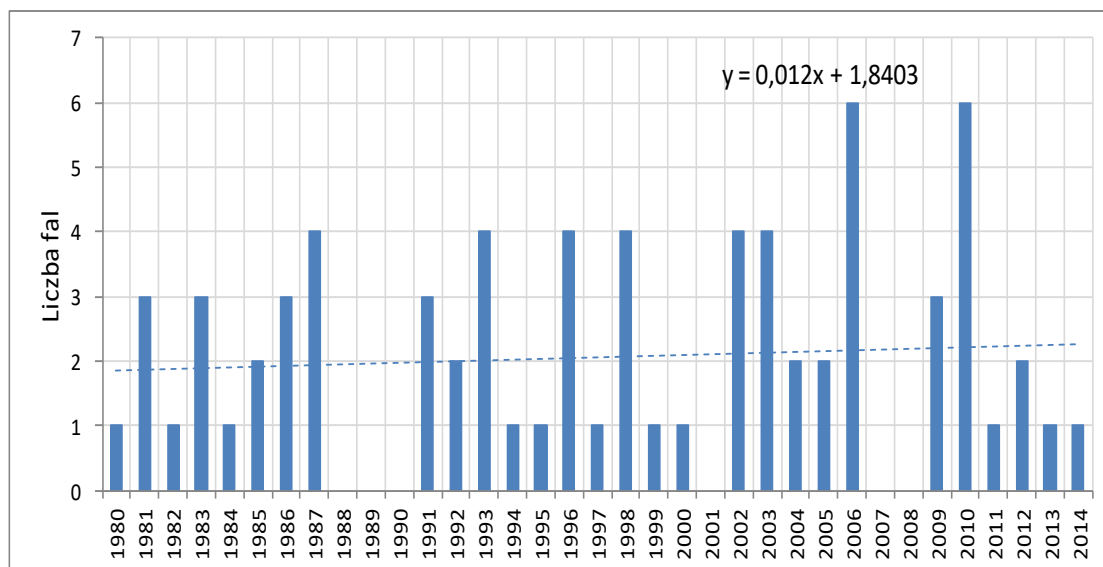


Rysunek 14. Wieloletnia zmienność liczby dni z temperaturą minimalną poniżej $0^{\circ}C$

2.9 Fale chłódów (zimna)

2.9.1 Liczba okresów ≥ 3 dni z temperaturą minimalną powietrza $< -10^{\circ}\text{C}$

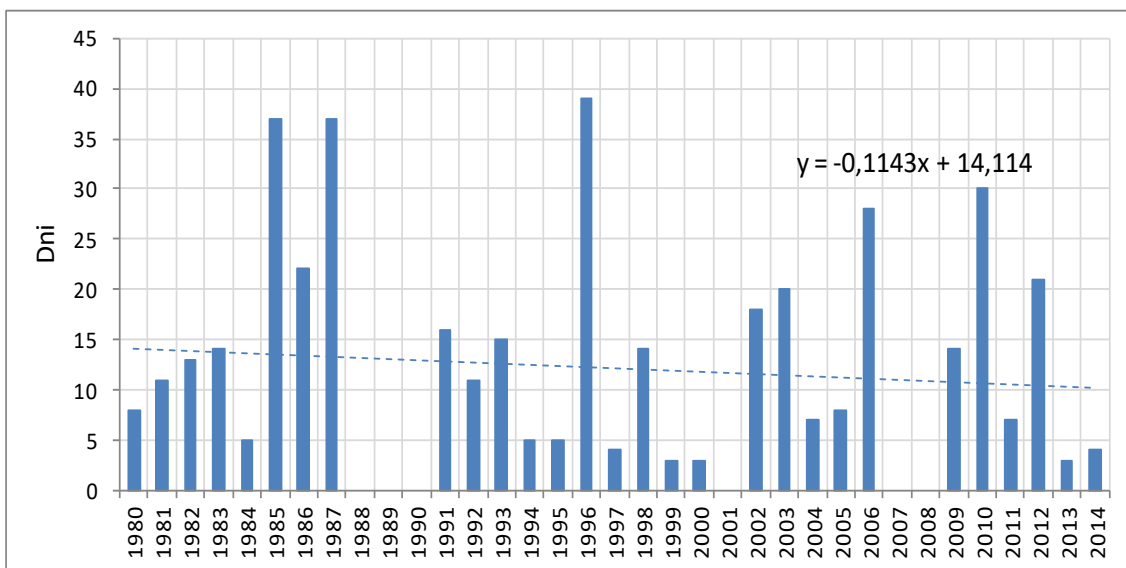
Zauważalna jest minimalna tendencja wzrostowa liczby fali chłódów - okresów z temperaturą wynoszącą poniżej -10°C utrzymującą się co najmniej 3 dni (Rysunek 15). Średnio rocznie występowało 2,1 fali chłodu. Wzrost zjawiska wyniósł ponad 0,1 okresu/dekadę. Największe natężenie zjawiska wystąpiło w latach 2006 i 2010 (6 okresów), zaś brak zjawiska cechuje lata 1988 – 1990, 2001, 2007 – 2008.



Rysunek 15. Wieloletnia zmienność liczby okresów z temperaturą minimalną powietrza mniejszą niż -10°C

2.9.2 Najdłuższy ciąg dni z temperaturą minimalną powietrza <-10°C

Fale chłódów występowały regularnie niemal w każdym roku (Rysunek 15, Rysunek 16). **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.** Średni roczny czas trwania jednej fali chłodu wynosi 12 dni. Maksymalny czas trwania fal zimna w jednym roku wynosi 39 dni chłodu (1996r.), zaś minimalny – 3 dni (lata 1999, 2000, 2013). Analiza wykazała 6 lat bez zjawiska fali chłodu (1988-1990, 2001, 2007-2008). Nastąpił spadek sumy dni o 1,1 dnia/dekadę.

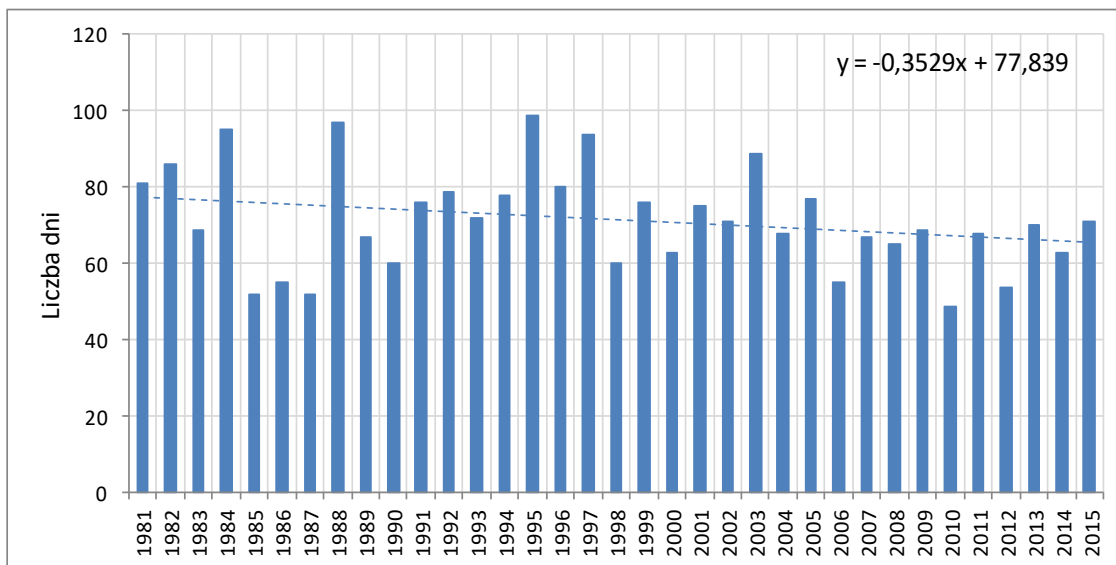


Rysunek 16. Wieloletnia zmienność liczby dni okresów trwających 3 lub więcej dni z temperaturą minimalną poniżej -10°C

2.10 Przejście temperatury powietrza przez 0°C

2.10.1 Liczba dni z temperaturą minimalną powietrza <0°C oraz temperaturą maksymalną >0°C (Tmin<0°C oraz Tmax>0°C)

Liczba dni z przejściem temperatury przez 0°C w badanym wieloleciu wykazuje tendencję spadkową (ok. 3,5 dnia/dekada) (Rysunek 17). Występuje duża zmienność liczby dni od 49 (2010r.) do 99 (1995r.).



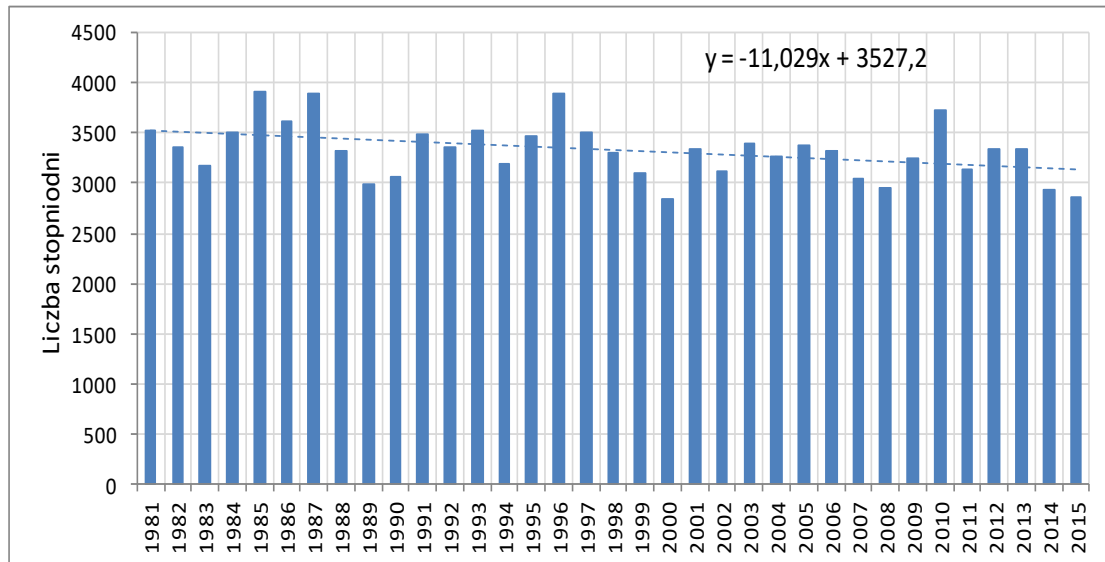
Rysunek 17. Wieloletnia zmienność liczby dni z przejściem temperatury przez 0°C w roku

2.11 Dni charakterystyczne termicznie

2.11.1 Liczba stopniodni grzania dla wartości progowej 17°C i liczba stopniodni chłodzenia dla wartości progowej 27°C

Liczba stopniodni z temperaturą minimalną poniżej 17°C w wieloleciu wykazuje tendencję spadkową (ok. 110 stopniodni/dekada) (Rysunek 18). Występuje zmienność liczby stopniodni w roku od 3915,4 (1985r.) do 2852,2 (2000r.).

Stopniodni z temperaturą minimalną powyżej 27°C w badanym wieloleciu 1981-2015 wystąpiły jedynie w 5 latach: 1992r., 1994r., 2007r., 2013r., 2015r. Liczba stopniodni w roku wahała się od 0 (1981-1991,1993,1995-2006,2008-2012,2014) do 2,9 stopniodni/dekada (2013r.).

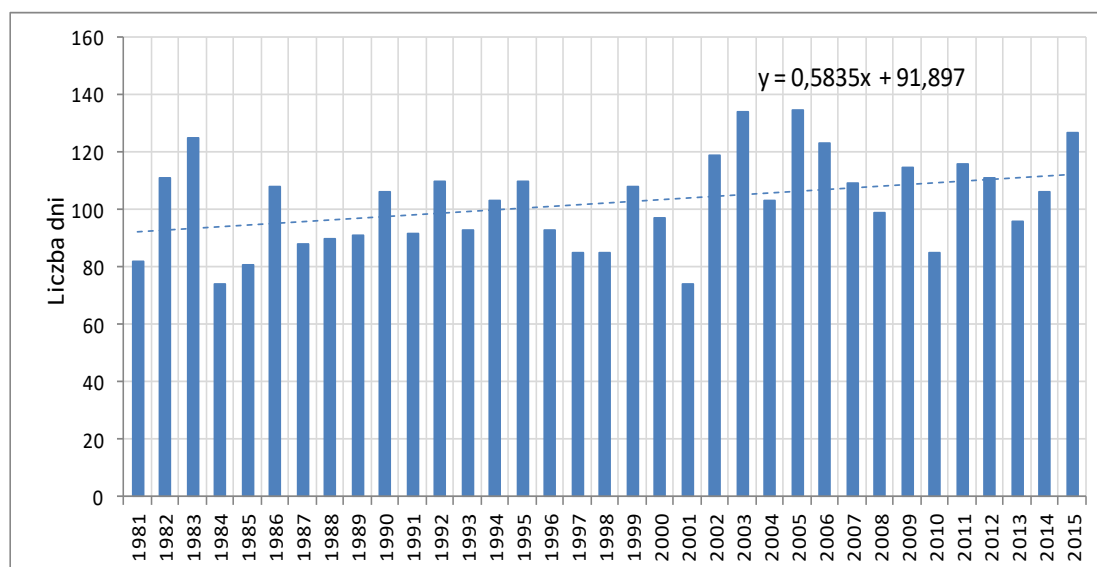


Rysunek 18. Wieloletnia zmienność liczby stopniodni dla wartości progowej 17°C

2.12 Dobowe wahania temperatury powietrza

2.12.1 Amplituda dobową temperatury powietrza $\geq 12^{\circ}\text{C}$

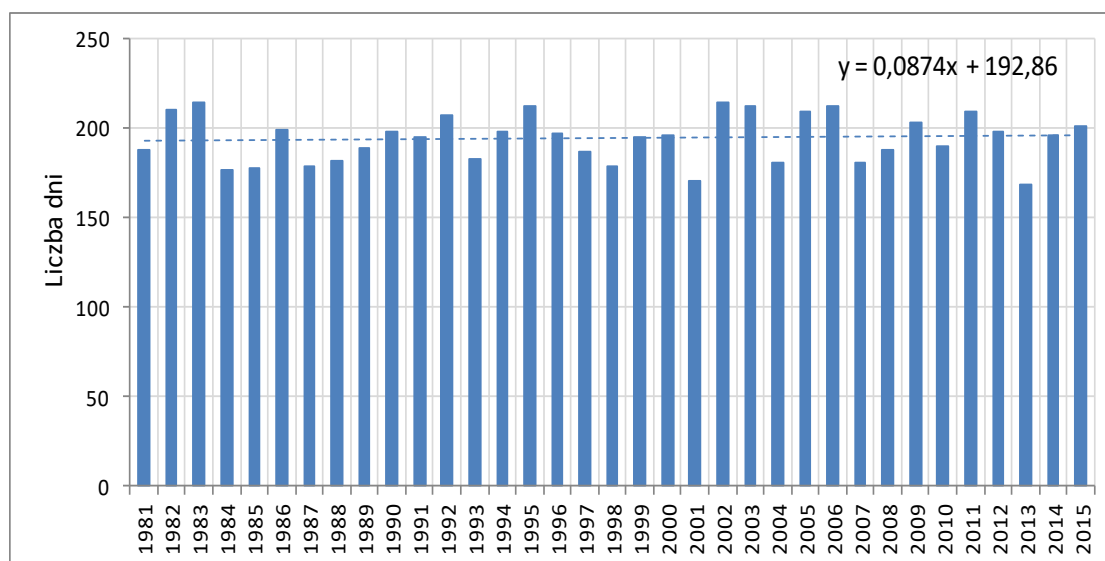
Liczba dni z amplitudą powietrza większą bądź równą 12°C w wieloleciu wykazuje tendencję wzrostową (ok. 5,8 dnia/dekada) (Rysunek 19). Występuje duża zmienność liczby dni z opisaną amplitudą, wahająca się od 74 dni (2001r.) do 135 dni (2005r.).



Rysunek 19. Wieloletnia zmienność liczby dni z temperaturą maksymalną a temperaturą minimalną $\geq 12^{\circ}\text{C}$

2.12.2 Amplituda dobową temperatury powietrza $\geq 8^{\circ}\text{C}$

Liczba dni z amplitudą powietrza większą bądź równą 8°C w wieloleciu wykazuje minimalną tendencję wzrostową (ok. 0,9 dnia/dekada) (Rysunek 20). Występuje zmienność liczby dni z opisaną amplitudą, wahająca się od 169 dni (2013r.) do 215 dni (2002r.).



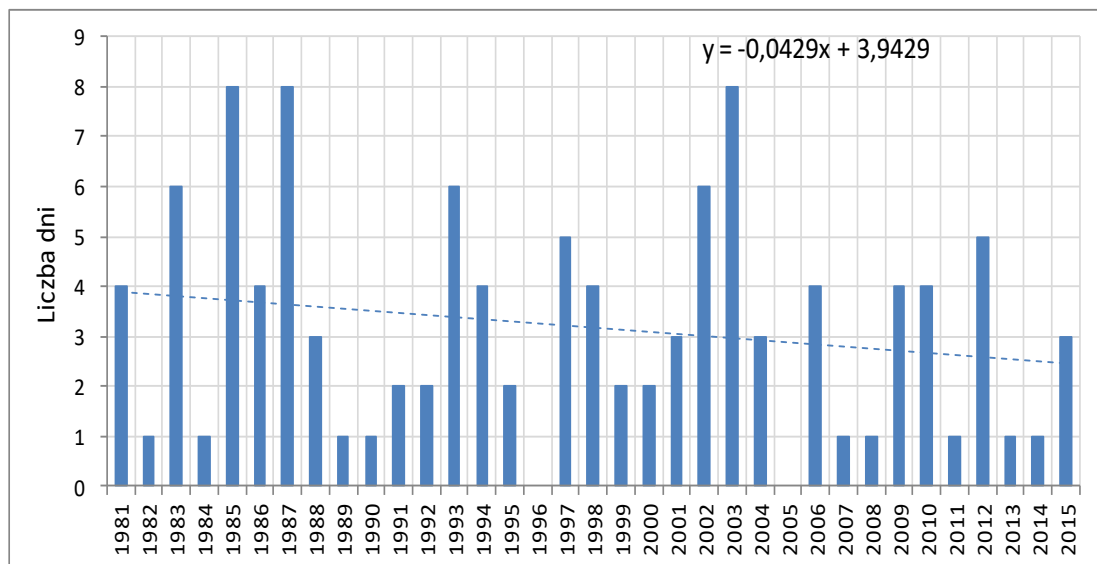
Rysunek 20. Wieloletnia zmienność liczby dni z temperaturą maksymalną a temperaturą minimalną $\geq 8^{\circ}\text{C}$

2.13 Zmienność międzydobowa

Międzydobowa zmienność temperatury powietrza jest ważną cechą warunków termicznych w naszym klimacie. Przyjęte kryterium wielkość zmian średniej dobowej temperatury powietrza, wyróżnia się zmiany ostre ($>6^{\circ}\text{C}$) i dotyczy warunków biometeorologicznych do określenia bodźcowości klimatu odczuwalnego przez człowieka.

2.13.1 Liczba dni z temperaturą międzydobową powietrza $\geq 6^{\circ}\text{C}$

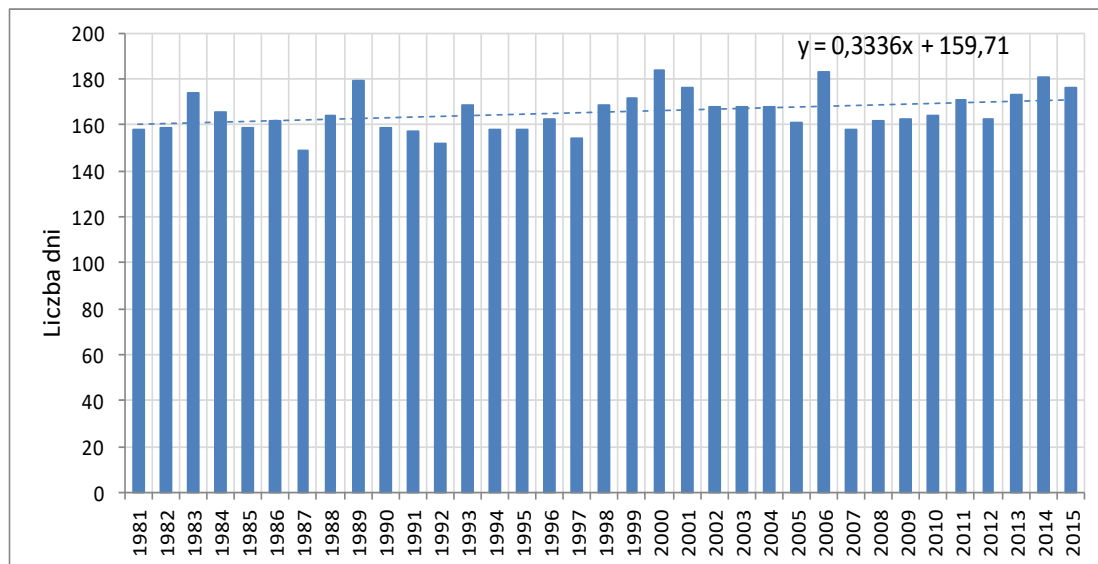
Charakterystyczna dla Tomaszowa Mazowieckiego jest duża zmienność liczby dni z międzydobową temperaturą powietrza większą bądź równą 6°C (Rysunek 21). Waha się ona w granicach od 0 (w latach 1996 i 2005) do 8 dni (w latach 1985, 1987, 2003).



Rysunek 21. Wieloletnia zmienność liczby dni z temperaturą międzydobową powietrza $\geq 6^{\circ}\text{C}$

2.13.2 Liczba dni z temperaturą średnią dobową powietrza >10°C

Liczba dni z temperaturą średnią dobową powietrza powyżej 10°C w wieloleciu wykazuje tendencję wzrostową na poziomie około 3,3 dnia/dekada (Rysunek 22). Występuje zmienność liczby dni, wahająca się od 149 dni (1987r.) do 184 dni (2000r.).

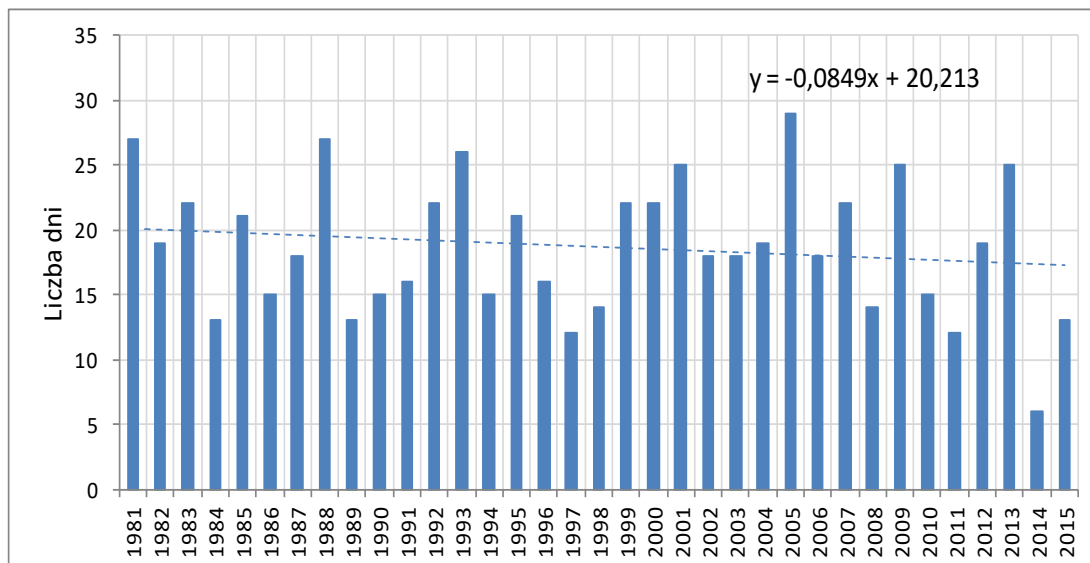


Rysunek 22. Wieloletnia zmienność liczby dni z temperaturą średnią dobową powietrza > 10°C

3 Warunki termiczno-opadowe (indeksy łączone)

3.1 Średnia dobową temperaturę powietrza w zakresie od -5°C do $+2,5^{\circ}\text{C}$ i z opadem $>1,0\text{ mm}$

Liczba dni w wieloleciu wykazuje tendencję spadkową (ok. 0,8 dnia/dekada) (Rysunek 23). Występuje zmienność liczby dni od 6 (2014r.) do 29 (2005r.)

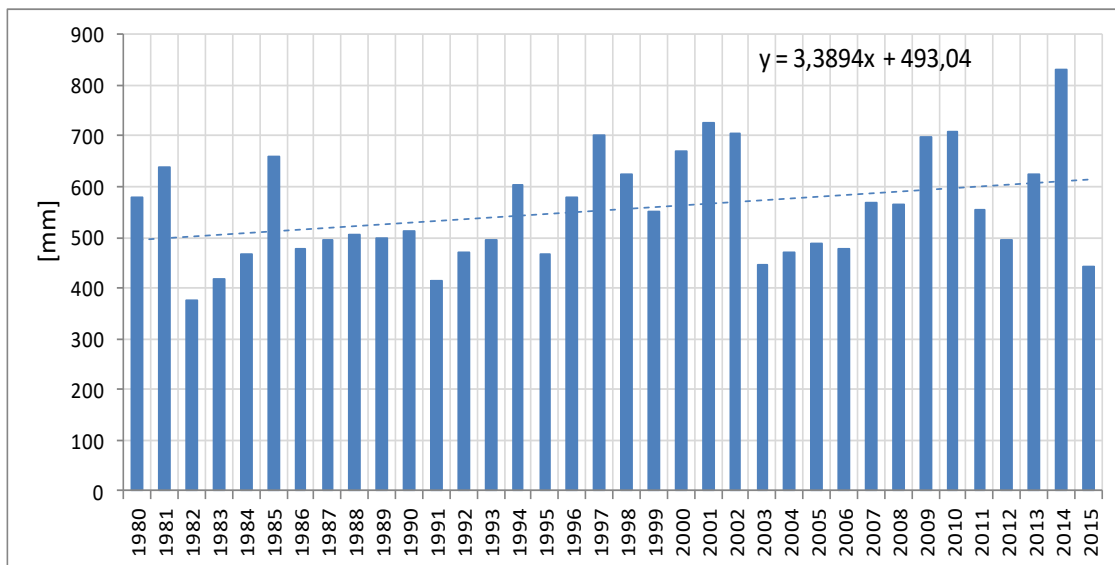


Rysunek 23. Liczba dni ze średnią dobową temperaturą powietrza w zakresie od -5°C do $+2,5^{\circ}\text{C}$ i z opadem $>1,0\text{ mm}$

4 Warunki pluwalne (opady atmosferyczne)

4.1 Roczna suma opadów

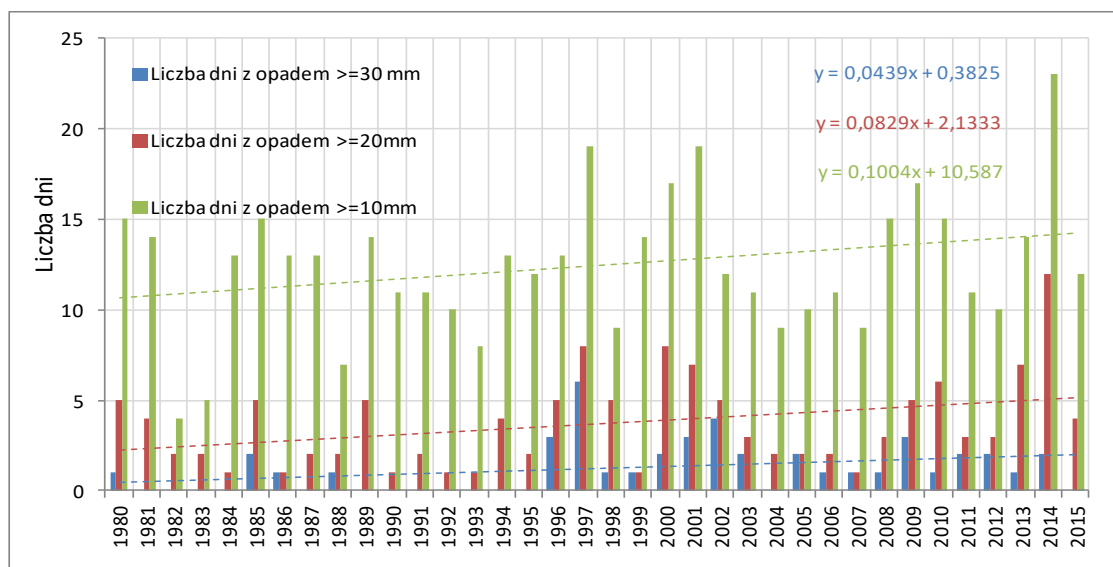
Występuje spore zróżnicowanie rocznych sum wysokości opadu od 375,1 mm (1982r.) do 832,7 mm (2014r.) (Rysunek 24). Sumy roczne wysokości opadów wykazują lekką tendencję zwyżkową na poziomie 34 mm/dekada.



Rysunek 24. Wieloletnia zmienność sumy rocznej opadów atmosferycznych

4.2 Opady atmosferyczne o określonym progiem: liczba dni z opadem większym bądź równym 10, 20 i 30 mm

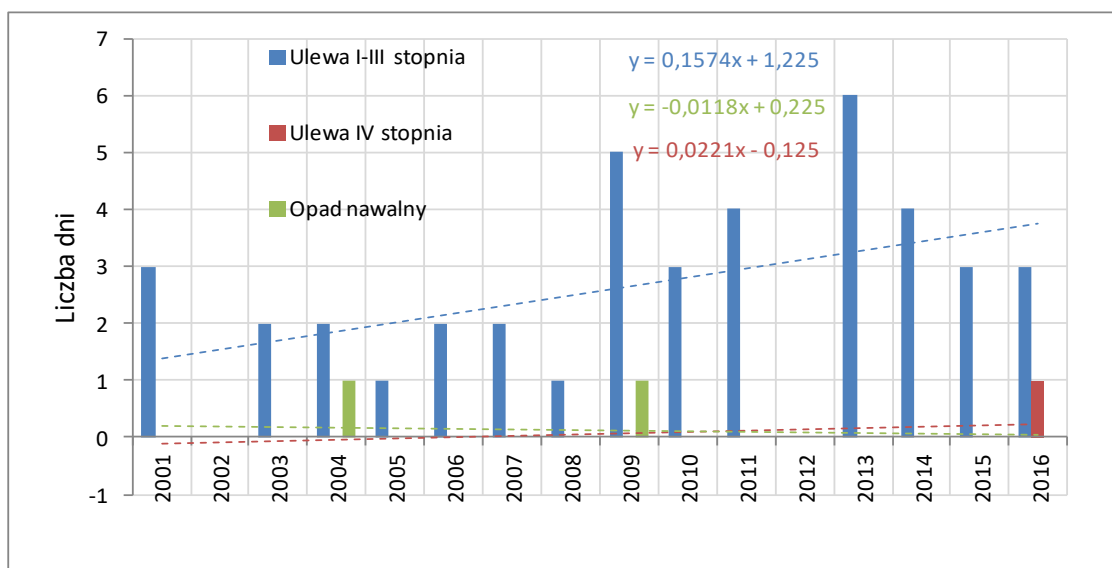
Występuje tendencja wzrostu opadu ≥ 30 mm o 0,4 dnia/dekada i opadu ≥ 20 mm o 0,8 dnia/dekada oraz opadu ≥ 10 mm o 1 dnia/dekada (Rysunek 25). Charakterystyczna jest zmienność częstości występowania opadu ≥ 30 mm od 6 dni w 1997r. aż po brak występowania w latach: 1981-1984, 1989-1995 i 2015. Zmienność częstości występowania opadu ≥ 20 mm występuje od 12 dni w 2014r., aż po 1 dnia w 6 latach w badanym wieloleciu. Zmienność częstości występowania opadu ≥ 10 mm występuje zaś w granicach od 23 dni w 2014r. aż po 8 dni w 1982r.



Rysunek 25. Liczba dni z opadem większym bądź równym 10, 20 i 30 mm

4.3 Deszcze nawalne i powodzie miejskie (nagle)

Występuje tendencja wzrostu ulewy I-III st. o 1,6 dnia/dekada i ulewy IV st. o 0,2 dnia/dekada (Rysunek 26). Dodatkowo zauważalna jest tendencja spadkowa opadu nawalnego na poziomie 0,1 dnia/dekada. Charakterystyczna jest zmienność ulew I-III st. od 6 dni w 2013r., aż po brak występowania w roku 2002 i 2012. Ulewa IV st. i opad nawalny wystąpiły jedynie w latach: 2004, 2009 i 2016.

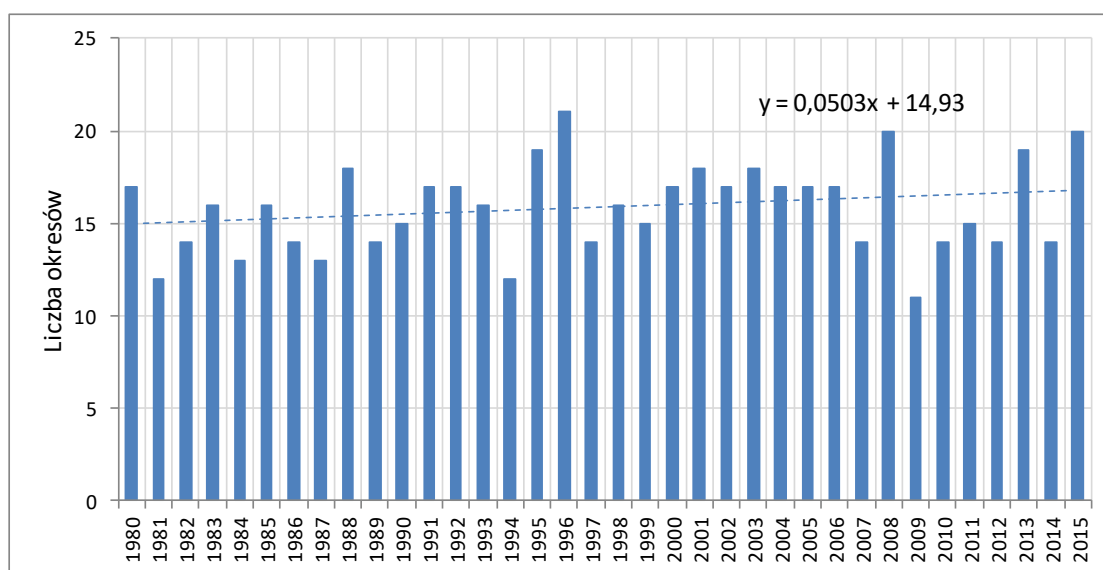


Rysunek 26. Liczba dni z ulewą I-III stopnia oraz ulewą IV stopnia, wraz z liczbą dni z opadem nawalnym

5 Okresy bezopadowe

5.1 Liczba okresów bez opadu o czasie trwania ponad 5 dni

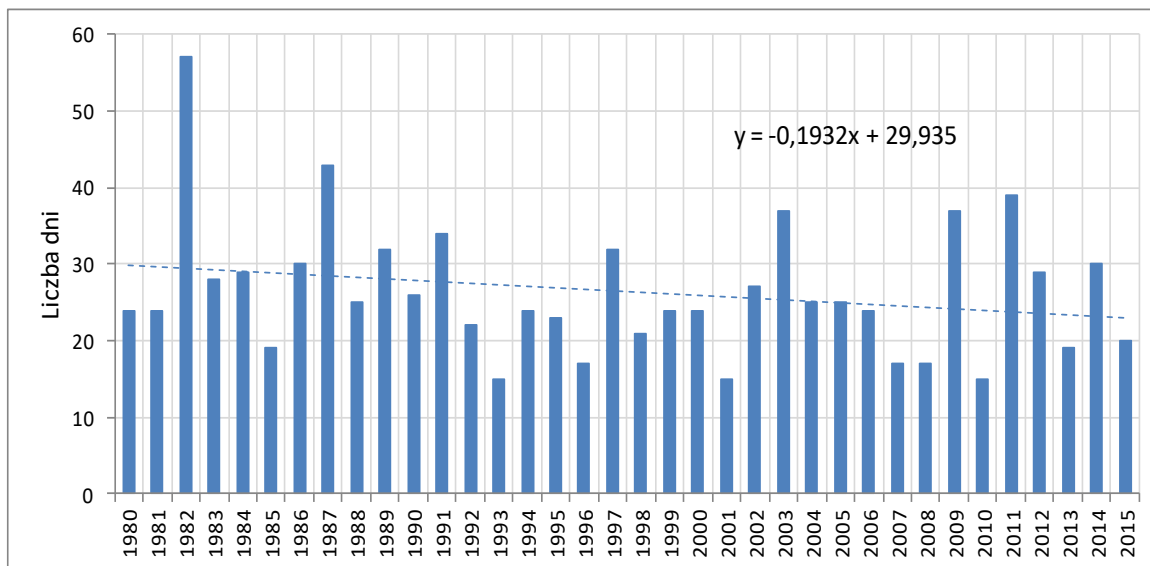
Okresy bezopadowe o czasie trwania ponad 5 dni zdarzały się w badanym wieloleciu często (Rysunek 27). Największa liczba (21 okresów bezopadowych) wystąpiła w roku 1996 roku, najmniejsza zaś (11 okresów bezopadowych) w roku 2009. Występowanie okresów bezopadowych dłuższych od 5 dni w roku będzie, zgodnie z zaprezentowanym trendem, wzrastać średnio ok. 0,5 okresu/dekada.



Rysunek 27. Liczba okresów bezopadowych o czasie trwania ponad 5 dni

5.2 Najdłuższe okresy bezopadowe (opad <1mm/d)

Ciągłe okresy bezopadowe zdarzały się w ubiegłych latach często (Rysunek 28). Najdłuższy (57 dni) wystąpił w roku 1982, najkrótszy (15 dni) w roku 1993 i 2001. Najdłuższe okresy bezopadowe będą, zgodnie z zaprezentowanym trendem, maleć średnio ok. 2 dni/dekada.



Rysunek 28. Najdłuższe okresy bezopadowe w wieloleciu 1980-2015

6 Okresy niżówkowe (rzeki)

W okolicy miasta znajduje się 5 stacji wodowskazowych obejmujących 4 rzeki (i ich dopływy) przepływające przez obszar miejski Tomaszowa Mazowieckiego (Rysunek 29). Przeprowadzona została analiza danych o niżówkach i suszach hydrologicznych rzeki Pilicy i jej dwóch stacji wodowskazowych: Sulejów – Kopalnia oraz Spała, umiejscowionych odpowiednio na 158,9 km i 120,2 km rzeki, rzeki Czarnej i stacji wodowskazowej Dąbrowa umiejscowionej na 6,47 km rzeki, rzeki Luciąży i stacji wodowskazowej Kłudzice położonej na 9,43 km rzeki oraz rzeki Wolbórki i jej stacji wodowskazowej Zawada, położonej na 9,37 km rzeki.



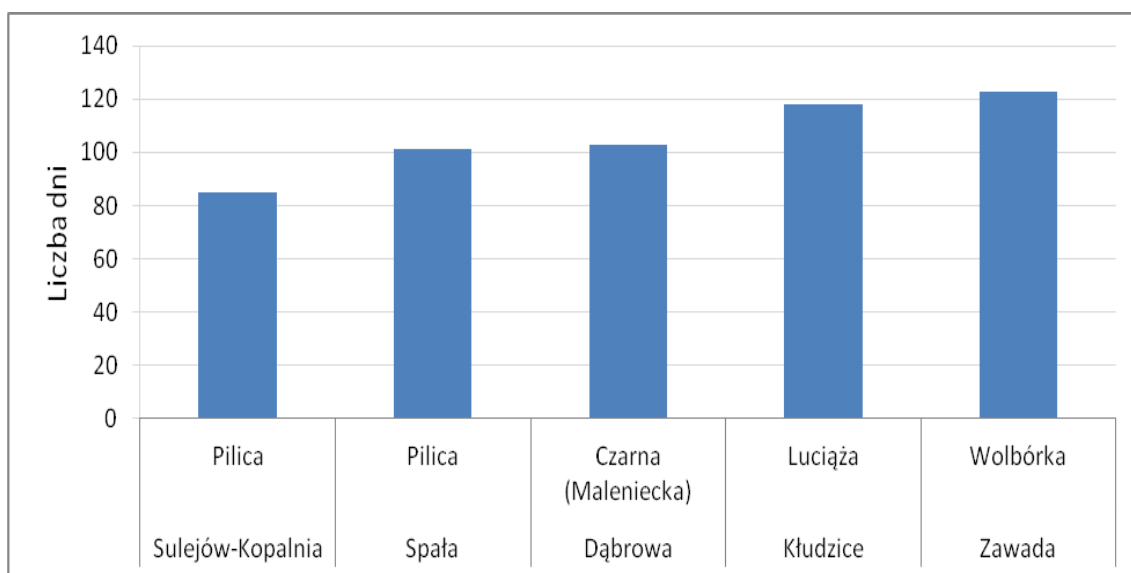
Rysunek 29. Mapa wraz z zaznaczonymi stacjami wodowskazowymi położonymi w okolicach Tomaszowa Mazowieckiego

6.1 Liczba niżówek (rzeki)

Liczba niżówek jest zróżnicowana w zależności od analizowanego posterunku wodowskazowego – w wieloleciu 1981-2015 zidentyfikowano łącznie od 85 niżówek (rzeka Pilica, posterunek Sulejów - Kopalnia) do 123 niżówek (rzeka Wolbórka, posterunek Zawada). Przeważają niżówki letnie – na rzece Wolbórze i Luciąży występowały one prawie trzykrotnie częściej niż niżówki zimowe, zaś na rzece Pilicy w posterunku Spała i Sulejów - Kopalnia prawie dwukrotnie więcej od niżówek zimowych (Tabela 1, Rysunek 30).

Tabela 1. Liczba dni niżówek, niżówek letnich i zimowych na rzece Pilicy, Czarnej, Luciąży i Wolbórze

Stacja wodowskazowa	Rzeka	Liczba dni niżówek 1981-2015	Liczba dni niżówek letnich NI	Liczba dni niżówek zimowych Nz	NI/Nz
Sulejów-Kopalnia	Pilica	85	53	32	1,66
Spała	Pilica	101	69	32	2,16
Dąbrowa	Czarna (Maleniecka)	103	61	42	1,45
Kłudzice	Luciąża	118	86	32	2,69
Zawada	Wolbórka	123	92	31	2,97

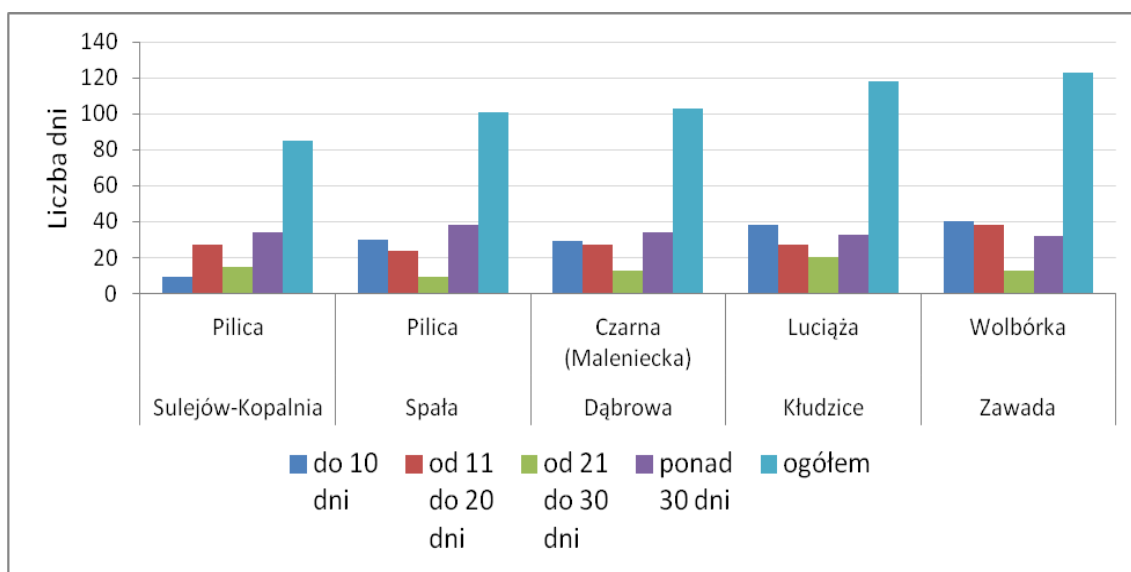


Rysunek 30. Liczba dni niżówek na rzece Pilicy (stacja wodowskazowa Sulejów Kopalnia, stacja wodowskazowa Spała), Czarnej (stacja wodowskazowa Dąbrowa), Luciąży (stacja wodowskazowa Kłudzice) i Wolbórze (stacja wodowskazowa Zawada)

Analiza występowania niżówek w zależności od czasu trwania wykazuje, że największy udział procentowy posiadają niżówki o długości trwania do 10 dni, bądź niżówki trwające ponad 30 dni. Najmniejszą liczbę niżówek (9) o czasie trwania do 10 dni zaobserwowano na Pilicy (posterunek Sulejów – Kopalnia), zaś najwięcej (40 niżówek) zanotowano na rzece Wolbórze. Niżówki trwające ponad 30 dni wykazują odwrotną tendencję występowania, największą na rzece Pilicy, zaś najmniejszą na rzece Wolbórze. Udział niżówek w poszczególnych przedziałach czasowych obrazuje poniższa tabela i wykres (Tabela 2, Rysunek 31).

Tabela 2. Liczba niżówek w podziale na czas trwania, na rzece Pilicy, Czarnej, Luciąży i Wolbórze

Stacja wodowskazowa	Rzeka	Liczba niżówek				
		ogółem	do 10 dni	od 11 do 20 dni	od 21 do 30 dni	ponad 30 dni
Sulejów-Kopalnia	Pilica	85	9	27	15	34
Spała	Pilica	101	30	24	9	38
Dąbrowa	Czarna (Maleniecka)	103	29	27	13	34
Kłudzice	Luciąża	118	38	27	20	33
Zawada	Wolbórka	123	40	38	13	32

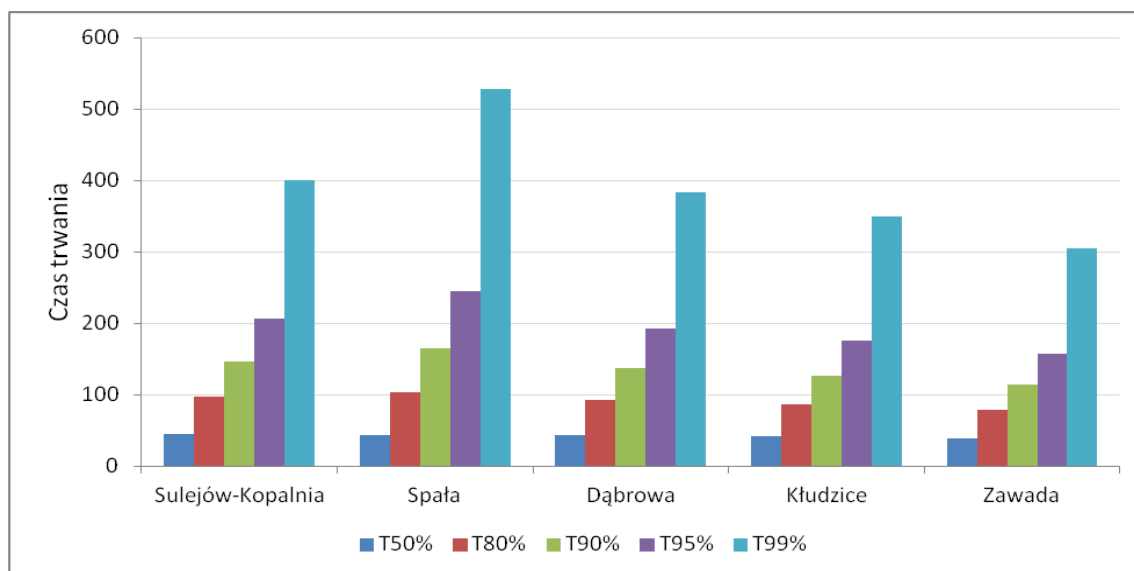


Rysunek 31. Liczba dni niżówek na rzece Pilicy (stacja wodowskazowa Sulejów Kopalnia, stacja wodowskazowa Spała), Czarnej (stacja wodowskazowa Dąbrowa), Luciąży (stacja wodowskazowa Kłudzice) i Wolbórze (stacja wodowskazowa Zawada)

6.2 Czas trwania niżówek

Tabela 3. Czas trwania niżówki, na rzece Pilicy, Czarnej, Luciąży i Wolbórze

Stacja wodowskazowa	Rzeka	Czas trwania niżówki [dni]				
		T50%	T80%	T90%	T95%	T99%
Sulejów-Kopalnia	Pilica	44,4	97,6	146,8	206,9	400,9
Spała	Pilica	43,2	103,7	165,2	245,1	527,9
Dąbrowa	Czarna (Maleniecka)	44	92,8	137,4	192,7	382,7
Kłudzice	Luciąża	42	85,9	126,2	176,3	350,1
Zawada	Wolbórka	39,4	78,5	113,9	157,3	304,7



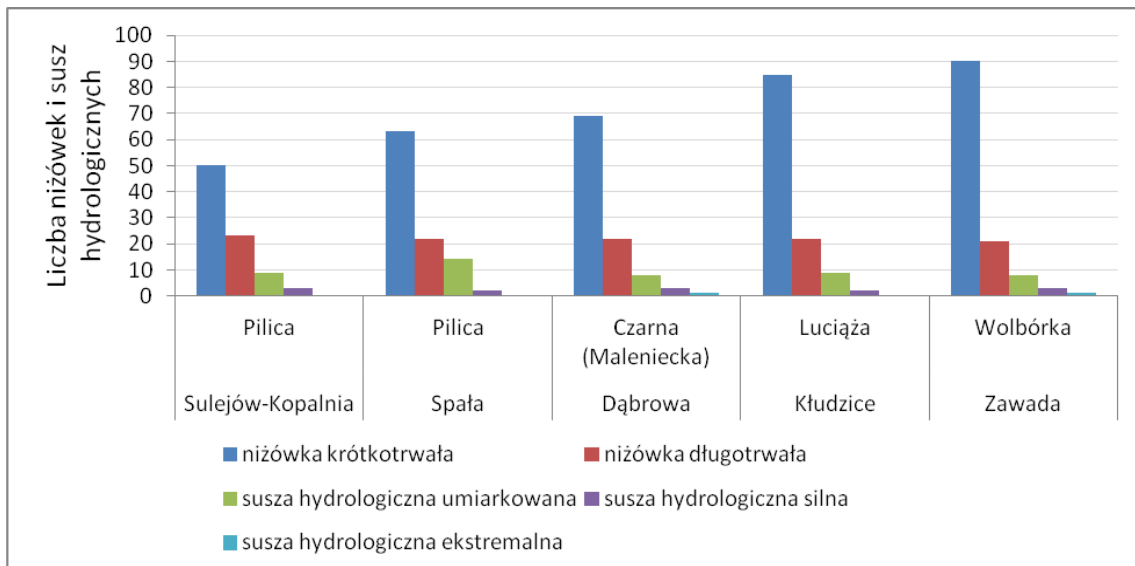
Rysunek 32. Czas trwania niżówki na rzece Pilicy (stacja wodowskazowa Sulejów Kopalnia, stacja wodowskazowa Spała), Czarnej (stacja wodowskazowa Dąbrowa), Luciąży (stacja wodowskazowa Kłudzice) i Wolbórze (stacja wodowskazowa Zawada)

6.3 Nizówki i susze hydrologiczne

Analiza niozówek i susz hydrologicznych (Tabela 4, Rysunek 33) dowodzi, że przeważają niozówek krótkotrwałe - stanowią od 58,8% (rzeka Pilica, posterunek Sulejów - Kopalnia) do 73,2% (rzeka Wolbórka, posterunek Zawada) wszystkich niozówek zidentyfikowanych w wieloleciu 1981-2015. W przypadku suszy hydrologicznej przeważa susza umiarkowana (średnio ok. 75% wszystkich zidentyfikowanych okresów suszy), zarejestrowano znikome przypadki występowania ekstremalnych susz hydrologicznych na rzece Czarnej i Wolbórcie, stanowiących około 8% wszystkich zidentyfikowanych okresów suszy.

Tabela 4. Liczba niozówek i susz hydrologicznych w podziale na rodzaje, na rzece Pilicy, Czarnej, Luciąży i Wolbórcie

Stacja wodowskazowa	Rzeka	Liczba niozówek i susz hydrologicznych				
		niozówek krótkotrwała	niozówek długotrwała	susza hydrologiczna umiarkowana	susza hydrologiczna silna	susza hydrologiczna ekstremalna
Sulejów-Kopalnia	Pilica	50	23	9	3	0
Spała	Pilica	63	22	14	2	0
Dąbrowa	Czarna (Maleniecka)	69	22	8	3	1
Kłudzice	Luciąża	85	22	9	2	0
Zawada	Wolbórka	90	21	8	3	1



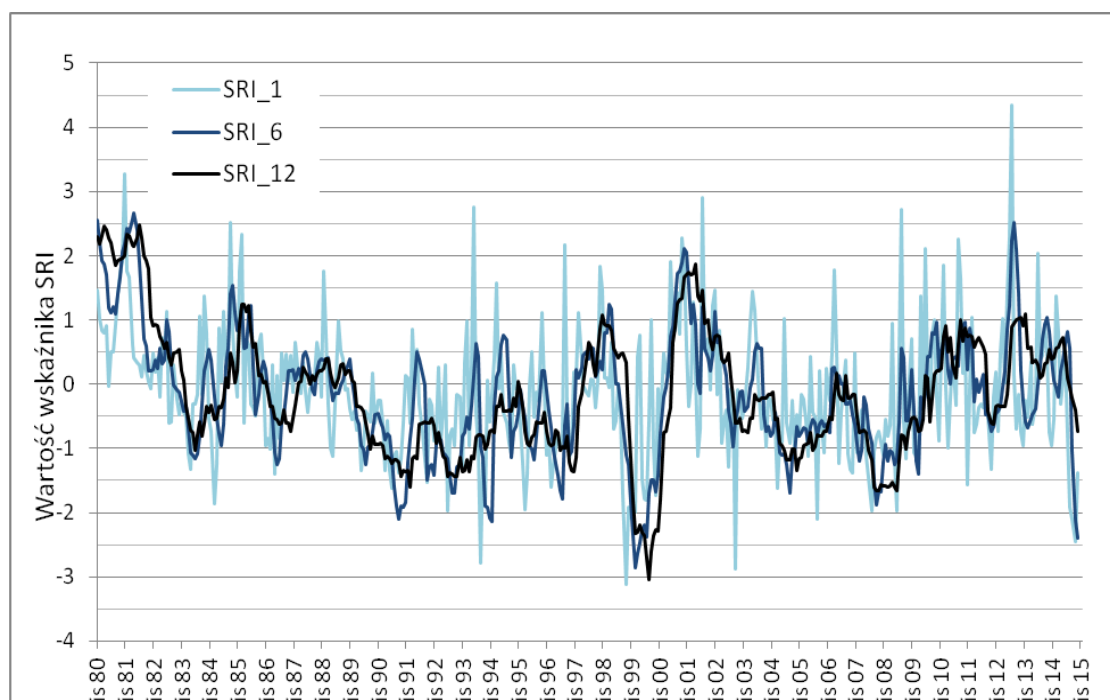
Rysunek 33. Liczba niozówek i susz hydrologicznych w podziale na rodzaje na rzece Pilicy (stacja wodowskazowa Sulejów Kopalnia, stacja wodowskazowa Spała), Czarnej (stacja wodowskazowa Dąbrowa), Luciąży (stacja wodowskazowa Kłudzice) i Wolbórcie (stacja wodowskazowa Zawada)

7 Susze SRI

Analizując charakterystykę wielolecia 1980-2015 w odniesieniu do wielkości odpływu na podstawie wskaźnika SRI (dla rzeki Wolbórka, posterunek Zawada), zarejestrowano najczęściej udział procentowy miesięcy w wieloleciu dla okresu bliskiego warunkom normalnym, wahającego się od 71,2% dla wartości SRI 1 do 69,5% dla wartości SRI 6 (Tabela 5, Rysunek 34). Najmniejszy udział miesięcy wykazuje zaś okres ekstremalnie suchy, który osiąga wartości od 1,6% dla wskaźnika SRI 1 do 2,9% dla wskaźnika SRI 6.

Tabela 5. Charakterystyka wielolecia 1981-2015 w odniesieniu do wielkości odpływu na podstawie wskaźnika SRI (rzeka Wolbórka, posterunek wodowskazowy Zawada)

Wartość SRI	Klasyfikacja okresu	Udział procentowy miesięcy w wieloleciu 1980-2015[%]		
		SRI 1	SRI 6	SRI 12
$\geq 2,0$	ekstremalnie mokry	3,1	3,3	3,8
od 1,5 do 1,99	bardzo mokry	3,1	2,4	2,9
od 1,0 do 1,49	umiarkowanie mokry	5,7	5,0	3,6
od -0,99 do 0,99	bliski warunkom normalnym	71,2	69,5	71,0
od -1,49 do -1,0	umiarkowanie suchy	10,5	11,9	11,9
od -1,99 do -1,5	bardzo suchy	4,3	4,5	3,3
$\leq -2,0$	ekstremalnie suchy	1,6	2,9	2,6

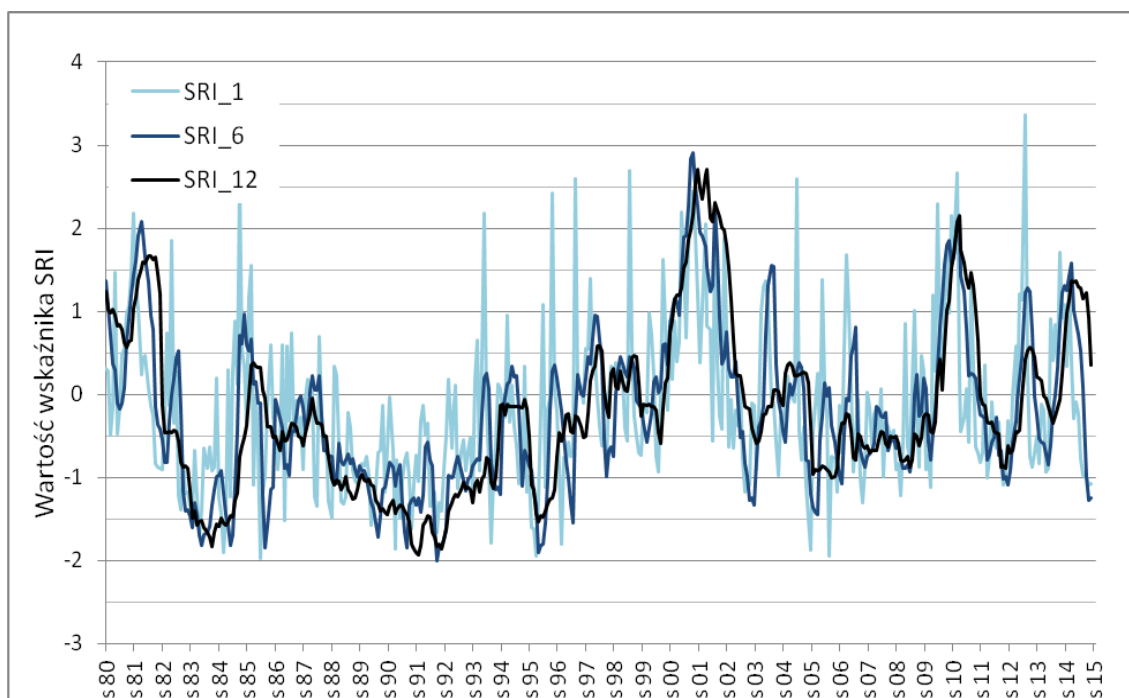


Rysunek 34. Wartości wskaźnika SRI 1, SRI 6 i SRI 12 na rzece Wolbórce

Charakterystyka wielolecia 1980-2015 opisująca wielkości odpływu na podstawie wskaźnika SRI (dla rzeki Luciąży, posterunek Kłudzice), zarejestrowała najwięcej udziału procentowego miesięcy w wieloleciu dla okresu bliskiego warunkom normalnym, wahającego się od 61,4% dla wartości SRI 12 do 70,5% dla wartości SRI 1 (Tabela 6, Rysunek 35). Najmniejszy udział miesięcy wykazuje zaś okres ekstremalnie suchy, który osiąga wartości od 0% dla wskaźnika SRI 1 i SRI 12 do zaledwie 0,2% dla wskaźnika SRI 6.

Tabela 6. Charakterystyka wielolecia 1980-2015 w odniesieniu do wielkości odpływu na podstawie wskaźnika SRI (rzeka Luciąża, posterunek wodowskazowy Kłudzice)

Wartość SRI	Klasyfikacja okresu	Udział procentowy miesięcy w wieloleciu 1980-2015[%]		
		SRI 1	SRI 6	SRI 12
$\geq 2,0$	ekstremalnie mokry	3,8	2,1	3,6
od 1,5 do 1,99	bardzo mokry	2,6	4,5	4,3
od 1,0 do 1,49	umiarkowanie mokry	5,5	5,5	6,7
od -0,99 do 0,99	bliski warunkom normalnym	70,5	66,2	61,4
od -1,49 do -1,0	umiarkowanie suchy	13,3	13,6	16,0
od -1,99 do -1,5	bardzo suchy	3,8	6,0	6,9
$\leq -2,0$	ekstremalnie suchy	0	0,2	0

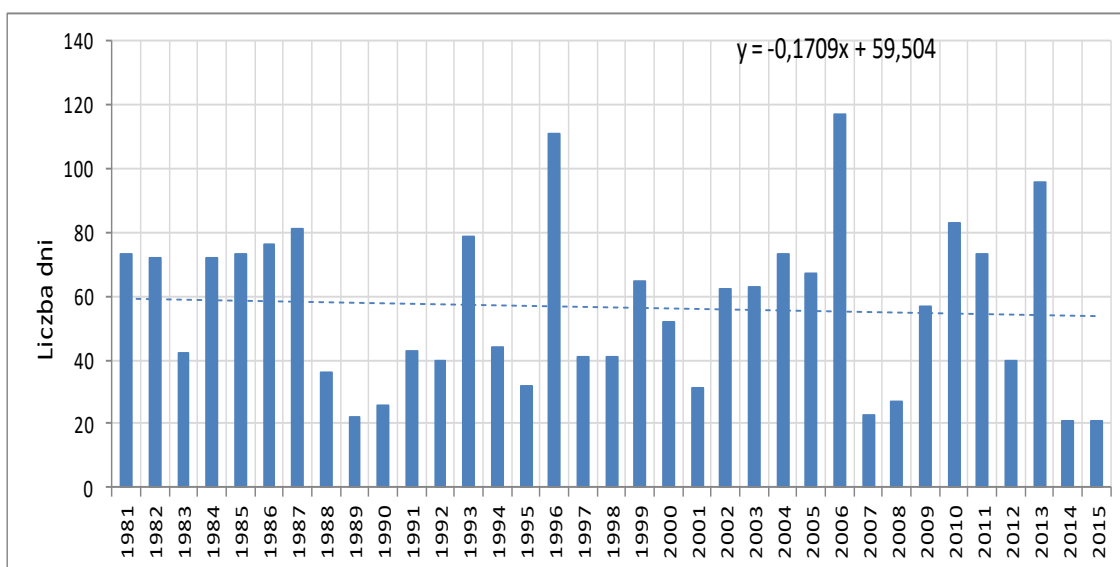


Rysunek 35. Wartości wskaźnika SRI 1, SRI 6 i SRI 12 na rzece Luciąży

8 Pokrywa śnieżna

8.1 Liczba dni z pokrywą śnieżną w okresie X-V

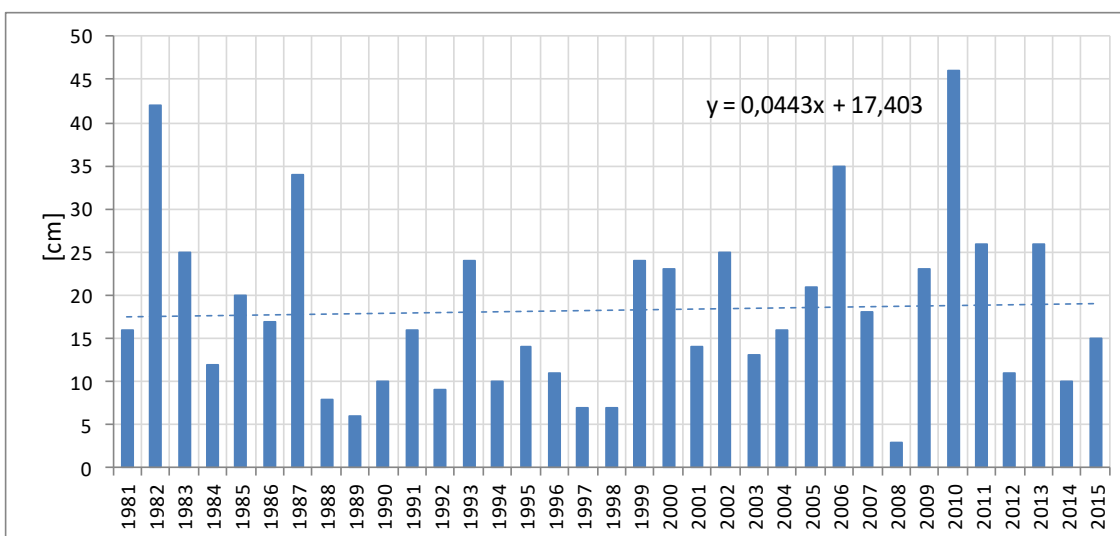
Liczba dni pokrywą śnieżną w badanym wieloleciu wykazuje tendencję spadkową (ok. 0,7 dnia/dekada). (Rysunek 36). Występuje duża zmienność liczby dni od 21 dni (lata 2014-2015) do 117 dni (2006r.).



Rysunek 36. Liczba dni z pokrywą śnieżną w okresie listopad – maj w wieloleciu 1981 – 2015

8.2 Maksymalna grubość pokrywy śnieżnej w okresie X-V

Zauważalny jest minimalny wzrost maksymalnej grubości pokrywy śnieżnej w badanym wieloleciu o ok. 0,4 cm/dekada (Rysunek 37). Charakterystyczna jest duża zmienność maksymalnej grubości pokrywy śnieżnej w poszczególnych latach, oscylująca w granicach od 3 cm w 2008r. do 46 cm w roku 2010, posiadająca współczynnik zmienności na poziomie 55%.

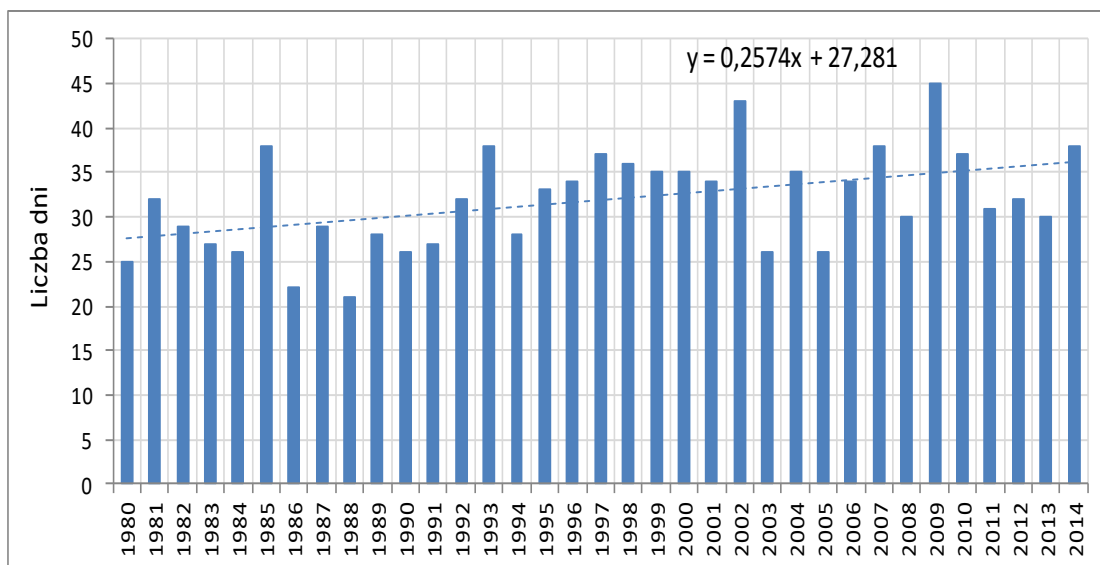


Rysunek 37. Maksymalna grubość pokrywy śnieżnej w okresie listopad – maj w wieloleciu 1981-2015

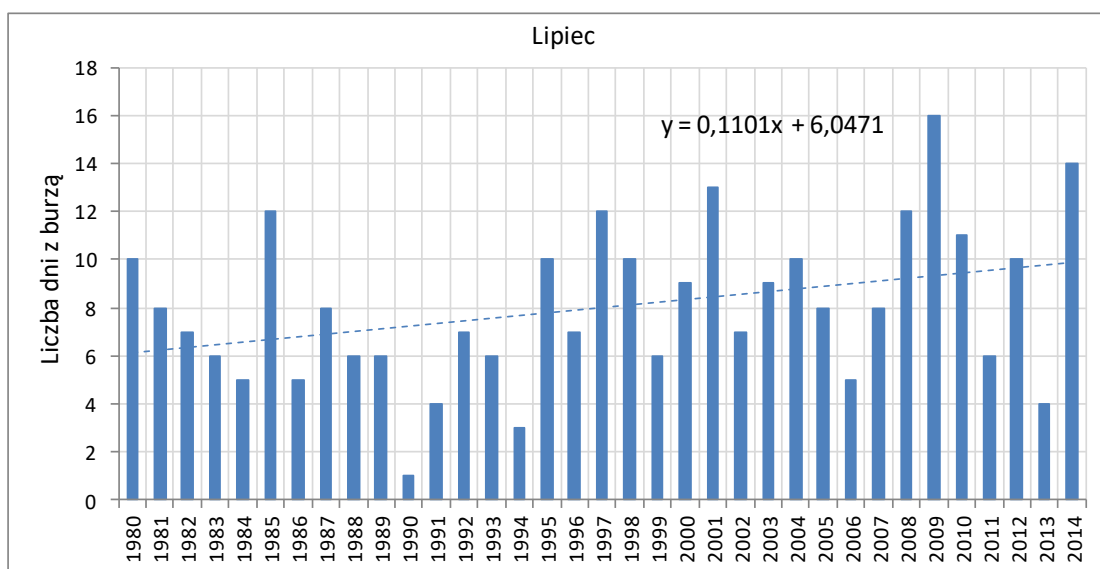
9 Niebezpieczne zjawiska meteorologiczne – burze, silny wiatr

9.1 Burze

Liczba burz w roku systematycznie zwiększa się około 2-3 burze na dekadę (Rysunek 38). Największe ilości burz w wieloletiu wystąpiły w roku 2002 (43 burze) oraz 2009 (45 burz). Charakterystyczny, najintensywniejszy wzrost liczby burz odnotowano w lipcu a spadek w styczniu. (Rysunek 39).



Rysunek 38. Liczba dni z burzą w badanym wieloleciu 1980 – 2014

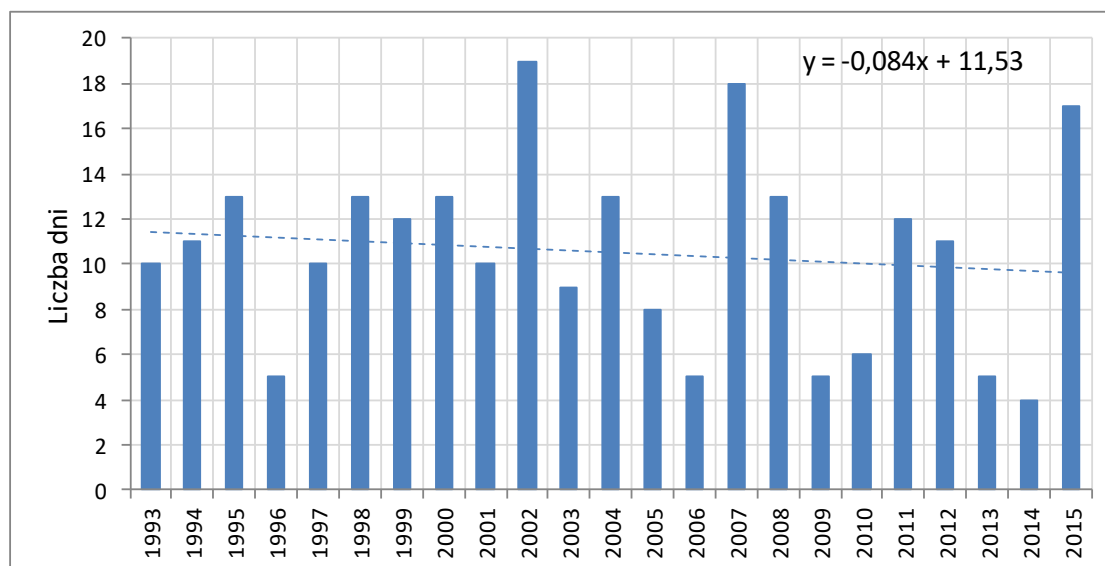


Rysunek 39. Liczba dni z burzą w miesiącu lipcu

9.2 Porywy wiatru

9.2.1 Liczba dni z porywami wiatru $\geq 17\text{m/s}$

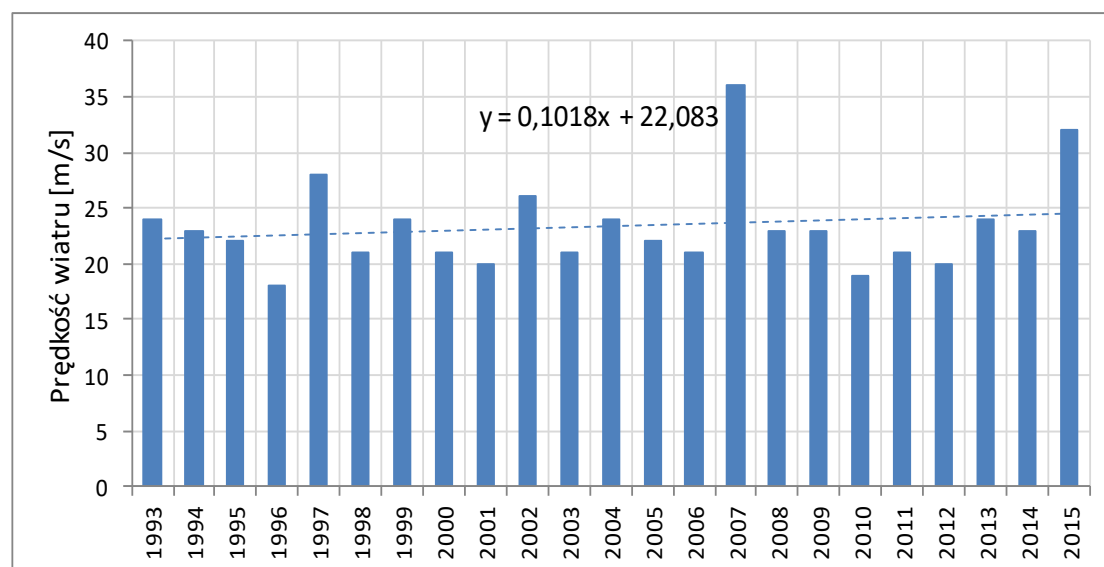
W badanym wieloleciu obniżała się liczba dni z porywami wiatru powyżej 17m/s, a spadek ten wynosił około 0,8 dnia/dekada (Rysunek 40). Maksymalna liczba dni z wiatrem o prędkości $\geq 17\text{m/s}$ wystąpiła w roku 2002 (19 dni) a najmniejsza w roku 2014 (4 dni).



Rysunek 40. Liczba dni z porywem wiatru przekraczającym 17 m/s

9.2.2 Maksymalna prędkość wiatru

Maksymalna prędkość wiatru w latach 1993-2015 wykazuje tendencję wzrostową ok. 1m/s/dekada (Rysunek 41). Maksymalna wystąpiła w roku 2007 (36 m/s) a minimalna w roku 1996 (18 m/s).



Rysunek 41. Maksymalna prędkość wiatru w badanym wieloleciu 1993 – 2015

10 Zanieczyszczenia powietrza

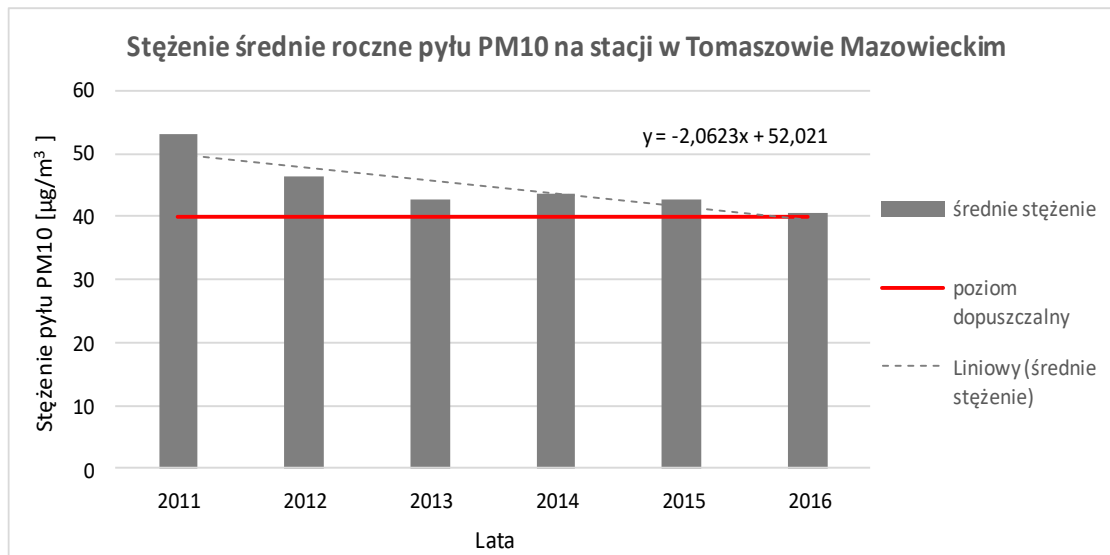
10.1 Pył zawieszony PM10

Analizy stężenia zanieczyszczeń powietrza pyłem zawieszonym PM10 przeprowadzono w oparciu o dane pomiarowe ze stacji w Tomaszowie Mazowieckim przy ul. Św. Antoniego 43 (Tabela 7).

Tabela 7. Dane stacji pomiarowej w Tomaszowie Mazowieckim

Kod stacji	Kod UE	Nazwa stacji	Organizacja	Status	Typ stacji	Typ obszaru	Rodzaj stacji	Miejscowość	Ulica
LdTomasz WIOSMS wAnton	PL1002	TomaszówMaz. -Św.Antoniego 43	WIOŚ w Łodzi	Aktywny	Tło	Miejski	Wolnostojący pobornik pyłu	Tomaszów Mazowiecki	Ul. Św. Antoniego 43

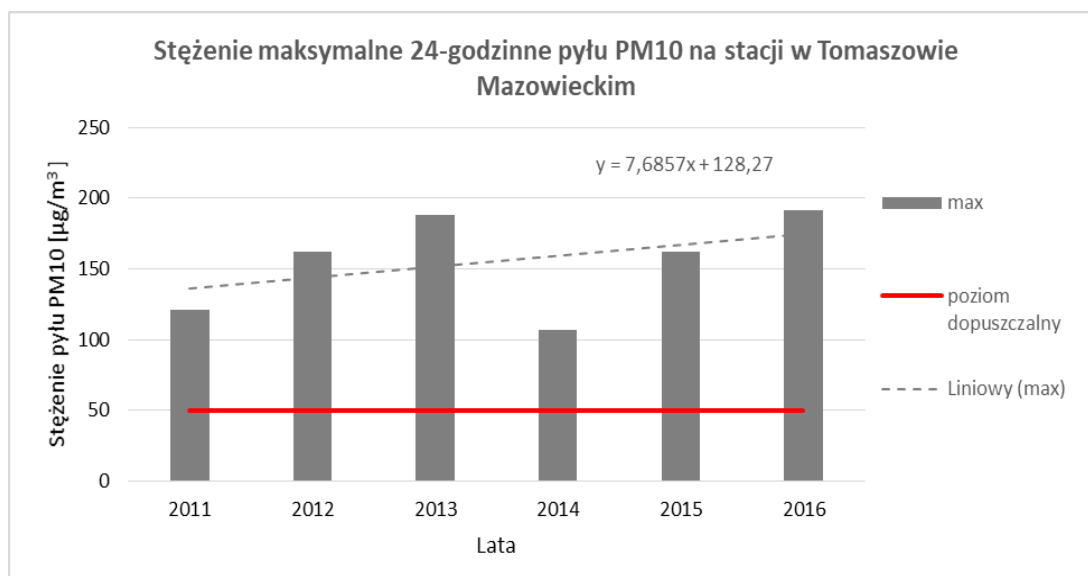
Przedstawiono stężenia średnioroczne pyłu PM10 w latach 2011-2016 (Rysunek 42). Najwyższą wartość średnią równą $53,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zanotowano w roku 2011, natomiast najniższą w roku 2016 równą $40,58 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Analiza średniego rocznego stężenia pyłu zawieszonego PM10, wskazuje, że poziom dopuszczalny $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ został przekroczony w każdym roku badanego wielolecia. Wartości stężeń średniorocznych pyłu PM10 w latach 2011-2016, wykazują tendencję malejącą.



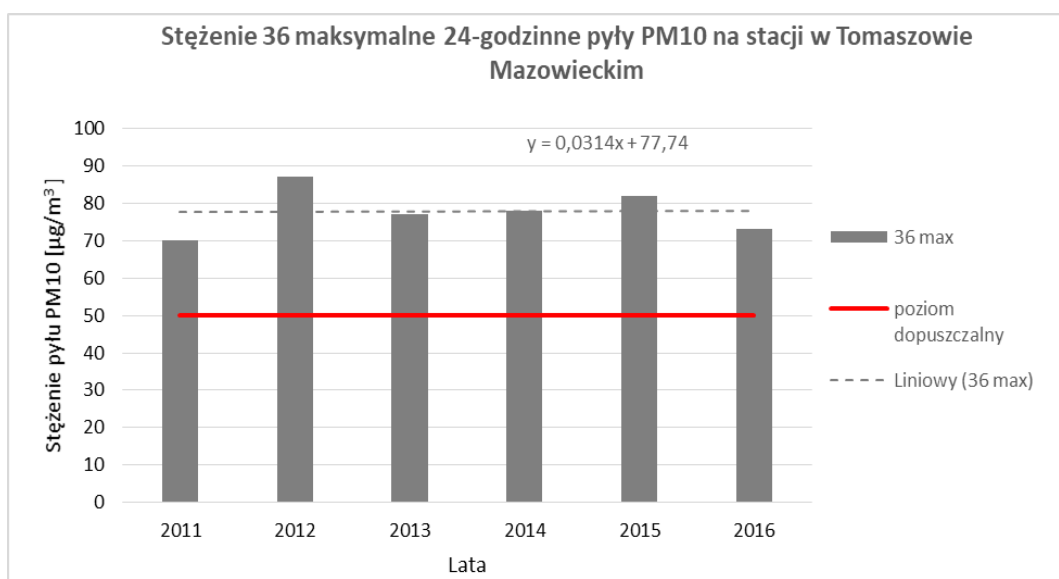
Rysunek 42. Pył zawieszony PM10 - stężenie średnie roczne

Odnotowano wzrost wartości stężeń maksymalnych rocznych przypada na lata 2015-2016. Najwyższą wartość średnią równą $191 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zanotowano w roku 2016, natomiast najniższą w roku 2014 równą $107 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Wartości stężeń maksymalnych dobowych pyłu PM10 w latach 2011-2016, wykazują tendencję rosnącą. We wszystkich latach badanego wielolecia zanotowano przekroczenie wartości dopuszczalnej ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Analiza 36 maksymalnego stężenia 24-godzinne pyłu PM10 (Rysunek 44) wykazuje przekroczenia poziomu dopuszczalnego $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ w każdym z badanych lat w wieloleciu 2011-2016. Linia trendu dla analizowanych stężeń wykazuje minimalną tendencję zwyżkową.



Rysunek 43. Pył zawieszony PM10 - stężenie maksymalne dobowe



Rysunek 44. Pył zawieszony PM10 – stężenie 36 maksymalne spośród stężeń średnich dobowych

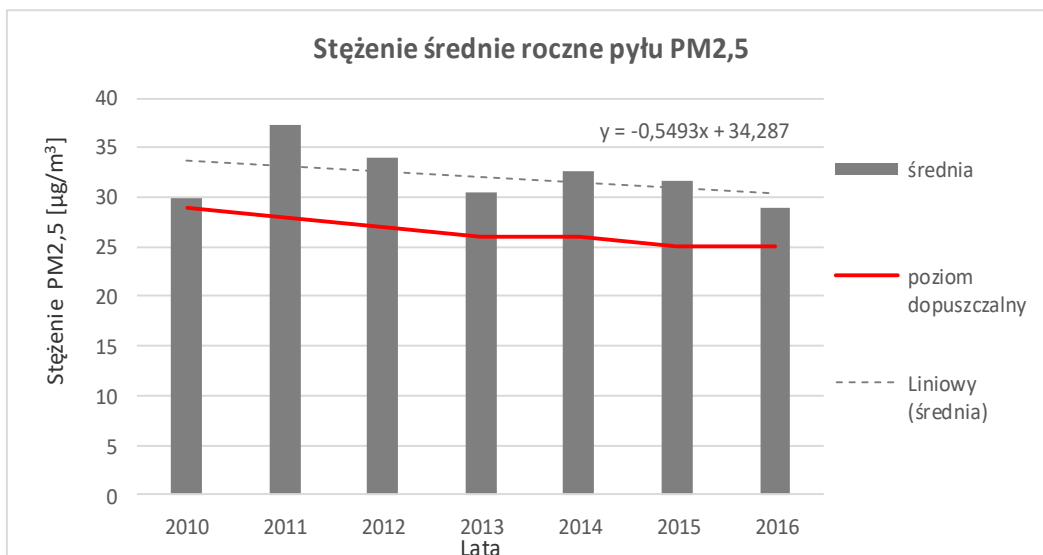
Analizy koncentracji zanieczyszczeń powietrza pyłem PM2,5 i ozonem troposferycznym przeprowadzono w oparciu o dane pomiarowe ze stacji w Piotrkowie Trybunalskim przy ul. Krakowskie Przedmieście 13 (Tabela 8), oddalonej od Tomaszowa Mazowieckiego o około 27 km.

Tabela 8. Dane stacji pomiarowej okolicy Tomaszowa Mazowieckiego

Kod stacji	Kod UE	Nazwa stacji	Organizacja	Status	Typ stacji	Typ obszaru	Rodzaj stacji	Miejscowość	Ulica
LdPiotrk WIOSAKrak Prz	PL1002	Piotrków-Krakowskie Przedmieście 13	WIOŚ w Łodzi	Aktywny	Tło	Miejski	Kontenerowa stacjonarna	Tomaszów Mazowiecki	Ul. Krakowskie Przedmieście 13

10.2 Pył zawieszony PM_{2,5}

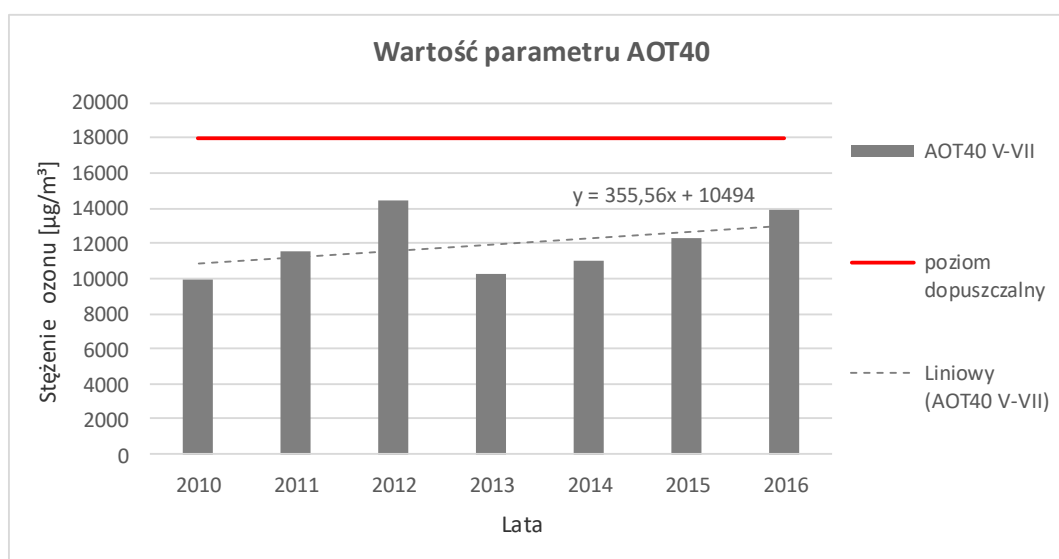
Wartości stężeń średniorocznych pyłu PM_{2,5} ukazują, że w roku 2011 osiągnięto stężenie najwyższe równe 37,3 µg/m³ (Rysunek 45). Poziom dopuszczalny został przekroczony w każdym z badanych lat. Linia trendu dla wartości stężeń średnich rocznych wykazuje tendencję malejącą.



Rysunek 45. Pył zawieszony PM_{2,5} - stężenie średnie roczne

10.3 Ozon troposferyczny

Kryterium pod kątem ochrony roślin stanowi wartość AOT40 obliczona ze stężeń 1-godzinnych ozonu dla okresu V-VII (Rysunek 46). Poziom docelowy dla ochrony roślin wynosi 18 000 µg/m³. W badanym wieloleciu 2010-2016 nie zanotowano przekroczenia wartości dopuszczalnej. Linia trendu dla wartości parametru AOT40 wykazuje tendencję rosnącą.



Rysunek 46. Ozon troposferyczny - wartość parametru AOT (V-VII)

11 Scenariusze zmian klimatu dla miasta do roku 2030, 2050

Dla Tomaszowa Mazowieckiego przeprowadzono analizę zmian klimatu dla horyzontu 2030 (jako średnia z dziesięciolecia 2026-2035) oraz 2050 (jako średnia z dziesięciolecia 2046-2055). Analizę przeprowadzono w oparciu o wiązkę wyników EURO-CORDEX w rozdzielczości ok. 12,5 km. Celem uchwycenia niepewności wyników modelowania, wynikającego z różnych możliwych ścieżek rozwoju gospodarczego i związanego z nim tempa wzrostu zawartości gazów cieplarnianych w atmosferze, analizy przeprowadzono dla dwóch scenariuszy opisanych akronimami RCP4.5 oraz RCP8.5. Wyniki EURO-CORDEX skalibrowano na podstawie obserwacji IMGW ze stacji Sulejów (12469)

W odniesieniu do zmian charakterystyk temperaturowych prognozowany jest wzrost temperatury średniorocznej, wyrażający się wzrostem temperatur średniomiesięcznych przede wszystkim w chłodnej porze roku oraz w czerwcu i lipcu

- Prognozowane jest nasilenie się niekorzystnych zjawisk związanych z występowaniem wysokich temperatur w okresie letnim. W szczególności zwiększy się liczba dni z temperaturą maksymalną $>25^{\circ}\text{C}$ oraz wrośnie liczba dni z temperaturą minimalną $>20^{\circ}\text{C}$ (nocy tropikalnych). Nasilenie fal upałów może się nieco zwiększyć.
- Jednocześnie prognozowane jest osłabienie niekorzystnych zjawisk związanych z występowaniem niskich temperatur w okresie zimowym. Prognozowane jest zmniejszenie się zarówno liczba dni z temperaturą maksymalną poniżej 0°C jak też liczba dni z temperaturą minimalną poniżej -10°C .

- Prognozowana liczba dni przymrozkowych w ciągu roku ulegnie zmniejszeniu, w szczególności zmniejszy się ilość okresów przymrozkowych, trwających przynajmniej 5 dni. W związku z przewidywanym zmniejszeniem się liczby dni z przymrozkowych prognozowane jest zmniejszenie się liczby dni z przejściem temperatury przez 0°C.
- Prognozowane jest znaczące zmniejszenie się wartości indeksu stopniodni dla temperatury średniodobowej <17°C oraz nieznaczne zwiększenie się wartości indeksu stopniodni dla temperatury średniodobowej >27°C, co oznacza zmniejszone zapotrzebowaniem na energię w miesiącach zimowych i nieco zwiększonym w miesiącach letnich.
- Prognozowane jest zwiększenie się liczby dni z temperaturą średniodobową >10°C, co jest wskaźnikiem wydłużenia okresu wegetacyjnego niektórych roślin.
- Dla charakterystyk opadowych prognozowany jest wzrost zarówno ilości dni z opadem jak i wysokość sumy rocznej opadu w horyzoncie do roku 2050.
- Narażenie na występowanie opadu ekstremalnego w horyzoncie do roku 2050 nieznacznie wrasta, zwłaszcza dla scenariusza RCP8.5.
- W odniesieniu do zagrożenie suszą w horyzoncie do roku 2050 prognozy nie wskazują na istotne zmiany długości najdłuższego okresu bezopadowego ani liczby okresów bez opadu dłuższych od 5 dni.

11.1 Metodyka analizy

Analizy zmian klimatu dla warunków klimatu przyszłego obejmowały horyzont 2030 (obliczony jako średnia z 10 lat 2026-2035) i 2050 (obliczony jako średnia z 10 lat 2046-2055). Dla warunków klimatu bieżącego przeprowadzono obliczenia dla horyzontu 2010 (obliczonego jako średnia z 10 lat 2006-2015) na podstawie wyników modelowania i danych obserwacyjnych. Wskaźniki narażenia na czynniki klimatyczne, obliczone dla horyzontu 2010 mają dwa zastosowania:

- Obserwowane - pozwalają oszacować systematyczną różnicę pomiędzy obserwowaną i modelowaną zmiennością
- Modelowanie - pozwalają ocenić trend prognozowanych zmian w długim horyzoncie czasowym (2006-2055)

11.1.1 Dane źródłowe

Warunki przyszłego klimatu odtworzono w oparciu o wyniki symulacji klimatycznych obliczonych w ramach projektu Euro-CORDEX (<http://www.euro-cordex.net>), przy zastosowaniu najnowszych dostępnych projekcji klimatycznych wg. 5 Raportu Oceny Międzyrządowego Panelu ds. Zmian Klimatu (dalej AR5 IPCC - <https://www.ipcc.ch/report/ar5>) z roku 2013. Wykorzystano wyniki dostępnych realizacji symulacji regionalnych modeli klimatu (RCM – ang. Regional Climate Model) dla obszaru obejmującego całą Europę na siatce regularnej w rozdzielczości 0.11° (ok. 12,5km).

Celem uchwycenia niepewności wyników modelowania, wynikającego z różnych możliwych ścieżek rozwoju gospodarczego i związanego z nim tempa wzrostu zawartości gazów cieplarnianych w atmosferze, analizy przeprowadzono dla dwóch scenariuszy opisanych akronimami RCP4.5 oraz

RCP8.5. Umiarkowany scenariusz RCP4.5 zakłada dalszy wzrost stężeń CO₂, odpowiednio do 540 ppm w r. 2100 oraz osiągnięcie wymuszenia radiacyjnego na poziomie 4.5 W/m², zaś scenariusz ekstrapolacyjny RCP8.5 odpowiada wzrostowi stężeń CO₂ do 940 ppm w r. 2100 i ciągły wzrost wymuszenia radiacyjnego do poziomu 8.5 W/m² (http://sedac.ipcc-data.org/ddc/ar5_scenario_process/RCPs.html).

Jako dane referencyjne dla klimatu bieżącego wykorzystane zostały obserwacje przekazane na potrzeby realizacji projektu przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Dla Tomaszowa Mazowieckiego przekazane zostały dane ze stacji Sulejów (12469).

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

- temperatura średniodobowa [°C]
- temperatura maksymalna dobową [°C]
- temperatura minimalna dobową [°C]
- wysokość opadu w ciągu doby (suma) [mm/doba]

11.1.2 Indeksy klimatyczne

Celem oceny narażenia na zmiany klimatu obliczono następujące indeksy klimatyczne:

Indeksy temperaturowe	
Fale upałów	Percentyl 98% temperatury maksymalnej dobowej w roku
	Liczba dni z temperaturą maksymalną > 30°C w roku
	Liczba okresów o długości przynajmniej 3 dni (i czas trwania) z temperaturą maksymalną > 30°C w roku
	Liczba dni z temperaturą maksymalną > 25°C w roku
	Liczba okresów o długości przynajmniej 5 dni (i czas trwania) z temperaturą maksymalną > 25°C w roku
	Liczba dni z temperaturą minimalną > 20°C w roku
Fale chłodu	Percentyl 2% temperatury minimalnej dobowej w roku
	Liczba dni z temperaturą maksymalną < 0°C w roku
	Liczba dni z temperaturą minimalną < -10°C w roku
	Liczba okresów o długości przynajmniej 3 dni (i czas trwania) z temperaturą minimalną < -10°C w roku
Przymrozki	Liczba dni z temperaturą minimalną < 0°C w roku
	Liczba okresów o długości przynajmniej 5 dni (i czas trwania) z temperaturą minimalną < 0°C w roku
	Liczba dni z przejściem temperatury przez 0°C w roku
Średnie warunki termiczne	Stopniodni dla temperatury średniodobowej < 17°C w roku
	Stopniodni dla temperatury średniodobowej > 27°C w roku
	Liczba dni z temperaturą średniodobową > 10°C w roku
	Wartość temperatury średniorocznej
	Wartości temperatury średniomiesięcznej
Indeksy opadowe	
Susze	Najdłuższy okres bez opadu (opad < 1mm/d) w roku
	Liczba okresów bez opadu dłuższych od 5 dni w roku

Dni z opadem	Suma roczna opadu
	Liczba dni z opadem ≥ 1 mm/d w roku
	Liczba okresów z opadem ≥ 1 mm/d dłuższych od 5 dni w roku
Opad ekstremalny	Liczba dni z opadem ≥ 10 mm/d w roku
	Liczba dni z opadem ≥ 20 mm/d w roku
Średnie warunki opadowe	Miesięczna suma opadu
	Maksymalny opad dobowy w miesiącu
	Indeksy temperaturowo-opadowe
Indeksy temperaturowo-opadowe	Liczba dni z opadem przy temp. -5°C do 2.5°C

11.1.3 Algorytm analiz

- Dla każdego parametru i każdej lokalizacji stworzono wektory obserwacji średniodobowych 2006-2015 (dane IMGW)
- Dla każdego modelu EURO-CORDEX (kilkanaście modeli – w zależności od parametru), każdego scenariusza, każdego parametru i każdej lokalizacji stworzono wektory wartości średniodobowych 2006-2055
- Dla każdego modelu, każdego scenariusza, każdego parametru i każdej lokalizacji wykonano korektę statystyczną (statystyczny downscaling) z wykorzystaniem pakietu statystycznego R (funkcje z pakietu QMAP), mający na celu redukcję systematycznego błędu
- Dla każdego modelu, każdego scenariusza, każdego parametru i każdej lokalizacji wykonano ocenę zgodności wyników skorygowanych z obserwacjami na podstawie danych przekazanych przez IMGW
- Dla każdego scenariusza, każdego parametru i każdej lokalizacji wykonano analizę wiązki w oparciu o wartości skorygowane
- Dla każdego modelu, każdej lokalizacji i każdego scenariusza obliczony zestaw indeksów klimatycznych
 - Na podstawie skorygowanych wyników projekcji klimatycznych dla 3 horyzontów czasowych jako średnia z 10-lecia (2010←2006-2015, 2020←2026-2035, 2050←2046-2055)
 - Na podstawie obserwacji (IMGW) jako średnia z 10-lecia 2010←2006-2015
- Dla każdej lokalizacji i każdego scenariusza obliczono średnie wartości indeksów do dostarczenia dla zespołów miejskich

EURO-CORDEX:

We acknowledge the World Climate Research Programme's Working Group on Regional Climate, and the Working Group on Coupled Modelling, former coordinating body of CORDEX and responsible panel for CMIP5. We also thank the climate modelling groups for producing and making available their model output. We also acknowledge the Earth System Grid Federation infrastructure an international effort led by the U.S. Department of Energy's Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison, the European Network for Earth System Modelling and other partners in the Global Organisation for Earth System Science Portals (GO-ESSP)

11.2 Fale upałów

Zagrożenie falami upałów w Tomaszowie Mazowieckim zostało ocenione na podstawie analizy następujących indeksów:

- Percentyl 98% temperatury maksymalnej dobowej w roku;
- Liczba dni z temperaturą maksymalną $>30^{\circ}\text{C}$ w roku (dni upalne);
- Liczba okresów o długości przynajmniej 3 dni z temperaturą maksymalną $>30^{\circ}\text{C}$ w roku;
- Czas trwania okresów o długości przynajmniej 3 dni z temperaturą maksymalną $>30^{\circ}\text{C}$ w roku;
- Liczba dni z temperaturą maksymalną $>25^{\circ}\text{C}$ w roku;
- Liczba okresów o długości przynajmniej 5 dni z temperaturą maksymalną $>25^{\circ}\text{C}$ w roku;
- Czas trwania okresów o długości przynajmniej 5 dni z temperaturą maksymalną $>25^{\circ}\text{C}$ w roku;
- Liczba dni z temperaturą minimalną $>20^{\circ}\text{C}$ w roku.

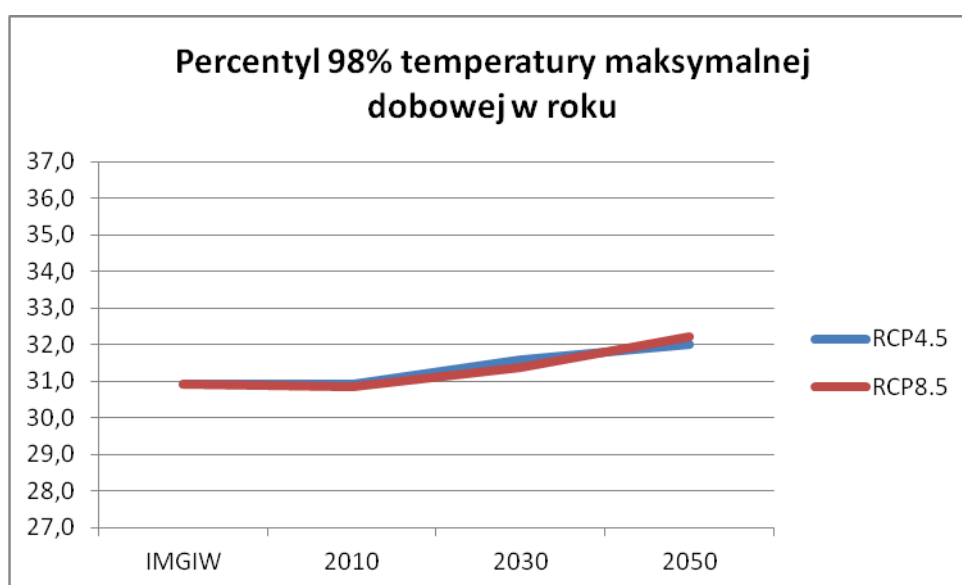
W odniesieniu do powyższych indeksów zagrożenie falami upałów w horyzoncie do roku 2050 prognozowane jest nasilenie niekorzystnych zjawisk związanych z występowaniem wysokich temperatur w okresie letnim.

1. Prognozowany jest wzrost wartości temperatur maksymalnych w okresie letnim.
2. Do roku 2050 przewidywane jest zwiększenie się ilości dni upalnych (temperatura maksymalna $> 30^{\circ}\text{C}$) oraz zwiększenie się ilości fal upałów (liczba okresów o długości przynajmniej 3 kolejnych dni z temperaturą maksymalną $> 30^{\circ}\text{C}$), choć prognozowany średni czas trwania fal upałów nie ulegnie znaczącym zmianom w stosunku do klimatu bieżącego.
3. Prognozowany jest znaczący wzrost liczby dni gorących (z temperaturą maksymalną $>25^{\circ}\text{C}$). Liczba okresów o długości przynajmniej 5 dni z temperaturą maksymalną $>25^{\circ}\text{C}$ pozostanie na poziomie zbliżonym do klimatu bieżącego, jednak czasu trwania tych okresów ulegnie wydłużeniu.
4. Prognozowany jest także wzrost ilości nocy tropikalnych (dni z temperaturą minimalną $>20^{\circ}\text{C}$).

Szczegółowy opis zmienności indeksów przedstawiono w poniższych sekcjach.

11.2.1 Percentyl 98% temperatury maksymalnej dobowej w roku

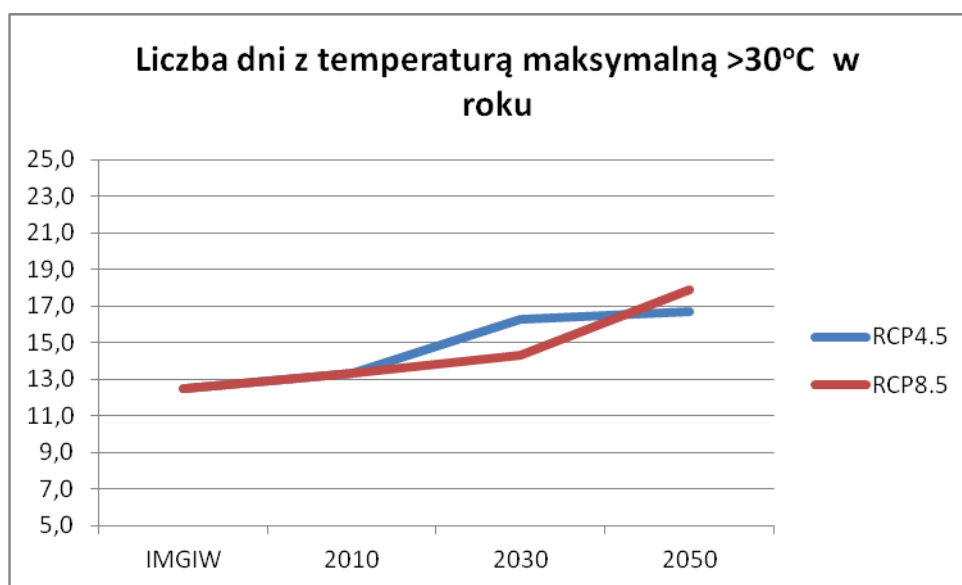
W odniesieniu do percentyla 98% temperatury maksymalnej dobowej w roku wyniki wiązki EURO-CORDEX wskazują na tendencję wzrostową temperatury na przestrzeni analizowanych dziesięcioleci, a uzyskane wartości są bardzo zbliżone dla obu z analizowanych scenariuszy (Rysunek 47). Wartość percentyla 98% temperatury maksymalnej wraza od średnio 30,87°C w dziesięcioleciu 2006-2015 poprzez średnio 31,48°C w latach 2026-2035 do średnio 32,10°C w okresie 2046-2055. Wartości bieżącej obserwacji klimatu oraz uzyskane na podstawie wyników EURO-CORDEX dla klimatu bieżącego są sobie niemal równe, co potwierdza dobre odtworzenie zmienności temperatur maksymalnych. **Prognozowany jest wzrost wartości temperatur maksymalnych w okresie letnim.**



Rysunek 47. Percentyl 98% temperatury maksymalnej dobowej w roku, dla scenariusza umiarkowanej (RCP4.5 – niebieska linia) i wysokiej emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5 – czerwona linia)

11.2.2 Liczba dni z temperaturą maksymalną >30°C w roku

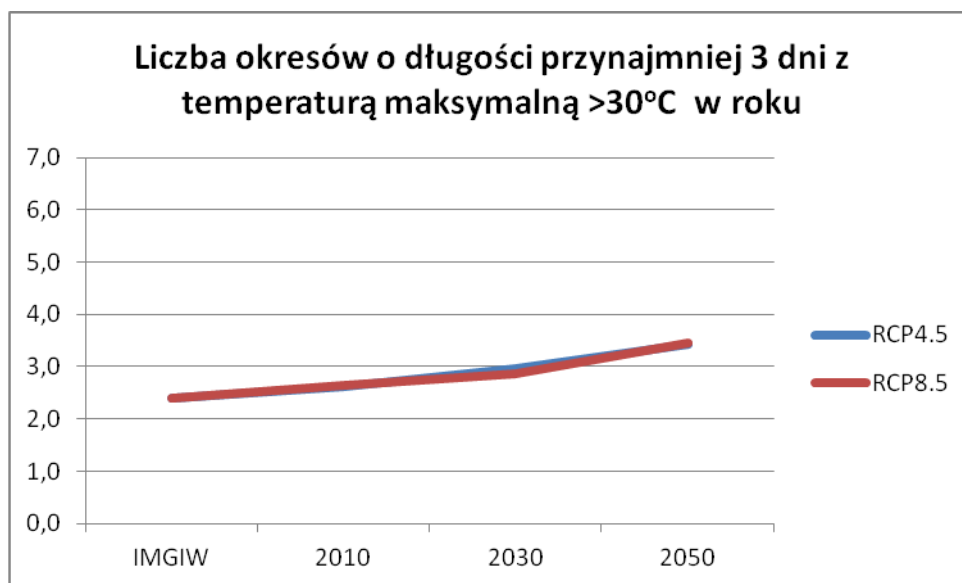
Dla liczby dni z temperaturą maksymalną >30°C w roku występuje nieznaczny trend wzrostowy, silniejszy w latach 2026-2035 dla RCP4.5, a w okresie kolejnym dla drugiego z rozważanych scenariuszy (Rysunek 48). Wyniki wiązki EURO-CORDEX ukazują wzrost od średnio 13,31 dni w dziesięcioleciu 2006-2015 do średnio 15,30 dnia w dziesięcioleciu 2026-2035 i do średnio 17,26 dnia w dziesięcioleciu 2026-2055. Dla klimatu bieżącego wartości obserwowane i uzyskane na podstawie EURO-CORDEX są zbliżone. **Prognozowane jest zwiększenie się ilości dni upalnych (temperatura maksymalna > 30°C)**



Rysunek 48. Liczba dni z temperaturą maksymalną >30°C w roku (RCP4.5 – niebieska linia) i wysokiej emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5 – czerwona linia)

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

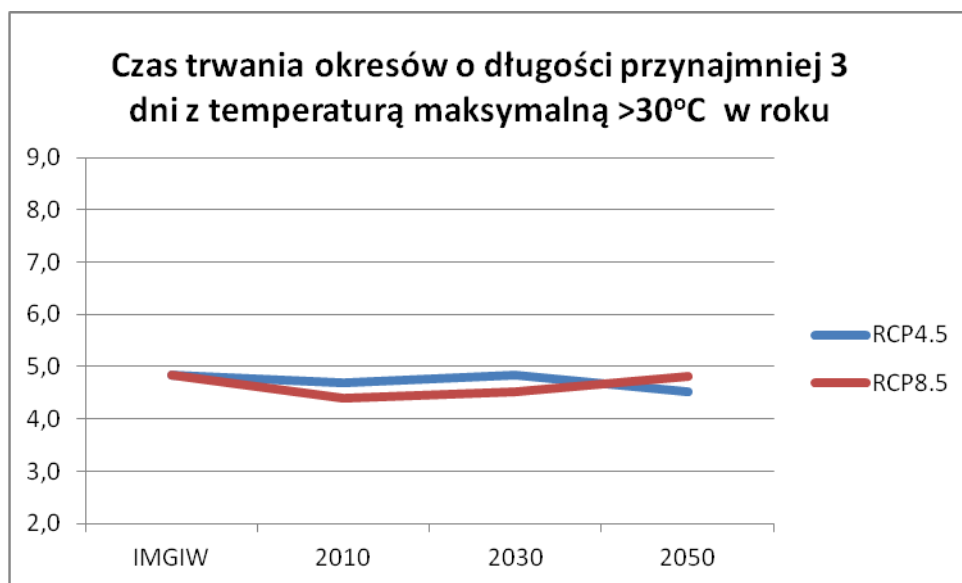
Wyniki wiązki EURO-CORDEX uzyskane dla dwóch scenariuszy dla liczby okresów o długości przynajmniej 3 dni z temperaturą maksymalną >30°C w roku wskazują na niewielki trend wzrostowy i bardzo dużą zgodność obliczeń dla obu scenariuszy (Rysunek 49). Liczba okresów zwiększa się od średnio 2,63 okresu w dziesięcioleciu 2006-2015 poprzez średnio 2,92 okresu w latach 2026-2035 do średnio 3,44 okresu w okresie 2046-2055. Wartości obserwowane i wyniki wiązki EURO-CORDEX dla klimatu bieżącego są zbliżone. **Prognozowane jest zwiększenie się ilości fal upałów (liczba okresów o długości przynajmniej 3 kolejnych dni z temperaturą maksymalną powyżej 30°C).**



Rysunek 49. Liczba okresów o długości przynajmniej 3 dni z temperaturą maksymalną >30°C w roku (RCP4.5 – niebieska linia) i wysokiej emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5 – czerwona linia)

11.2.4 Czas trwania okresów o długości przynajmniej 3 dni z temperaturą maksymalną >30°C w roku

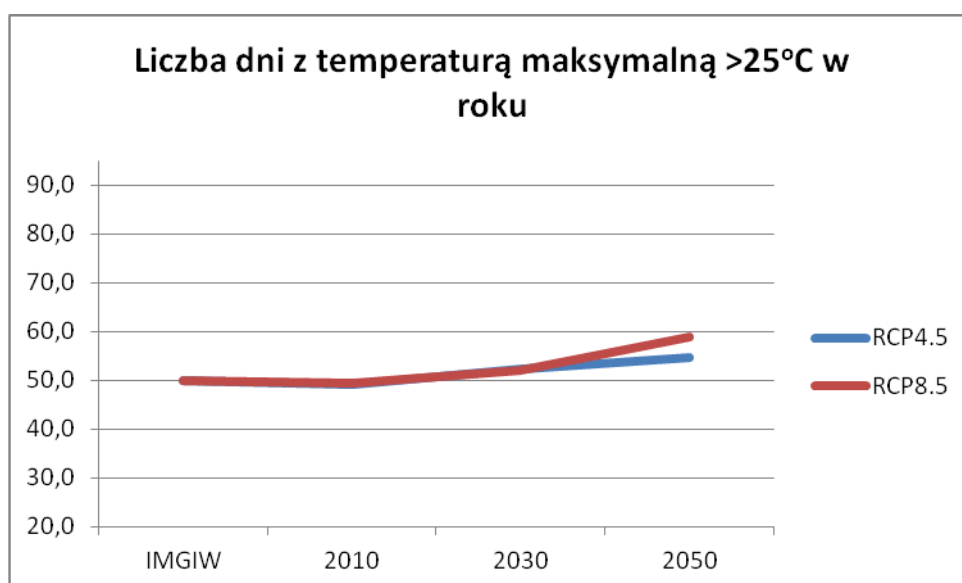
Na podstawie wyników EURO-CORDEX dla czasu trwania okresów o długości przynajmniej 3 dni z temperaturą maksymalną >30°C w roku można zauważyć, że pojawiające się zmiany, nie wskazują na istnienie trendu dla żadnego z analizowanych scenariuszy (Rysunek 50). Wartości indeksu na podstawie obserwacji są nieznacznie wyższe od wyników wiązki EURO-CORDEX dla klimatu bieżącego. **Prognozowany średni czas trwania fal upałów nie ulegnie znaczącym zmianom w stosunku do klimatu bieżącego.**



Rysunek 50. Czas trwania okresów o długości przynajmniej 3 dni z temperaturą maksymalną >30°C w roku (RCP4.5 – niebieska linia) i wysokiej emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5 – czerwona linia)

11.2.5 Liczba dni z temperaturą maksymalną >25°C w roku

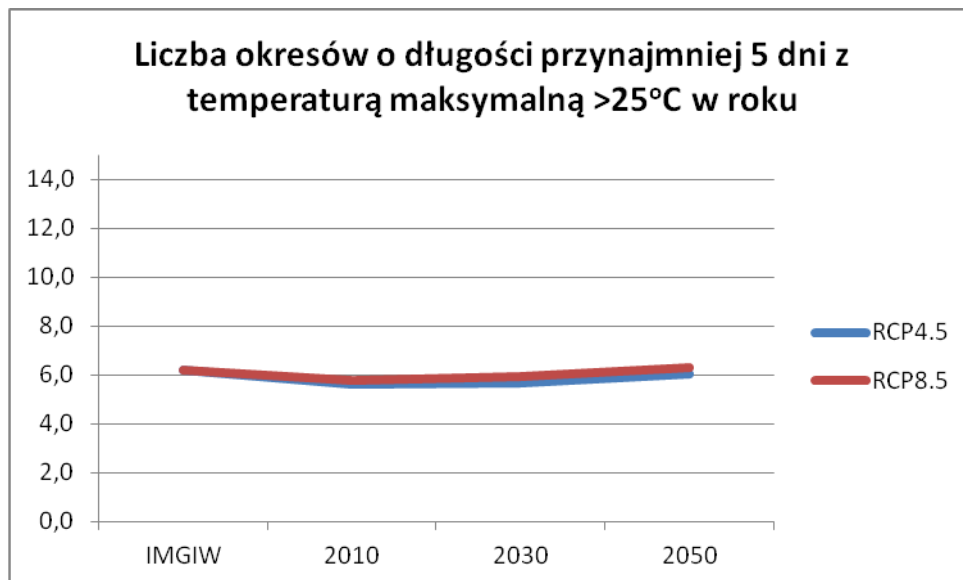
W odniesieniu do liczby dni z temperaturą maksymalną >25°C w roku widoczny jest trend wzrostowy w przypadku obu scenariuszy oraz nieznaczna różnica uzyskanych wyników w zależności od wyboru scenariusza w przypadku dziesięciolecia 2046-2055 w którym to znacznie dynamiczniej rośnie liczba dni z zadaną temperaturą w roku dla scenariusza RCP8.5 (Rysunek 51). Wartość indeksu zmienia się od średnio 49,25 dni w dziesięcioleciu 2006-2015 poprzez średnio 52,11 dni w latach 2026-2035 do średnio 56,75 dni w okresie 2046-2055. Wartości indeksu na podstawie wiązki EURO-CORDEX dla klimatu bieżącego oraz na podstawie obserwacji są bardzo zbliżone. **Prognozowany jest wzrost liczby dni gorących (z temperaturą maksymalną >25°C).**



Rysunek 51. Liczba dni z temperaturą maksymalną >25°C w roku (RCP4.5 – niebieska linia) i wysokiej emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5 – czerwona linia)

11.2.6 Liczba okresów o długości przynajmniej 5 dni z temperaturą maksymalną $>25^{\circ}\text{C}$ w roku

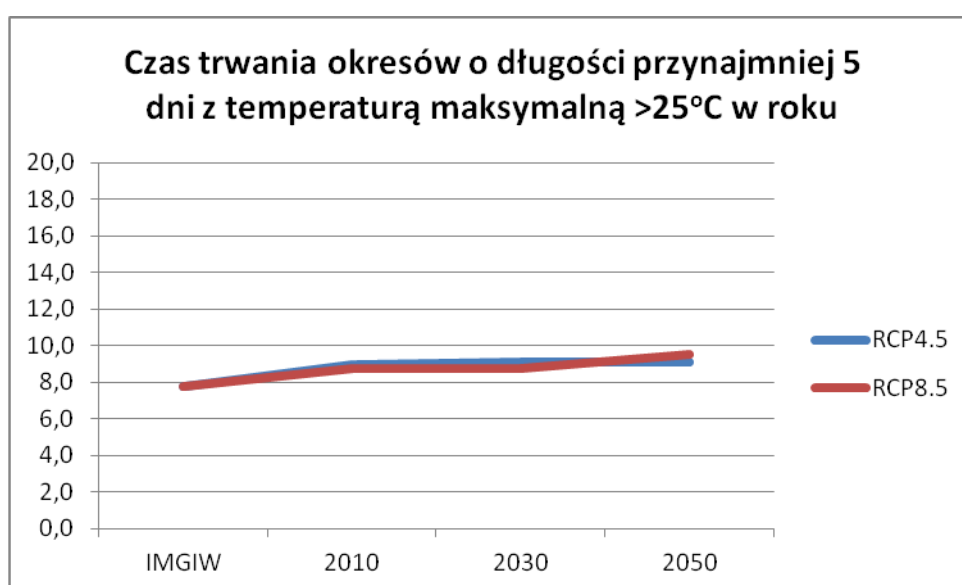
Analizując liczbę okresów o długości przynajmniej 5 dni z temperaturą maksymalną $>25^{\circ}\text{C}$ w roku na podstawie dwóch scenariuszy oraz w ciągu rozpatrywanych dziesięcioleci można stwierdzić brak istnienia trendu (Rysunek 52). **Prognozowana liczba okresów o długości przynajmniej 5 dni z temperaturą maksymalną $>25^{\circ}\text{C}$ pozostanie na poziomie zbliżonym do klimatu bieżącego.**



Rysunek 52. Liczba okresów o długości przynajmniej 5 dni z temperaturą maksymalną $>25^{\circ}\text{C}$ w roku (RCP4.5 – niebieska linia) i wysokiej emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5 – czerwona linia)

11.2.7 Czas trwania okresów o długości przynajmniej 5 dni z temperaturą maksymalną >25°C w roku

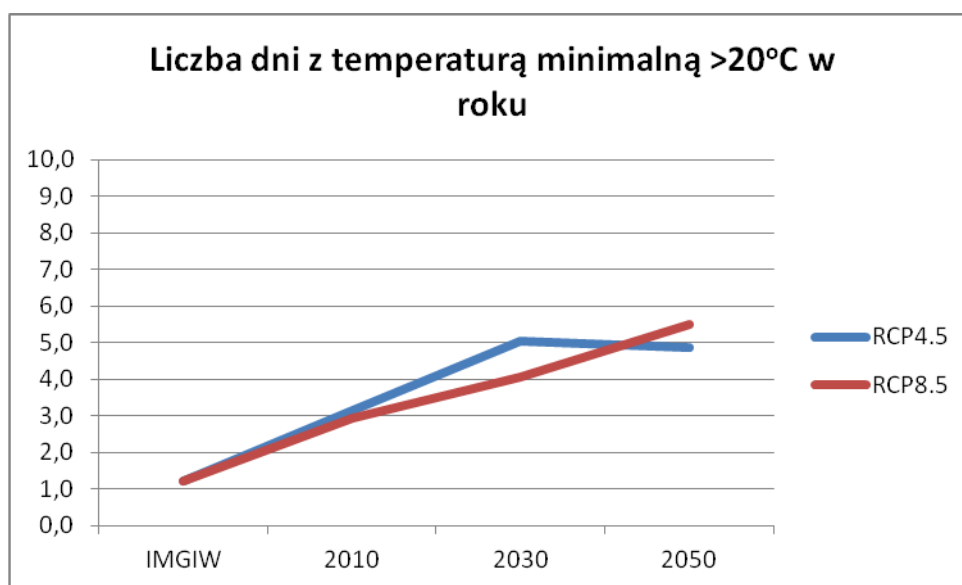
Dla czasu trwania okresów o długości przynajmniej 5 dni z temperaturą maksymalną >25°C w roku otrzymanych na podstawie wyników EURO-CORDEX można zauważyć lekki trend wzrostowy w przypadku scenariusza RCP8.5 oraz niewielkie zmiany dla scenariusza RCP4.5 (Rysunek 53). Prognozowane wartości zmieniają się od średnio 8,85 dni w dziesięcioleciu 2006-2015 poprzez średnio 8,91 dni w okresie 2026-2035 do średnio 9,30 dni w latach 2046-2055. Prognozowane wartości indeksu dla klimatu bieżącego są wyższe od obserwowanych o ok. 1,15 dnia. **Prognozowany jest niewielki wzrost czasu trwania okresów o długości przynajmniej 5 dni z temperaturą maksymalną >25°C w roku.**



Rysunek 53. Czas trwania okresów o długości przynajmniej 5 dni z temperaturą maksymalną >25°C w roku (RCP4.5 – niebieska linia) i wysokiej emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5 – czerwona linia)

11.2.8 Liczba dni z temperaturą minimalną >20°C w roku

Dla liczby dni z temperaturą minimalną >20°C w roku (tzw. „nocy tropikalnych”) można zauważyć tendencję wzrostową (Rysunek 54). W przypadku scenariusza RCP4.5 zmiany są bardziej dynamiczne dla dziesięciolecia 2026-2035, natomiast dla scenariusza RCP8.5 występuje stały wzrost. Liczba nocy tropikalnych zmienia się przeciętnie od 3,05 dni w dziesięcioleciu 2006-2015 poprzez średnio 4,55 dni w okresie 2026-2035 do średnio 5,18 dni w latach 2046-2055. Wyniki wiązki EURO-CORDEX dla bieżącego klimatu pokazują przeszacowanie indeksu w stosunku do obserwacji o ok. 2 dni. **Prognozowany jest wzrost ilości nocy tropikalnych (dni z temperaturą minimalną >20°C).**



Rysunek 54. Liczba dni z temperaturą minimalną >20°C w roku (RCP4.5 – niebieska linia) i wysokiej emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5 – czerwona linia)

11.3 Fale chłodu

Zagrożenie falami chłodu w Tomaszowie Mazowieckim zostało ocenione na podstawie analizy następujących indeksów:

- Percentyl 2% temperatury minimalnej dobowej w roku;
- Liczba dni z temperaturą maksymalną $<0^{\circ}\text{C}$ w roku;
- Liczba dni z temperaturą minimalną $<-10^{\circ}\text{C}$ w roku;
- Liczba okresów o długości przynajmniej 3 dni z temperaturą minimalną $<-10^{\circ}\text{C}$ w roku;
- Czas trwania okresów o długości przynajmniej 3 dni z temperaturą minimalną $<-10^{\circ}\text{C}$ w roku.

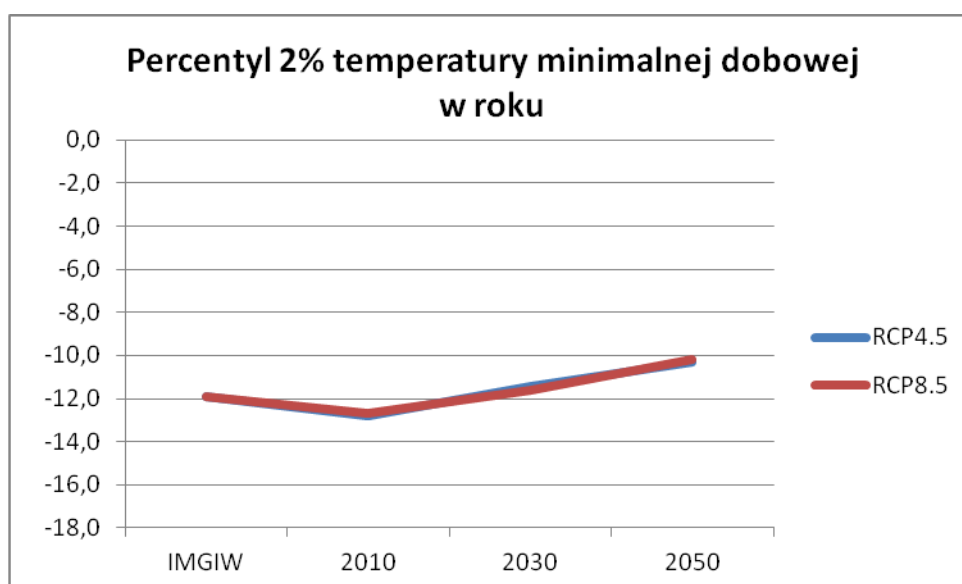
W odniesieniu do powyższych indeksów zagrożenie falami chłodu w horyzoncie do roku 2050 prognozowane jest osłabienie niekorzystnych zjawisk związanych z występowaniem niskich temperatur w okresie zimowym.

1. Prognozowany jest wzrost temperatur minimalnych okresu zimowego.
2. Prognozowana liczba dni mroźnych z temperaturą maksymalną poniżej 0°C ulegnie zmniejszeniu.
3. Prognozowana liczba dni z temperaturą minimalną poniżej -10°C ulegnie zmniejszeniu. Przy nieznacznym spadku liczby fal chłody wyrażonych jako okresy o długości przynajmniej 3 dni z temperaturą minimalną $<-10^{\circ}\text{C}$ prognozowany czas trwania tych okresów nie ulegnie znaczącym zmianom w stosunku do klimatu bieżącego.

Szczegółowy opis zmienności indeksów przedstawiono w sekcjach poniżej.

11.3.1 Percentyl 2% temperatury minimalnej dobowej w roku

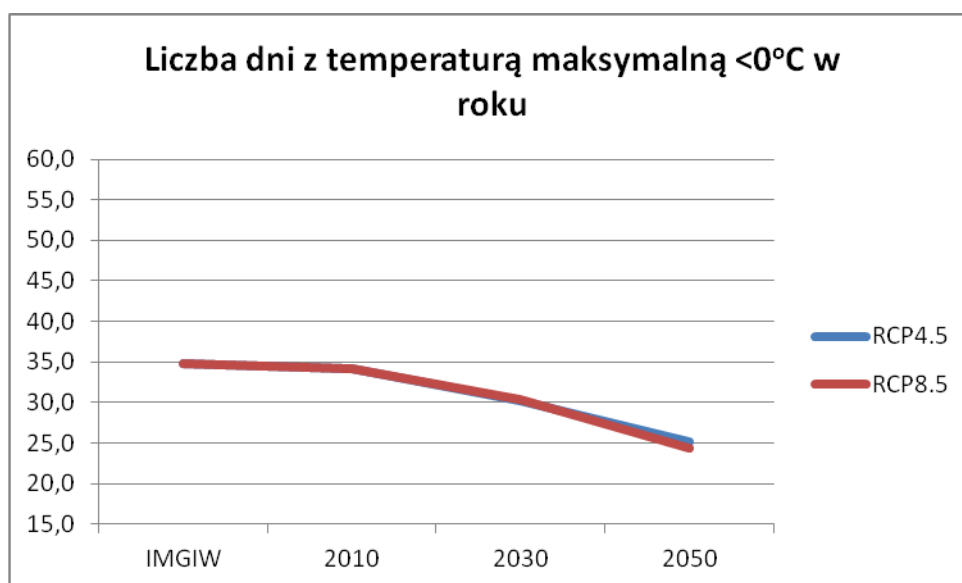
Wartości indeksu dla percentyla 2% temperatury minimalnej dobowej w roku na podstawie wiązki EURO-CORDEX wskazują na istnienie trendu wzrostowego temperatur minimalnych oraz wysoką zgodność uzyskanych danych dla obu scenariuszy (Rysunek 55). Percentyl 2% temperatury minimalnej dobowej wrasta od średnio $-12,75^{\circ}\text{C}$ w dziesięcioleciu 2006-2015 poprzez średnio $-11,51^{\circ}\text{C}$ w latach 2026-2035 i do średnio $-10,26^{\circ}\text{C}$ w okresie 2046-2055. Wartości indeksu obliczone dla klimatu bieżącego są nieco niższe od obserwowanych. **Prognozowany jest wzrost temperatur minimalnych okresu zimowego.**



Rysunek 55. Percentyl 2% temperatury minimalnej dobowej w roku (RCP4.5 – niebieska linia) i wysokiej emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5 – czerwona linia)

11.3.2 Liczba dni z temperaturą maksymalną $<0^{\circ}\text{C}$ w roku

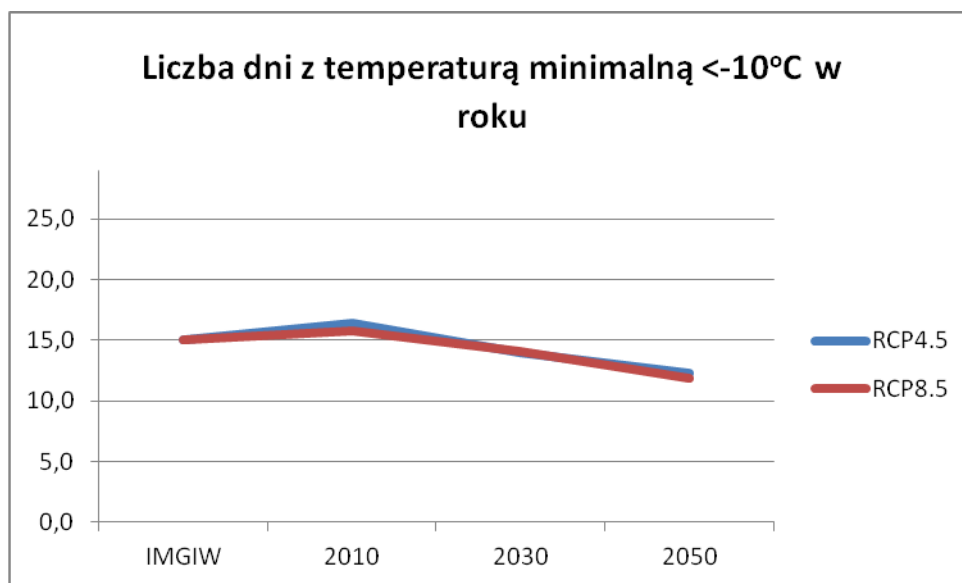
Analiza prognozowanej liczby dni z temperaturą maksymalną $<0^{\circ}\text{C}$ w roku wskazuje na występowanie wyraźnego trendu spadkowego dla obu scenariuszy, jak również dużą zgodność wyników uzyskanych w obu scenariuszach (Rysunek 56). Liczba dni z temperaturą maksymalną $<0^{\circ}\text{C}$ w roku zmniejsza się od średnio 34,16 dni w dziesięcioleciu 2006-2015 poprzez średnio 30,30 dni dla lat 2026-2035 do średnio 24,77 dni w okresie 2046-2055. Wartości indeksu na podstawie EURO-CORDEX dla okresu klimatu bieżącego są zgodne z obserwowanymi. **Prognozowana liczba dni mroźnych z temperaturą maksymalną poniżej 0°C ulegnie zmniejszeniu.**



Rysunek 56. Liczba dni z temperaturą maksymalną $<0^{\circ}\text{C}$ w roku (RCP4.5 – niebieska linia) i wysokiej emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5 – czerwona linia)

11.3.3 Liczba dni z temperaturą minimalną <-10°C w roku

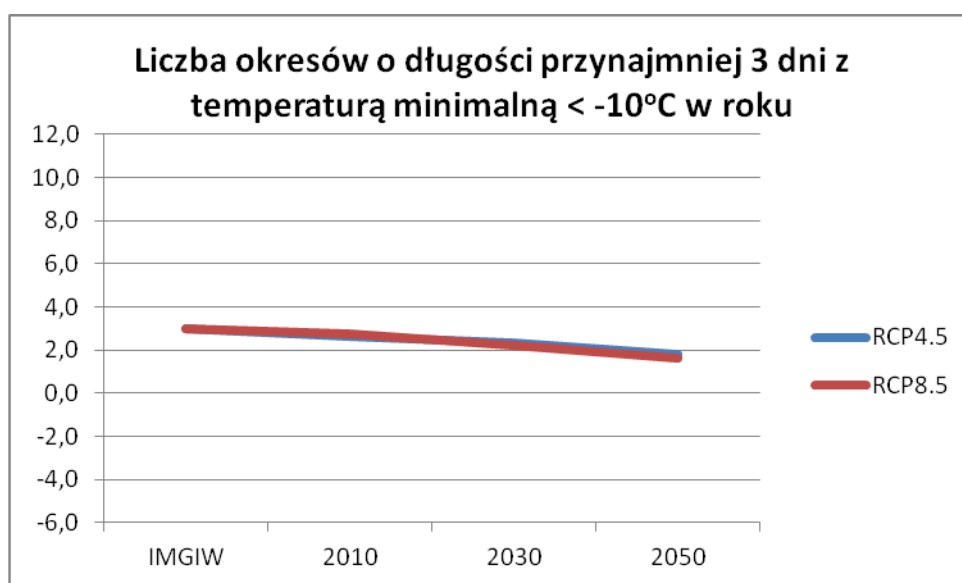
Wartości indeksu liczby dni z temperaturą minimalną <-10°C w roku obliczone na podstawie wyników wiązki EURO-CORDEX wskazują na trend spadkowy (Rysunek 57). Liczba dni z temperaturą minimalną <-10°C zmniejsza się przeciętnie od 16,07 dni w okresie 2006-2015 poprzez średnio 14,06 dni w latach 2026-2035 do średnio 12,11 dni w dziesięcioleciu 2046-2055. Wartości uzyskane na podstawie EURO-CORDEX dla klimatu bieżącego oraz obserwacji różnią się nieznacznie. **Prognozowana liczba dni z temperaturą minimalną poniżej -10°C ulegnie zmniejszeniu.**



Rysunek 57. Liczba dni z temperaturą minimalną <-10°C w roku (RCP4.5 – niebieska linia) i wysokiej emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5 – czerwona linia)

11.3.4 Liczba okresów o długości przynajmniej 3 dni z temperaturą minimalną <-10°C w roku

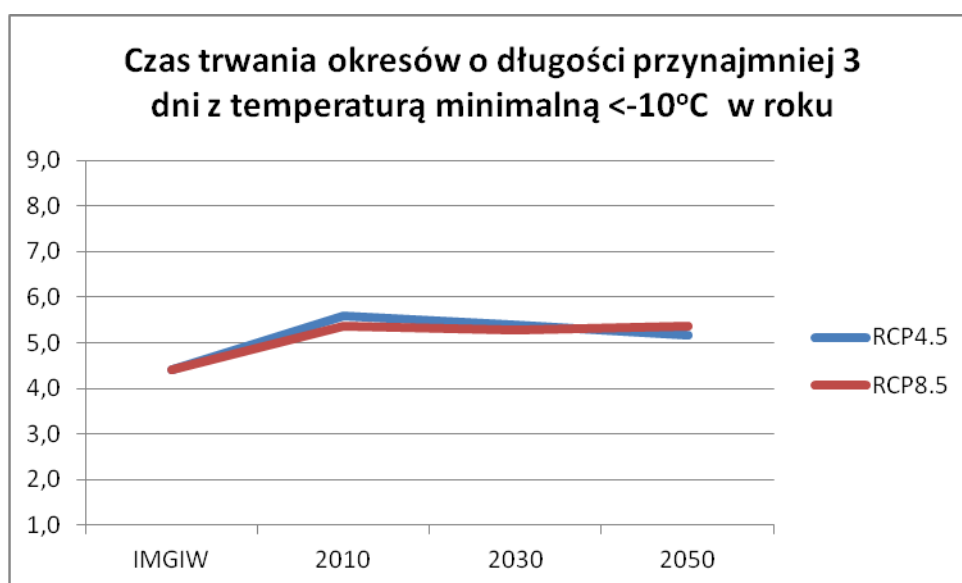
W przypadku liczby okresów o długości przynajmniej 3 dni z temperaturą minimalną <-10°C w roku (fale chłodu) zmiany nie są duże, jakkolwiek wyniki wiązki EURO-CORDEX wskazują na występowanie trendu spadkowego (Rysunek 58). Dla obu scenariuszy zmiany są relatywnie małe i pokazują spadek od średnio 2,68 okresu w dziesięcioleciu 2006-2015 poprzez średnio 2,29 okresu w latach 2026-2035 do średnio 1,74 okresu w okresie 2046-2055. Wartości indeksu obliczona na podstawie EURO-CORDEX dla klimatu bieżącego oraz na podstawie obserwacji są zbliżone. **Prognozowany jest nieznaczny spadek liczby fal chłodu wyrażonych jako okresy o długości przynajmniej 3 dni z temperaturą minimalną <-10°C.**



Rysunek 58. Liczba okresów o długości przynajmniej 3 dni z temperaturą minimalną <-10°C w roku (RCP4.5 – niebieska linia) i wysokiej emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5 – czerwona linia)

11.3.5 Czas trwania okresów o długości przynajmniej 3 dni z temperaturą minimalną $<-10^{\circ}\text{C}$ w roku

Prognozowany czasu trwania okresów o długości przynajmniej 3 dni z temperaturą minimalną $<-10^{\circ}\text{C}$ w roku wykazuje nieznaczny trend spadkowy w przypadku scenariusza RCP4.5, natomiast dla scenariusza RCP8.5 pozostaje na stałym poziomie (Rysunek 59). Wartości indeksu zmieniają się od średnio 5,48 dni w dziesięcioleciu 2006-2015 poprzez średnio 5,33 dni w okresie 2026-2035 do średnio 5,26 dni w latach 2046-2055. Wartość indeksu obliczona na podstawie wyników EURO-CORDEX jest o ok. 1,1 dnia wyższa od obliczonej na podstawie obserwacji. **Prognozowany czasu trwania okresów o długości przynajmniej 3 dni z temperaturą minimalną $<-10^{\circ}\text{C}$ w roku nie ulegnie znaczącym zmianom w stosunku do klimatu bieżącego.**



Rysunek 59. Czas trwania okresów o długości przynajmniej 3 dni z temperaturą minimalną $<-10^{\circ}\text{C}$ w roku (RCP4.5 – niebieska linia) i wysokiej emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5 – czerwona linia)

11.4 Przymrozki

Zagrożenie przymrozkami zostało ocenione na podstawie analizy następujących indeksów:

- Liczba dni z temperaturą minimalną $<0^{\circ}\text{C}$ w roku;
- Liczba okresów o długości przynajmniej 5 dni z temperaturą minimalną $<0^{\circ}\text{C}$ w roku;
- Czas trwania okresów o długości przynajmniej 5 dni z temperaturą minimalną $<0^{\circ}\text{C}$ w roku;
- Liczba dni z przejściem temperatury przez 0°C w roku.

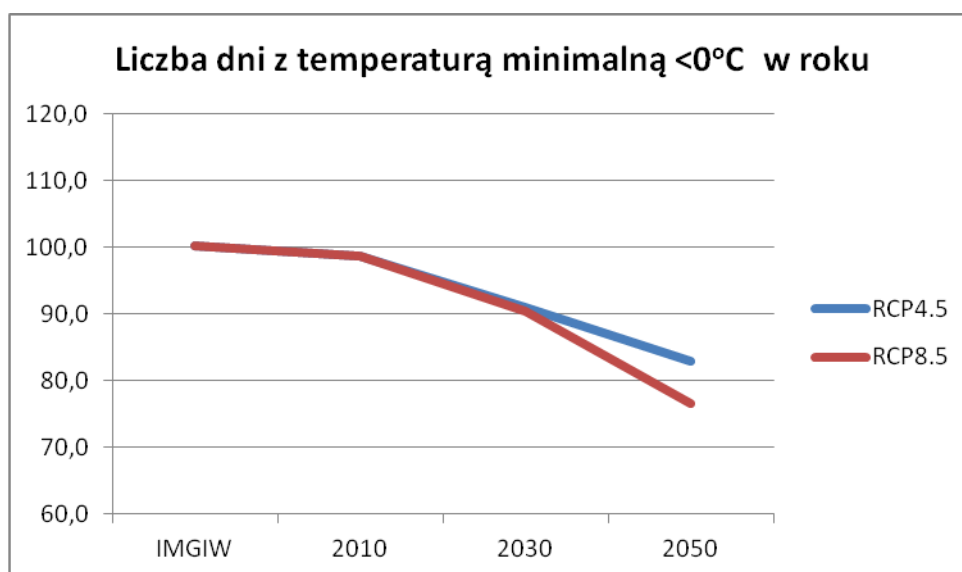
W odniesieniu do powyższych indeksów zagrożenie przymrozkami w horyzoncie do roku 2050 prognozowane jest niższe narażenie na występowanie tego zjawiska.

1. Prognozowana liczba dni przymrozkowych w ciągu roku (z temperaturą minimalną $<0^{\circ}\text{C}$) ulegnie zmniejszeniu.
2. Prognozowane jest zmniejszenie się ilości okresów z temperaturą minimalną $<0^{\circ}\text{C}$, trwających przynajmniej 5 dni, przy czym czas trwania takich okresów nie będzie ulegał większym zmianom, choć wykazuje nieznaczną tendencję spadkową do roku 2050.
3. W związku z przewidywanym zmniejszeniem się liczby dni z przymrozkowych prognozowane jest zmniejszenie się liczby dni z przejściem temperatury przez 0°C .

Szczegółowy opis zmienności indeksów przedstawiono w poniższych sekcjach.

11.4.1 Liczba dni z temperaturą minimalną <0°C w roku

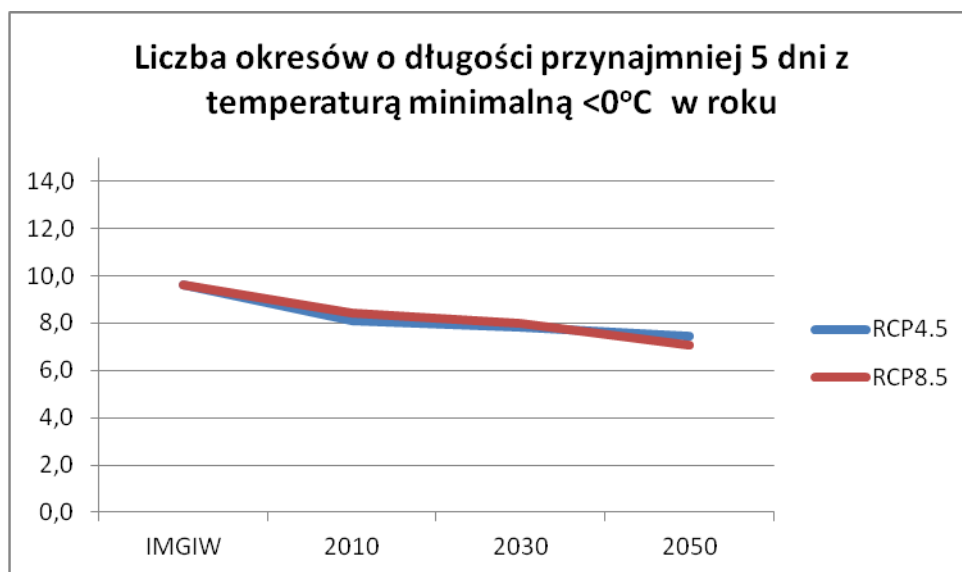
W odniesieniu do liczby dni przymrozkowych w roku (z temperaturą minimalną <0°C) Wyniki wiązki EURO-CORDEX ukazują wyraźny trend malejący na przestrzeni dziesięcioleci, silniejszy w przypadku scenariusza RCP8.5, w latach 2046-2055 (Rysunek 60). Przeciętnie liczba dni przymrozkowych zmniejsza się od średnio 98,60 dni w latach 2006-2015 poprzez średnio 90,73 dni w okresie 2026-2035 do średnio 79,79 dni dla dziesięciolecia 2046-2055. Wartość Indeksu obliczona na podstawie wyników EURO-CORDEX dla klimatu bieżącego jest zbliżona do wartości uzyskanych na podstawie obserwacji . **Prognozowana liczba dni przymrozkowych w ciągu roku (z temperaturą minimalną <0°C) ulegnie zmniejszeniu.**



Rysunek 60. Liczba dni z temperaturą minimalną <0°C w roku (RCP4.5 – niebieska linia) i wysokiej emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5 – czerwona linia)

11.4.2 Liczba okresów o długości przynajmniej 5 dni z temperaturą minimalną $<0^{\circ}\text{C}$ w roku

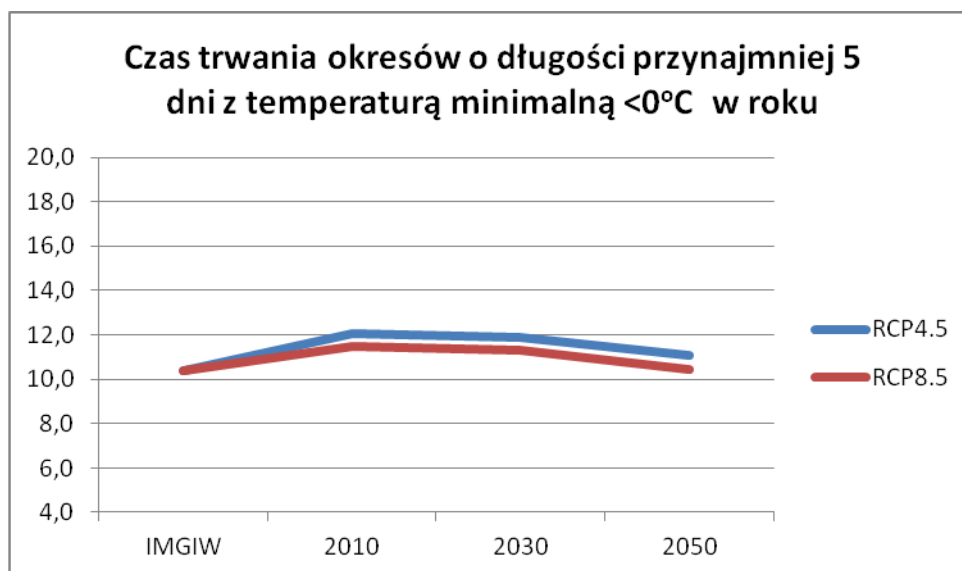
W przypadku liczby okresów o długości przynajmniej 5 dni z temperaturą minimalną $<0^{\circ}\text{C}$ w roku wyniki wiązki EURO-CORDEX wskazują na trend spadkowy, a dynamika i wielkość zmian zależna jest od scenariusza i analizowanego dziesięciolecia (Rysunek 61). Średnio, liczba okresów zmienia się od 8,26 w dziesięcioleciu 2006-2015 poprzez średnio 7,91 w latach 2026-2035 do średnio 7,28 w latach 2046-2055. Wartości indeksu obliczone na podstawie wyników EURO-CORDEX dla klimatu bieżącego są niższe od obserwowanych. **Prognozowane jest zmniejszenie się liczby okresów z temperaturą minimalną $<0^{\circ}\text{C}$, trwających przynajmniej 5 dni.**



Rysunek 61. Liczba okresów o długości przynajmniej 5 dni z temperaturą minimalną $<0^{\circ}\text{C}$ w roku (RCP4.5 – niebieska linia) i wysokiej emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5 – czerwona linia)

11.4.3 Czas trwania okresów o długości przynajmniej 5 dni z temperaturą minimalną <0°C w roku

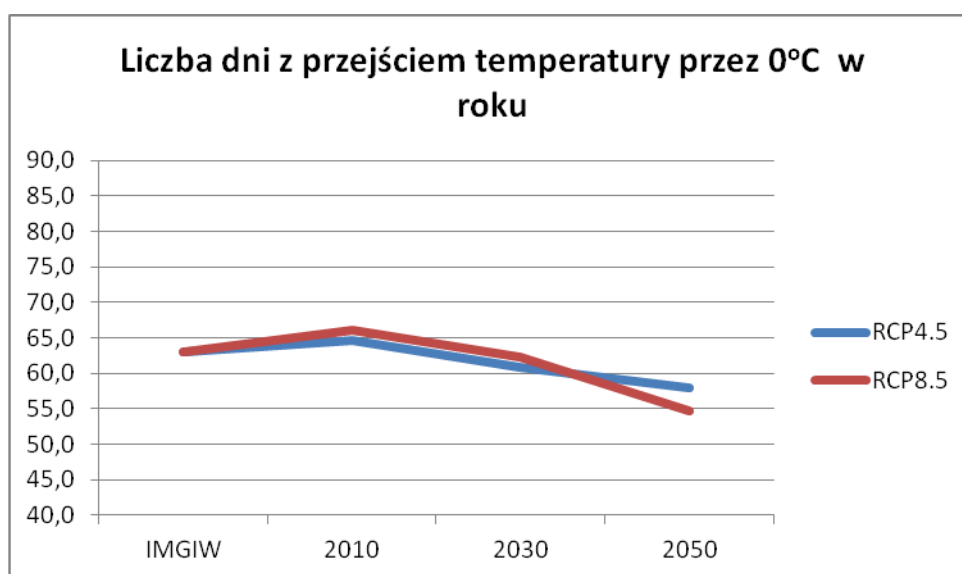
Analiza czasu trwania okresów o długości przynajmniej 5 dni z temperaturą minimalną <0°C w roku dla dwóch scenariuszy w ciągu kolejnych dziesięcioleci wskazuje na nieznaczną tendencję do spadku czasu trwania okresów dla obu scenariuszy (Rysunek 62). Wartości indeksu zmieniają się od 11,79 dnia w dziesięcioleciu 2006-2015 poprzez średnio 11,60 dnia w okresie 2026-2035 do średnio 10,78 dnia w latach 2046-2055. Wartości indeksu dla klimatu bieżącego obliczone na podstawie wyników EURO-CORDEX są wyższe od obliczonych na podstawie obserwacji. **Prognozowany czas trwania okresów o długości przynajmniej 5 dni z temperaturą minimalną <0°C nie będzie ulegał większym zmianom, choć wykazuje nieznaczną tendencję spadkową do roku 2050.**



Rysunek 62. Czas trwania okresów o długości przynajmniej 5 dni z temperaturą minimalną <0°C w roku (RCP4.5 – niebieska linia) i wysokiej emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5 – czerwona linia)

11.4.4 Liczba dni z przejściem temperatury przez 0°C w roku

Wartości indeksu na podstawie wyników EURO-CORDEX dla liczby dni z przejściem temperatury przez 0°C w roku wskazują na istnienie stałego trendu spadkowego, silniejszego w przypadku scenariusza RCP8.5 (Rysunek 63). Wartość indeksu zmienia się od przeciętnie 65,35 dnia w dziesięcioleciu 2006-2015 poprzez średnio 61,61 dnia w latach 2026-2035 do średnio 56,27 dnia w okresie 2026-2055. Wartości indeksu obliczone na podstawie wyników EURO-CORDEX dla klimatu bieżącego są nieznacznie wyższe od obliczonych na podstawie obserwacji. **Prognozowane jest zmniejszenie się liczby dni z przejściem temperatury przez 0°C. Na podstawie analizy innych indeksów wiązać to można z prognozowanym zmniejszeniem się liczby dni z temperaturą minimalną poniżej 0°C.**



Rysunek 63. Liczba dni z przejściem temperatury przez 0°C w roku (RCP4.5 – niebieska linia) i wysokiej emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5 – czerwona linia)

11.5 Średnie warunki termiczne

Zagrożenia związane ze średnimi warunkami termicznymi zostały ocenione na podstawie analizy następujących indeksów:

- Stopniodni dla temperatury średniodobowej $<17^{\circ}\text{C}$ w roku;
- Stopniodni dla temperatury średniodobowej $>27^{\circ}\text{C}$ w roku;
- Liczba dni z temperaturą średniodobową $>10^{\circ}\text{C}$ w roku;
- Wartość temperatury średniorocznej;
- Wartość temperatury średniomiesięcznej dla każdego miesiąca roku.

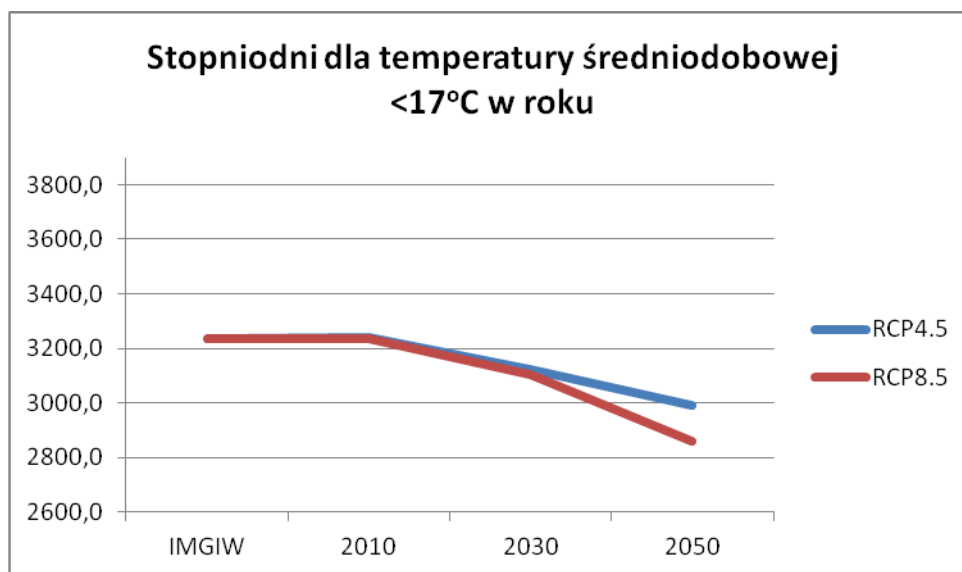
W odniesieniu do średnich warunków termicznych bardziej znaczące zmiany występują przeważnie dla scenariusza RCP8.5 w horyzoncie 2050.

- Prognozowane jest znaczące zmniejszenie się wartości indeksu stopniodni dla temperatury średniodobowej $<17^{\circ}\text{C}$ oraz nieznaczne zwiększenie się wartości indeksu stopniodni dla temperatury średniodobowej $>27^{\circ}\text{C}$, co oznacza zmniejszone zapotrzebowaniem na energię w miesiącach zimowych i nieco zwiększonym w miesiącach letnich
- Prognozowane jest zwiększenie się liczby dni z temperaturą średniodobową $>10^{\circ}\text{C}$, co jest wskaźnikiem wydłużenia okresu wegetacyjnego niektórych roślin
- Prognozowany jest wzrost temperatury średniorocznej.
- W odniesieniu do poszczególnych miesięcy, prognozowany jest wzrost temperatur miesięcy zimowych: styczniu, lutym, listopadzie i grudniu zimowych. Stosunkowo słaby trend (lub jego brak) występuje dla kwietnia, maja oraz września. Wyraźny trend wzrostowy występuje dla czerwca i lipca.

Szczegółowy opis zmienności indeksów przedstawiono w poniższych sekcjach oraz w Załączniku A.

11.5.1 Stopniodni dla temperatury średniodobowej <17°C w roku

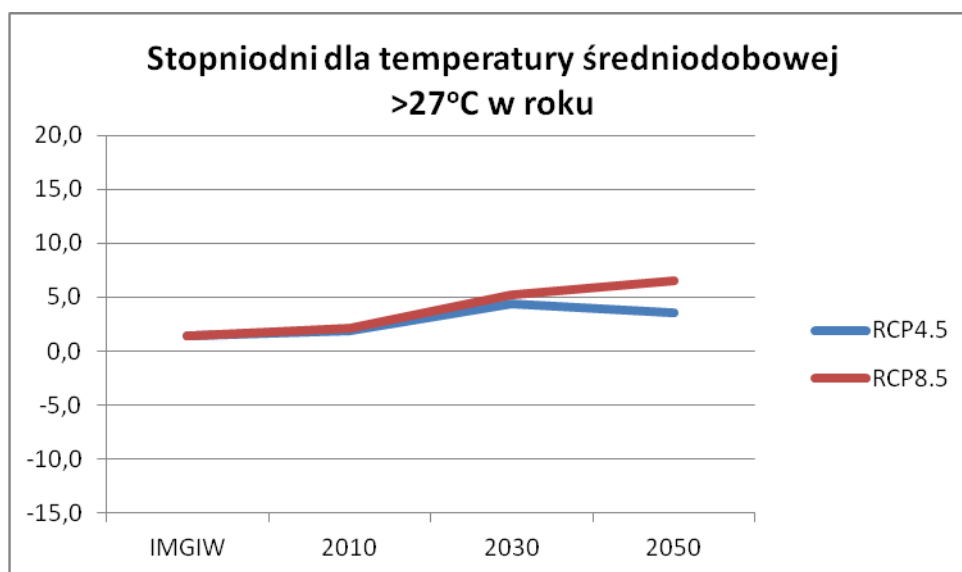
W odniesieniu do stopniodni dla temperatury średniodobowej <17°C w roku wyniki wiązki EURO-CORDEX pokazują silny spadek wartości indeksu, a dynamika tych zmian jest większa w przypadku scenariusza RCP8.5 (Rysunek 64). Dla obu scenariuszy wartość indeksu stopniodni <17°C zmienia się od średnio 3236,78 w okresie 2006-2015 poprzez średnio 3112,72 w dziesięcioleciu 2026-2035 do średnio 2926,46 w okresie 2046-2055. Wartości indeksu obliczone na podstawie wyników EURO-CORDEX dla klimatu bieżącego są zbliżone do obserwowanych. **Prognozowane jest znaczące zmniejszenie się wartości indeksu stopniodni dla temperatury średniodobowej <17°**



Rysunek 64. Stopniodni dla temperatury średniodobowej <17°C w roku (RCP4.5 – niebieska linia) i wysokiej emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5 – czerwona linia)

11.5.2 Stopniodni dla temperatury średniodobowej >27°C w roku

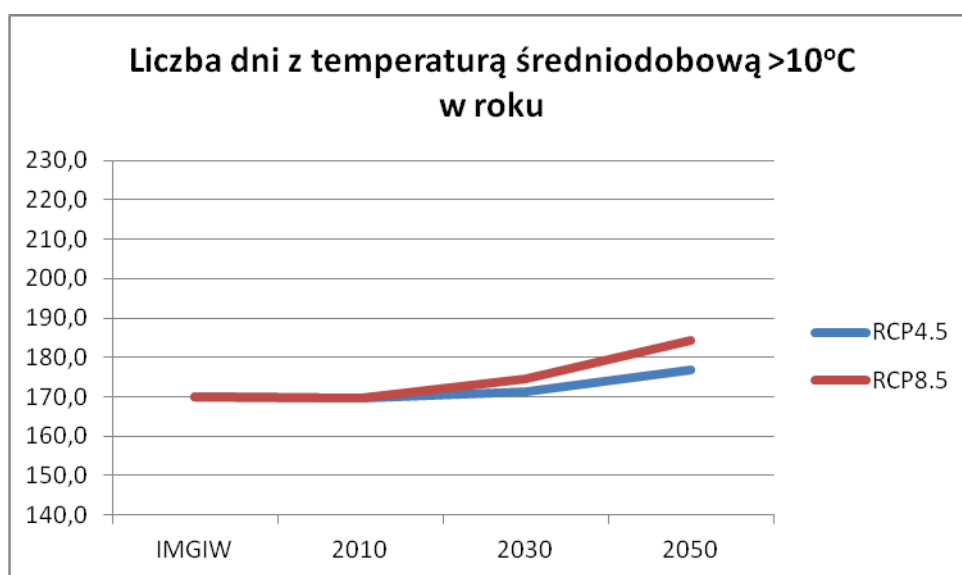
W przypadku stopniodni dla temperatury średniodobowej >27°C w roku wartości indeksu pokazują wzrost wartości w przypadku scenariusza RCP8.5, natomiast dla RCP4.5 widoczny jest początkowy wzrost (dla horyzontu 2030), a następnie spadek (dla horyzontu 2050) (Rysunek 65). Wartość indeksu zmienia się od średnio 2,03 w latach 2006-2015 poprzez średnio 4,79 w dziesięcioleciu 2026-2035 do średnio 5,05 dla okresu 2046-2055. Wartości indeksu obliczone na podstawie wyników EURO-CORDEX dla klimatu bieżącego są zbliżone do obserwowanych. **Prognozowane jest nieznaczne zwiększenie się wartości indeksu stopniodni dla temperatury średniodobowej >27°C.**



Rysunek 65. Stopniodni dla temperatury średniodobowej >27°C w roku (RCP4.5 – niebieska linia) i wysokiej emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5 – czerwona linia)

11.5.3 Liczba dni z temperaturą średniodobową >10°C w roku

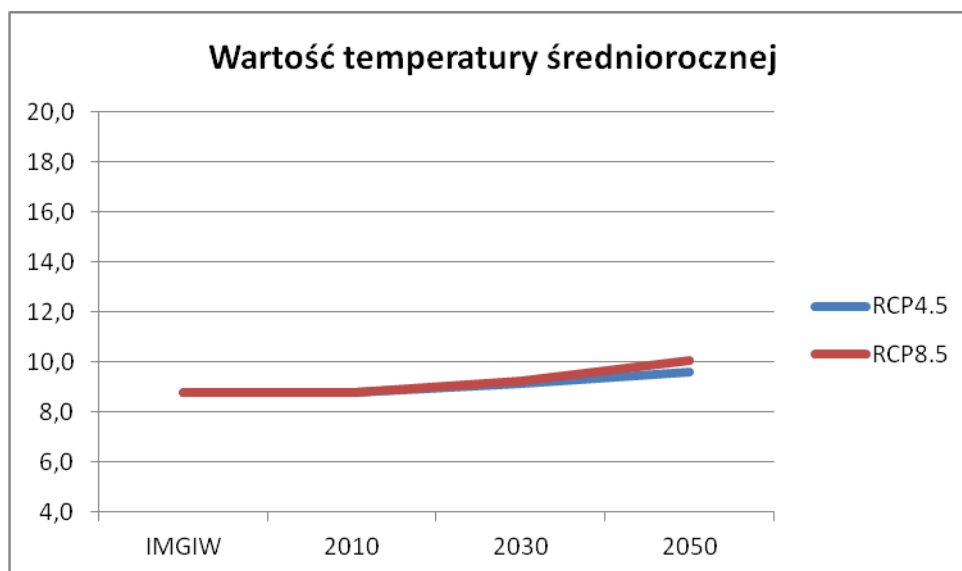
Dla liczby dni z temperaturą średniodobową >10°C w roku wyniki wiązki EURO-CORDEX jednoznacznie wskazują na występowanie trendu wzrostowego (Rysunek 66). Dynamika zmian jest większa dla scenariusza RCP8.5 a liczba dni rośnie od średnio 169,59 dni w latach 2006-2015 poprzez średnio 172,86 dni w okresie 2026-2035 do średnio 180,51 dni w dziesięcioleciu 2046-2055. Wartość Indeksu obliczona na podstawie wyników EURO-CORDEX dla klimatu bieżącego jest zbliżona do wartości uzyskanych na podstawie obserwacji. **Prognozowane jest zwiększenie się liczby dni z temperaturą średniodobową >10°C.**



Rysunek 66. Liczba dni z temperaturą średniodobową >10°C w roku (RCP4.5 – niebieska linia) i wysokiej emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5 – czerwona linia)

11.5.4 Wartość temperatury średniorocznej

Analiza wartości temperatury średniorocznej wskazuje na wystąpienie trendu wzrostowego, szczególnie silnym w dziesięcioleciu 2046-2055 dla scenariusza RCP8.5 (Rysunek 67). Temperatura zmienia się od średnio 8,75°C w dziesięcioleciu 2006-2015 poprzez średnio 9,19°C w latach 2026-2035 do średnio 9,80°C w dziesięcioleciu 2046-2055. Wartość temperatury średniorocznej obliczona na podstawie wyników EURO-CORDEX dla klimatu bieżącego jest zbliżona do wartości uzyskanych na podstawie obserwacji. **Prognozowany jest wzrost temperatury średniorocznej.**



Rysunek 67. Wartość temperatury średniorocznej (RCP4.5 – niebieska linia) i wysokiej emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5 – czerwona linia)

11.6 Susze

Zagrożenie suszami zostało ocenione na podstawie analizy następujących indeksów:

- Najdłuższy okres bez opadu (opad <1 mm/d) w roku;
- Liczba okresów bez opadu dłuższych od 5 dni w roku.

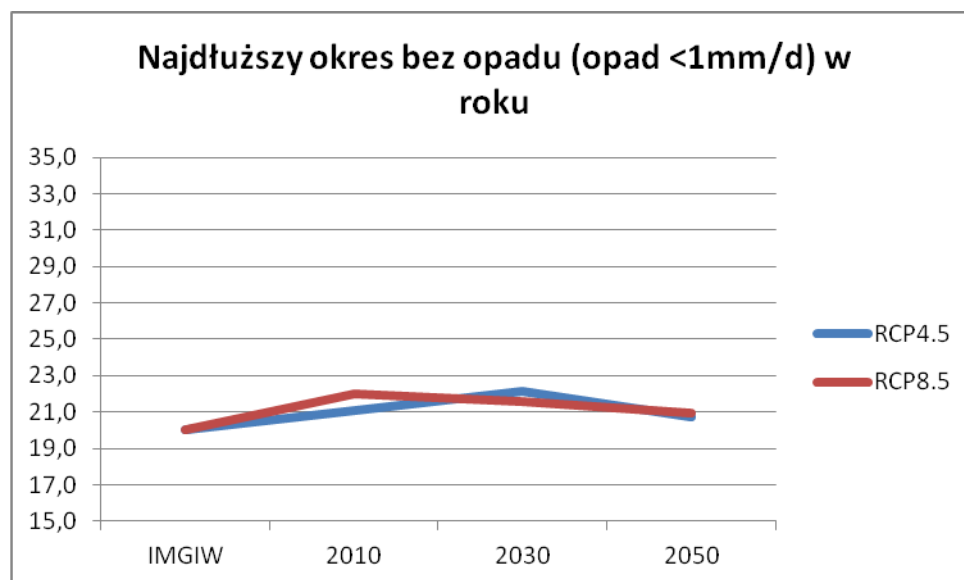
W odniesieniu do powyższych indeksów zagrożenie suszą w horyzoncie do roku 2050 prognozowy nie wskazują na istotne zmiany.

Prognozowana długość najdłuższego okresu bezopadowego nie wykazuje znaczących zmian w horyzoncie do roku 2050, a liczba okresów bez opadu dłuższych od 5 dni w roku nie ulegnie zmianie.

Szczegółowy opis zmienności indeksów przedstawiono w poniższych sekcjach.

11.6.1 Najdłuższy okres bez opadu (opad <1 mm/d) w roku

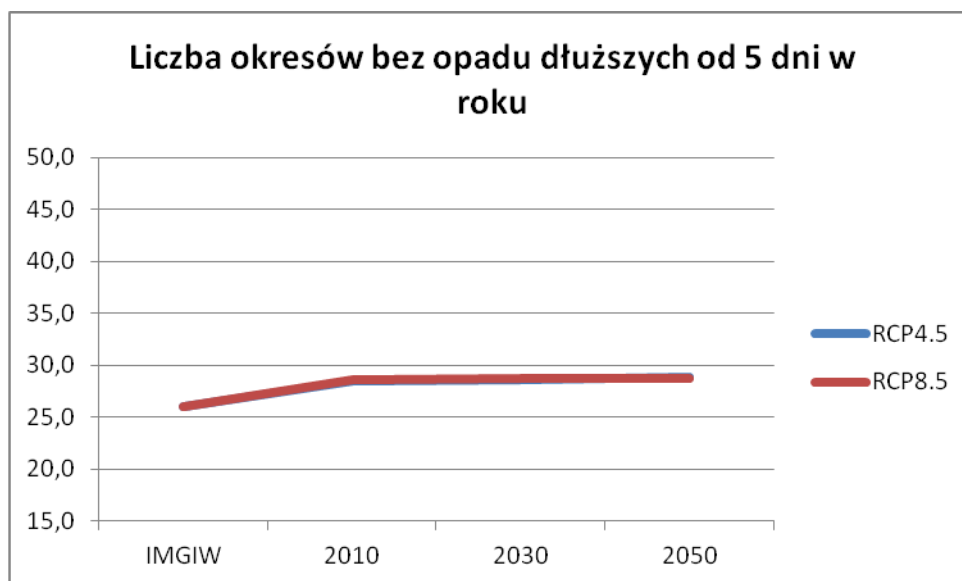
W przypadku najdłuższego okresu bez opadu w roku zmiany są nieznaczne, jakkolwiek wskazują na trend spadkowy w przypadku scenariusza RCP8.5 oraz początkowe wydłużenie okresu w latach 2026-2035, a następnie skrócenie w kolejnym dziesięcioleciu dla scenariusza RCP4.5 (Rysunek 68). Wartość indeksu obliczona na podstawie wyników EURO-CORDEX dla klimatu bieżącego jest nieco wyższa od obserwowanej. **Prognozowana długość najdłuższego okresu bezopadowego nie wykazuje znaczących zmian w horyzoncie do roku 2050.**



Rysunek 68. Najdłuższy okres bez opadu (opad <1mm/d) w roku (RCP4.5 – niebieska linia) i wysokiej emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5 – czerwona linia)

11.6.2 Liczba okresów bez opadu dłuższych od 5 dni w roku

W przypadku liczby okresów bez opadu dłuższych od 5 dni w roku zmiany są relatywnie niewielkie i wskazują na wzrost od średnio 28,58 okresu w dziesięcioleciu 2006-2015 przez średnio 28,72 okresu w okresie 2026-2035 do średnio 28,84 okresu w latach 2046-2055 (Rysunek 69). Wartość indeksu obliczona na podstawie wyników EURO-CORDEX dla klimatu bieżącego jest nieco wyższa od obserwowanej. **Prognozowana liczba okresów bez opadu dłuższych od 5 dni w roku nie ulegnie zmianie w horyzoncie do roku 2050.**



Rysunek 69. Liczba okresów bez opadu dłuższych od 5 dni w roku (RCP4.5 – niebieska linia) i wysokiej emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5 – czerwona linia)

11.7 Dni z opadem

Zagrożenia związane z dniami wilgotnymi zostały ocenione na podstawie analizy następujących indeksów:

- Suma roczna opadu;
- Liczba dni z opadem ≥ 1 mm/d w roku;
- Liczba okresów z opadem ≥ 1 mm/d dłuższych od 5 dni w roku.

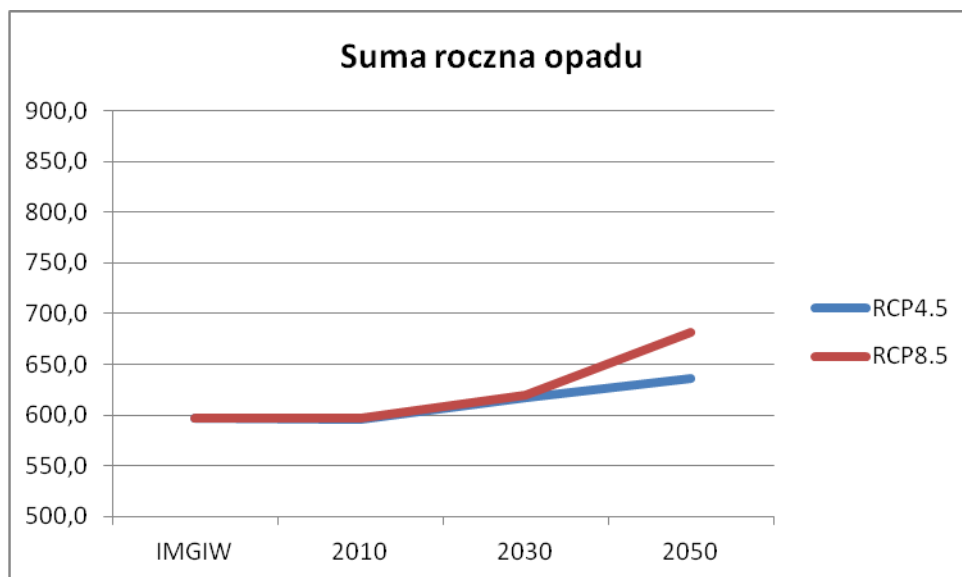
W odniesieniu do powyższych indeksów opisujących ilość dni z opadem i wysokość opadu w horyzoncie do roku 2050 zaznacza się trend rosnący.

Prognozowany jest wzrost rocznej sumy opadu oraz wzrost liczby dni z opadem ≥ 1 mm/d w roku, zwłaszcza dla scenariusza RCP8.5. Liczby okresów z opadem ≥ 1 mm/d dłuższych od 5 dni może nieznacznie wrosnąć.

Szczegółowy opis zmienności indeksów przedstawiono w poniższych sekcjach.

11.7.1 Suma roczna opadu

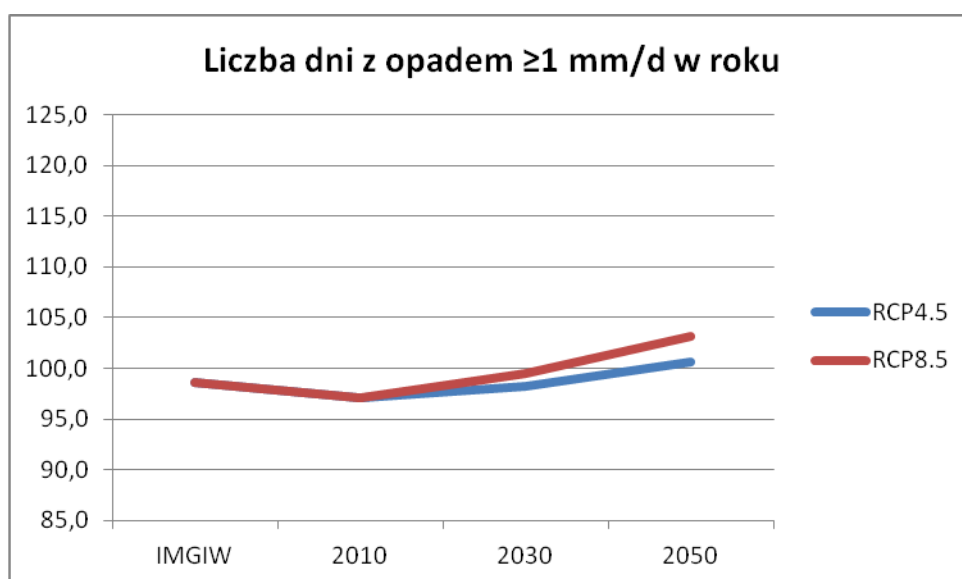
Wyniki wiązki EURO-CORDEX dla sumy rocznej opadu wskazują na istnienie trendu wzrostowego, zyskującego na dynamice w dziesięcioleciu 2046-2055, zwłaszcza dla scenariusza RCP8.5 (Rysunek 70). Suma roczna opadu zmienia się od średnio 596,22 mm w dziesięcioleciu 2006-2015 poprzez średnio 618,53 mm w latach 2026-2035 do średnio 659,00 mm w okresie 2046-2055. Wartość indeksu obliczona na podstawie wyników EURO-CORDEX dla klimatu bieżącego jest zbliżona do wartości uzyskanych na podstawie obserwacji. **Prognozowany jest wzrost rocznej sumy opadu, zwłaszcza dla scenariusza RCP8.5.**



Rysunek 70. Suma roczna opadu (RCP4.5 – niebieska linia) i wysokiej emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5 – czerwona linia)

11.7.2 Liczba dni z opadem ≥ 1 mm/d w roku

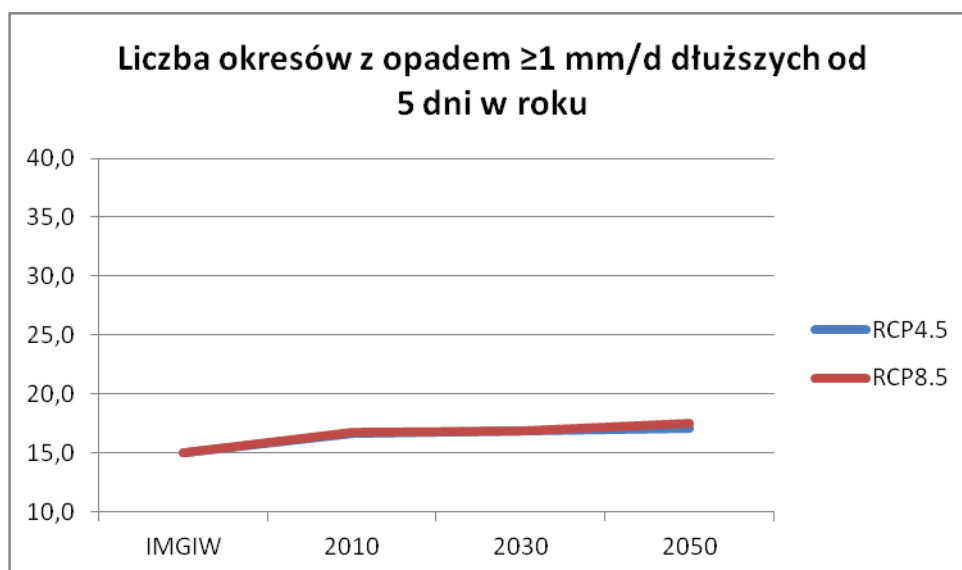
W odniesieniu do liczby dni z opadem ≥ 1 mm/d w roku zauważalny jest trend rosnący, a zmiany są bardziej dynamiczne dla RCP8.5 (Rysunek 71). Liczba dni zmienia się od średnio 97,07 dni w dziesięcioleciu 2006-2015 poprzez średnio 98,83 dni w latach 2026-2035 do średnio 101,88 dni w okresie 2046-2055. Wartość indeksu obliczona na podstawie wyników EURO-CORDEX dla klimatu bieżącego jest nieco niższa do wartości uzyskanych na podstawie obserwacji. **Prognozowany jest wzrost liczby dni z opadem ≥ 1 mm/d w roku, zwłaszcza dla scenariusza RCP8.5.**



Rysunek 71. Liczba dni z opadem ≥ 1 mm/d w roku (RCP4.5 – niebieska linia) i wysokiej emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5 – czerwona linia)

11.7.3 Liczba okresów z opadem ≥ 1 mm/d dłuższych od 5 dni w roku

Wyniki wiązki EURO-CORDEX dla liczba okresów z opadem ≥ 1 mm/d dłuższych od 5 dni w roku wskazują na nieznaczną tendencję wzrostową (Rysunek 72). Liczba okresów zmienia się od średnio 16,65 okresu w latach 2006-2015 poprzez średnio 16,83 okresu w dziesięcioleciu 2026-2035 do średnio 17,28 okresu w okresie 2046-2055. Wartości uzyskane na podstawie EURO-CORDEX dla klimatu bieżącego są wyższe niż obliczone na podstawie obserwacji. **Prognozowany jest nieznaczny wzrost liczby okresów z opadem ≥ 1 mm/d dłuższych od 5 dni.**



Rysunek 72. Liczba okresów z opadem ≥ 1 mm/d dłuższych od 5 dni w roku (RCP4.5 – niebieska linia) i wysokiej emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5 – czerwona linia)

11.8 Średnie warunki opadowe

Średnimi warunkami opadowymi zostały ocenione na podstawie analizy następujących indeksów:

- Miesięczna suma opadu dla wszystkich miesięcy roku;
- Maksymalny opad dobowy w miesiącu dla każdego miesiąca roku.

Dla miesięcznej sumy opadu w miesiącach od stycznia do marca występuje przewaga trendu wzrostowego. Dla wartości maksymalnego opadu dobowego dla miesięcy od stycznia do marca zmiany są nieznaczne, występują jednak nieznaczne wzrosty - najsilniejsze w marcu.

Dla kwietnia i sierpnia zaznacza się słaby spadek miesięcznej sumy opadu, zaś dla maja, czerwca i lipca zmiany są relatywnie niewielkie. W okresie od kwietnia do sierpnia nie występują znaczące zmiany maksymalnego opadu dobowego za wyjątkiem w lipca i sierpnia, zwłaszcza w dziesięcioleciu 2046-2055, kiedy prognozowane są wzrosty.

Miesięczne sumy opadu w miesiącach od września do grudnia wskazują na przewagę trendu wzrostowego, zwłaszcza dla września i słabe zmiany w grudniu. Maksymalny opad dobowy dla miesięcy od września do grudnia pomimo nieznacznych fluktuacji wskazuje na lekki trend wzrostowy, za wyjątkiem grudnia w scenariuszy RCP4.5.

Szczegółowy opis zmienności indeksów przedstawiono poniżej w Załączniku B i Załączniku C

11.9 Opad ekstremalny

Zagrożenia związane z opadem ekstremalnym zostały ocenione na podstawie analizy następujących indeksów:

- Liczba dni z opadem ≥ 10 mm/d w roku;
- Liczba dni z opadem ≥ 20 mm/d w roku.

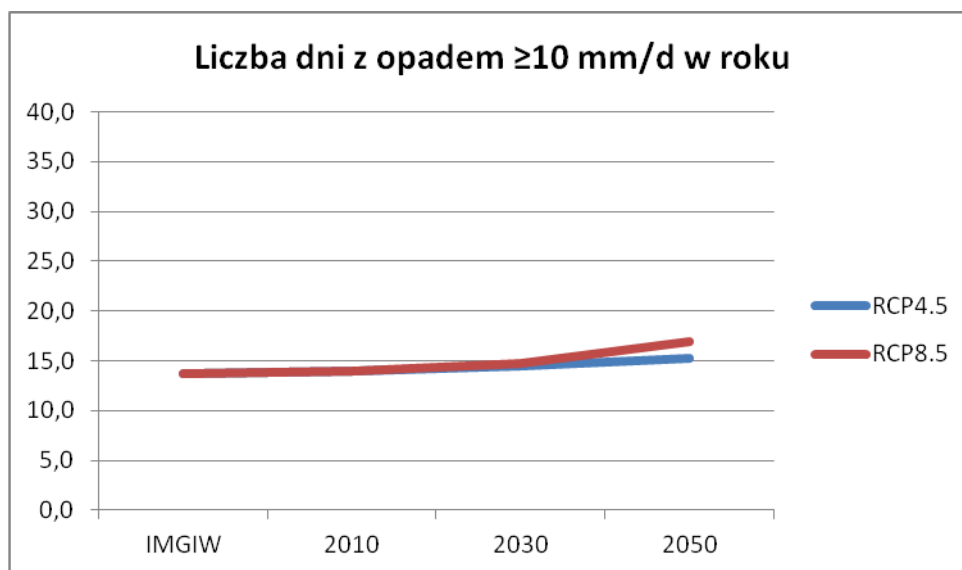
W odniesieniu do powyższych indeksów narażenie na opad ekstremalny w horyzoncie do roku 2050 nieznacznie wrasta.

Prognozowany jest nieznaczny wzrost liczby dni z opadem ≥ 10 mm/d w roku oraz wzrost liczby dni z opadem ≥ 20 mm/d w roku, zwłaszcza dla scenariusza RCP8.5 w horyzoncie 2050.

Szczegółowy opis zmienności indeksów przedstawiono w poniższych sekcjach.

11.9.1 Liczba dni z opadem ≥ 10 mm/d w roku

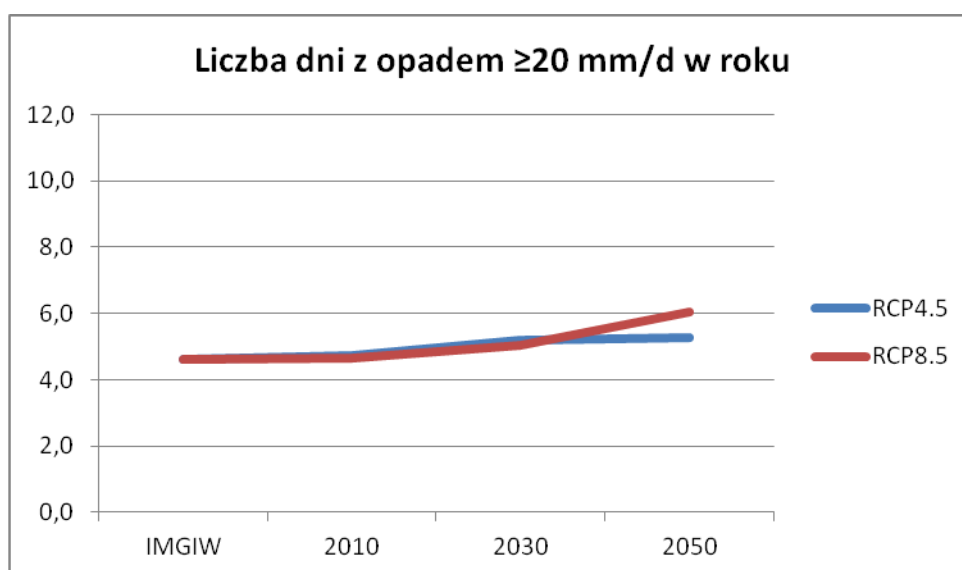
Dla liczby dni z opadem ≥ 10 mm/d w roku wartości indeksu obliczone na podstawie EURO-CORDEX wskazują na nieznaczny trend wzrostowy (Rysunek 73). Średnio liczba dni zmienia się od 13,99 dni w dziesięcioleciu 2006-2015 poprzez średnio 14,63 dni w okresie 2026-2035 do średnio 16,14 dni w latach 2046-2055. Wartości indeksu obliczone na podstawie obserwacji oraz wyników EURO-CORDEX są zbliżone. **Prognozowany jest nieznaczny wzrost liczby dni z opadem ≥ 10 mm/d w roku.**



Rysunek 73. Liczba dni z opadem ≥ 10 mm/d w roku (RCP4.5 – niebieska linia) i wysokiej emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5 – czerwona linia)

11.9.2 Liczba dni z opadem ≥ 20 mm/d w roku

Na podstawie wyników EURO-CORDEX liczba dni z opadem ≥ 20 mm/d w roku wykazuje trend wzrostowy, zwłaszcza w przypadku scenariusza RCP8.5 (Rysunek 74). Wartości indeksu zmieniają się od średnio 4,69 dni w dziesięcioleciu 2006-2015 poprzez średnio 5,11 dni w okresie 2026-2035 do średnio 5,67 dni w latach 2046-2055. Wartości indeksu obliczone na podstawie obserwacji oraz wyników EURO-CORDEX są zbliżone. **Prognozowany jest wzrost liczby dni z opadem ≥ 20 mm/d w roku, zwłaszcza dla scenariusza RCP8.5 w horyzoncie 2050.**



Rysunek 74. Liczba dni z opadem ≥ 20 mm/d w roku (RCP4.5 – niebieska linia) i wysokiej emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5 – czerwona linia)

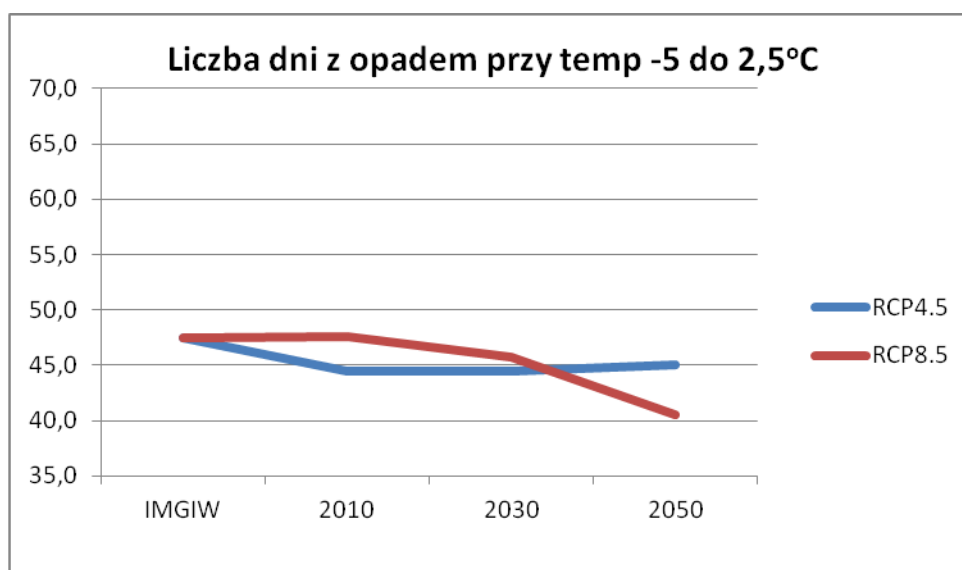
11.10 Indeksy temperaturowo-opadowe

Zagrożenia gołodzią zostały ocenione również na podstawie analizy następujących indeksów łączonych, wykorzystujących informacje o temperaturze i wysokości opadu:

- Liczba dni z opadem przy temperaturze -5 do 2,5°C.

W zależności od scenariusza prognozowana jest mała zmienność lub niewielki spadek liczny dni z opadem przy temp -5 do 2,5°C

W przypadku liczby dni z opadem przy temp -5 do 2,5°C dla scenariusza RCP4.5 trend nie występuje, zaś w przypadku RCP8.5 istnieje trend spadkowy (Rysunek 75). Wartości zmieniają się od średnio 46,01 dnia w okresie 2006-2015 poprzez średnio 45,10 dnia w dziesięcioleciu 2026-2035 do średnio 42,76 dnia w latach 2046-2055. W przypadku scenariusza RCP8.5 występuje duża zgodność wartości indeksu obliczonej na podstawie EURO-CORDEX dla bieżącego klimatu i na podstawie obserwacji, zaś dla RCP4.5 obserwowanej wartości są nieco wyższe.



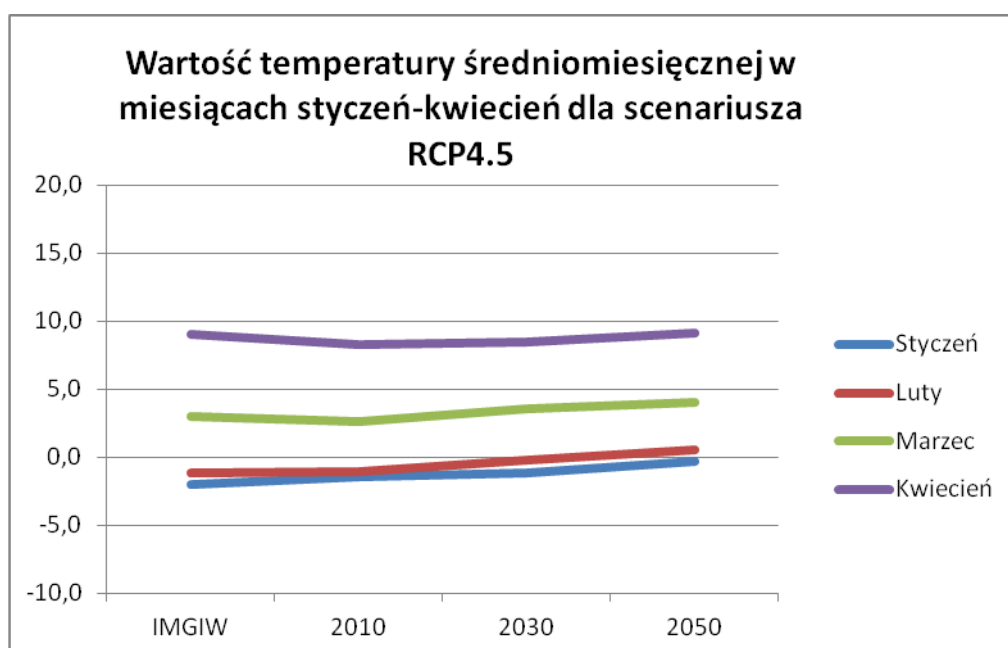
Rysunek 75. Liczba dni z opadem przy temp -5 do 2,5oC (RCP4.5 – niebieska linia) i wysokiej emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5 – czerwona linia)

12 ZAŁĄCZNIK A

Wartość temperatury średniomiesięcznej dla każdego miesiąca roku

Styczeń – Kwiecień RCP4.5

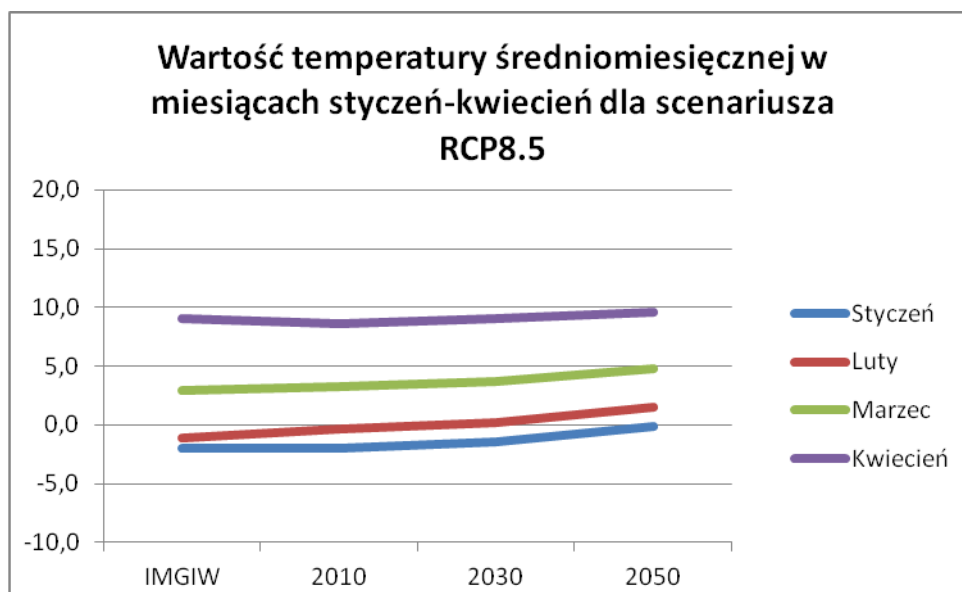
Wartości temperatury średniomiesięcznej w miesiącach od stycznia do kwietnia według scenariusza RCP4.5, dla ciągu kolejnych dziesięcioleci pokazuje, iż dla wszystkich miesięcy występuje z różną siłą trend wzrostowy, silniejszy dla dziesięciolecia 2046-2055 (Rysunek A1). Dla miesięcy tych temperatura zmienia się o średnio $0,53^{\circ}\text{C}$ w dziesięcioleciu 2026-2035 i o średnio $0,69^{\circ}\text{C}$ w ostatnim z analizowanych dziesięcioleci. Największy wzrost względem dziesięciolecia 2046-2055 w stosunku do pierwszego dziesięciolecia wyznaczony został dla lutego i wynosi on $1,55^{\circ}\text{C}$, natomiast najniższy równy $0,85^{\circ}\text{C}$ dla kwietnia.



Rysunek A1 Wartość temperatury średniomiesięcznej w miesiącach styczeń-kwiecień dla scenariusza RCP4.5

Styczeń – Kwiecień RCP8.5

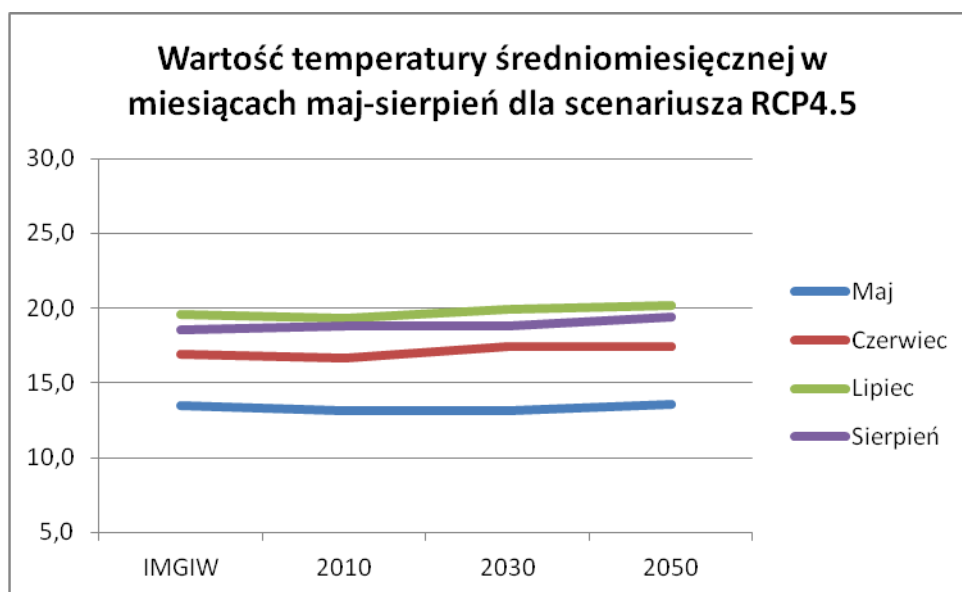
Dla temperatury średniomiesięcznej dla analizowanych dziesięcioleci na postawie scenariusza RCP8.5 i dla miesięcy od stycznia do kwietnia można wskazać istnienie trendu wzrostowego, przy czym dla kwietnia wzrost ten jest niższy (Rysunek A2). Dla stycznia, lutego i marca temperatura zmienia się o średnio 0,45°C w dziesięcioleciu 2026-2035 i o średnio 1,05°C w dziesięcioleciu 2035-2055 w obu przypadkach w odniesieniu do wartości uzyskanych w poprzednich okresach. Najwyższy wzrost uzyskano dla lutego, natomiast najniższy dla kwietnia; odpowiednio o 1,79°C i o 0,89°C w ostatnim z dziesięcioleci w stosunku do wartości uzyskanych w latach 2006-2015.



Rysunek A2 Wartość temperatury średniomiesięcznej w miesiącach styczeń-kwiecień dla scenariusza RCP8.5

Maj – Sierpień RCP4.5

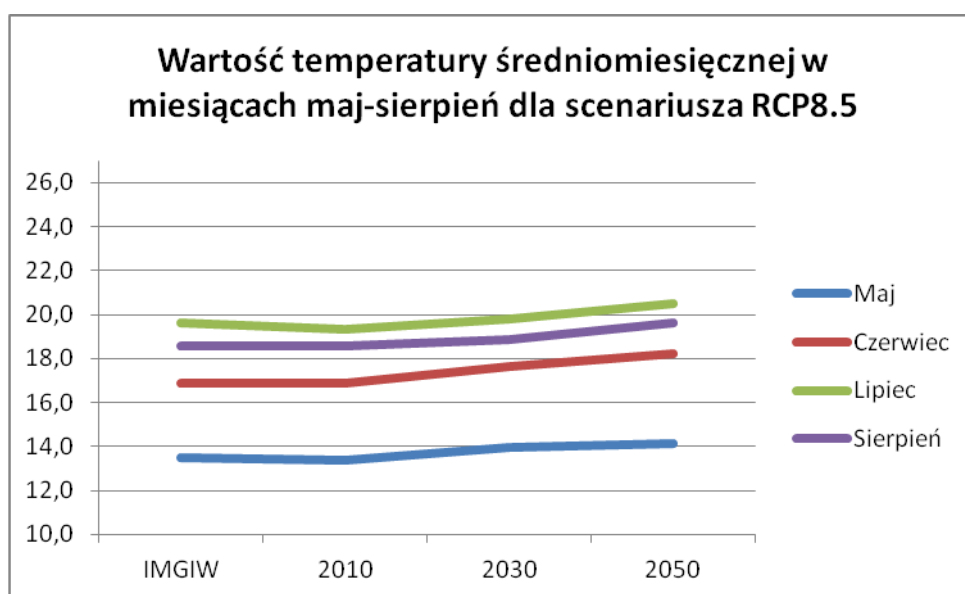
W odniesieniu do temperatury średniomiesięcznej w miesiącach od maja do sierpnia, dla scenariusza RCP4.5 można zauważyć nieznaczne wzrosty, zmiany nie są jednak duże (Rysunek A3). Temperatura średniomiesięczna zmienia się o średnio $0,36^{\circ}\text{C}$ w okresie 2026-2035 i o średnio $0,32^{\circ}\text{C}$ w dziesięcioleciu 2046-2055. Dla dziesięciolecia 2046-2055 w stosunku do lat 2006-2015 największy wzrost temperatury uzyskano dla lipca który wynosi $0,85^{\circ}\text{C}$, natomiast najmniejszy dla maja równy $0,45^{\circ}\text{C}$.



Rysunek A3 Wartość temperatury średniomiesięcznej w miesiącach maj-sierpień dla scenariusza RCP4.5

Maj – Sierpień RCP8.5

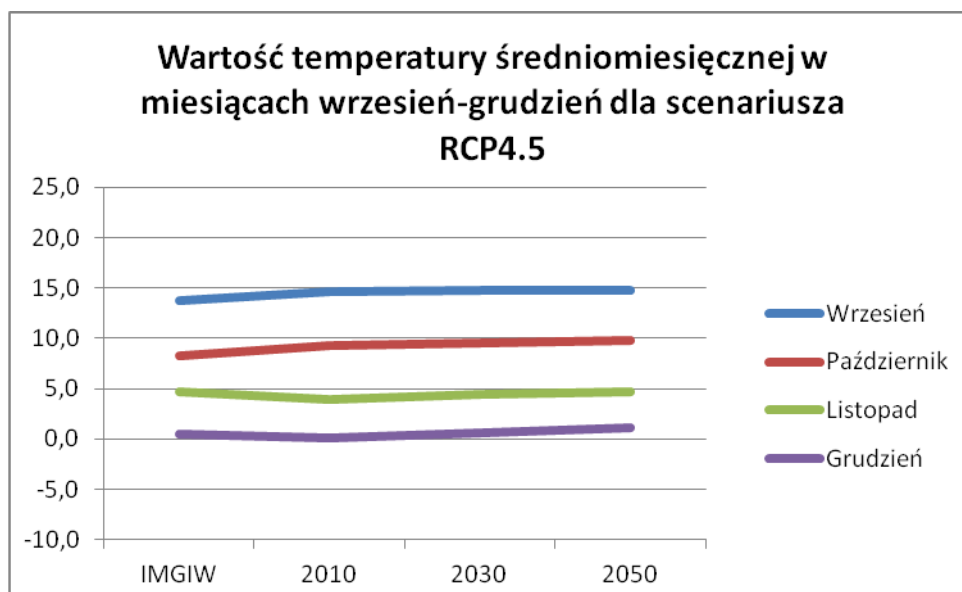
Wartości temperatury średniomiesięcznej dla miesięcy od maja do sierpnia, dla scenariusza RCP8.5 na przestrzeni dziesięcioleci pokazują istnienie stałego trendu wzrostowego, choć dla sierpnia w dziesięcioleciu 2026-2035 i maja w okresie kolejnym różnice są zauważalnie niższe (Rysunek A4). Temperatura zmienia się o średnio $0,51^{\circ}\text{C}$ w dziesięcioleciu 2026-2035 w odniesieniu do lat 2006-2015 i o średnio $0,56^{\circ}\text{C}$ w dziesięcioleciu 2046-2055 w stosunku do poprzedniego okresu analizy. Dla ostatniego z rozważanych dziesięcioleci i w porównaniu z wynikiem z lat 2006-2015 największy wzrost temperatury średniomiesięcznej wynoszący $1,34^{\circ}\text{C}$ obliczony został dla czerwca, natomiast najmniejszy i równy $0,74^{\circ}\text{C}$ dla maja.



Rysunek A4. Wartość temperatury średniomiesięcznej w miesiącach maj-sierpień dla scenariusza RCP8.5

Wrzesień – Grudzień RCP4.5

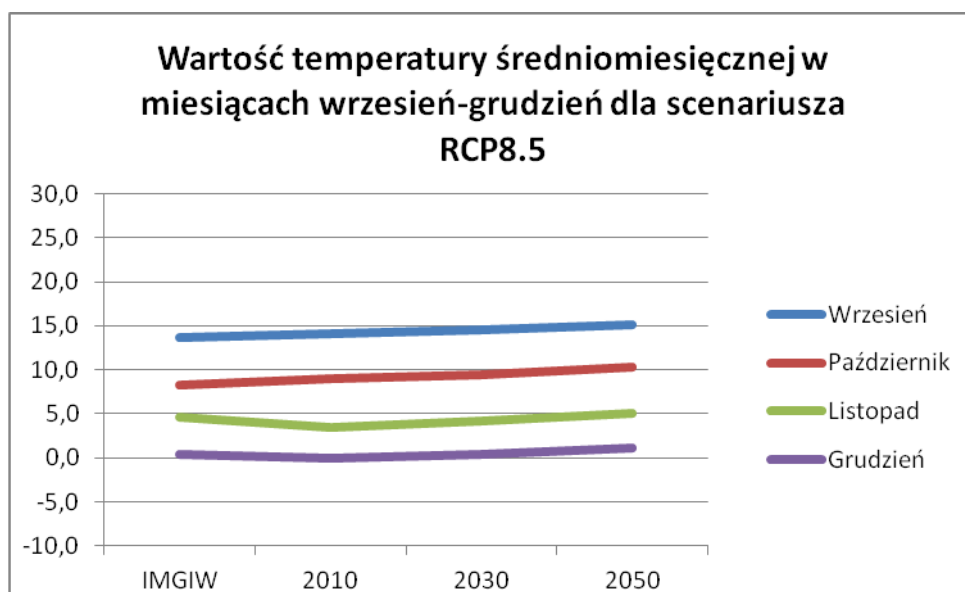
W przypadku temperatury średniomiesięcznej dla miesięcy od września do grudnia dla scenariusza RCP4.5 zaznacza się słaby trend wzrostowy, zauważalny jest też brak zmian dla września oraz dziesięciolecia 2046-2055 (Rysunek A5). Przeciętnie temperatura zmienia się w tych miesiącach o średnio 0,33°C w dziesięcioleciu 2026-2035 i o średnio 0,25°C w latach 2046-2055. Największy wzrost wartości temperatury średniomiesięcznej w ostatnim z analizowanych okresów w odniesieniu do pierwszego dziesięciolecia zauważalny jest dla grudnia i wynosi 1,00°C, natomiast najniższy dla września, ok. 0,18°C.



Rysunek A5. Wartość temperatury średniomiesięcznej w miesiącach wrzesień-grudzień dla scenariusza RCP4.5

Wrzesień – Grudzień RCP8.5

Wartości temperatury średniomiesięcznej w miesiącach od września do grudnia i dla scenariusza RCP8.5 wskazują na trend wzrostowy (Rysunek A6). W przypadku rozważanych miesięcy temperatura średniomiesięczna zmienia się o średnio 0,48°C w dziesięcioleciu 2026-2035 i o średnio 0,78°C w latach 2046-2055 w obu przypadkach w odniesieniu do poprzednich okresów. Największy wzrost wartości temperatury średniomiesięcznej widoczny jest dla listopada, natomiast najniższy we wrześniu; odpowiednio o 1,05°C i o 1,55°C w dziesięcioleciu 2046-2055 w stosunku do 2006-2015.



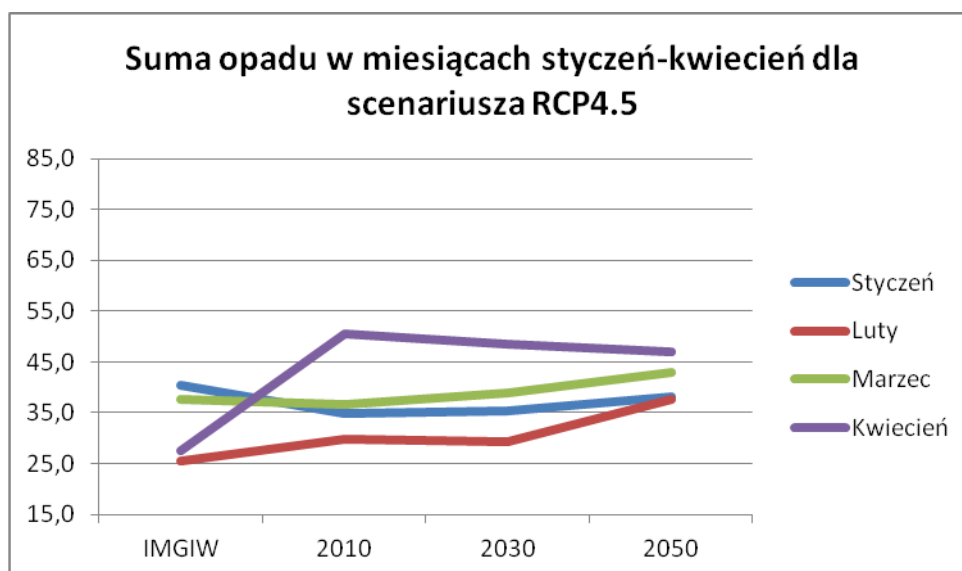
Rysunek A6 Wartość temperatury średniomiesięcznej w miesiącach wrzesień-grudzień dla scenariusza RCP8.5

13 ZAŁĄCZNIK B

Miesięczna suma opadu dla wszystkich miesięcy roku

Styczeń – Kwiecień RCP4.5

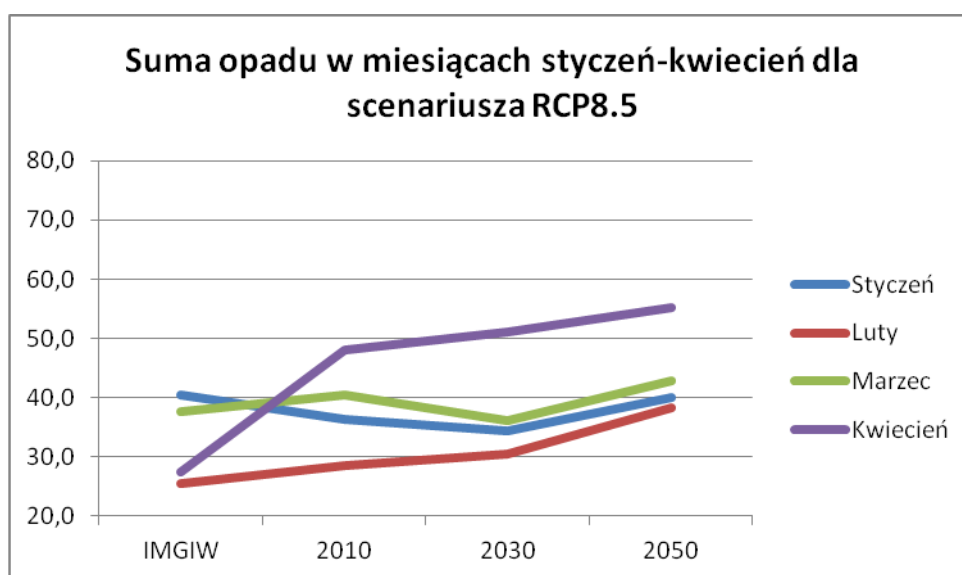
Dla miesięcznej sumy opadu w miesiącach od stycznia do marca dla scenariusza RCP4.5 można zauważyć przewagę trendu wzrostowego, zaś dla kwietnia zaznacza się słaby spadek miesięcznej sumy opadu (Rysunek B1). Największy wzrost sumy opadu widoczny jest dla lutego, natomiast największy spadek dla kwietnia; odpowiednio o 7,70 mm i o 3,63 mm w ostatnim z analizowanych okresów w stosunku do 2006-2015. Wartości pochodzące z obserwacji klimatu i uzyskane na podstawie wyników EURO-CORDEX są zbliżone dla stycznia i marca, nieco zawyżone dla lutego, oraz znacznie zważone dla kwietnia



Rysunek B1 Suma opadu w miesiącach styczeń-kwiecień dla scenariusza RCP4.5

Styczeń – Kwiecień RCP8.5

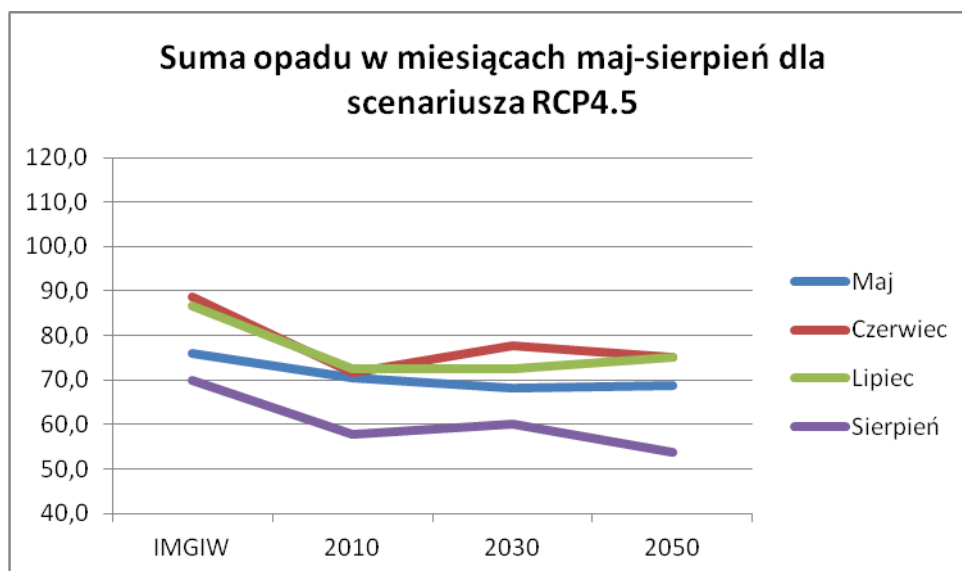
Miesięczna suma opadu od stycznia do kwietnia dla scenariusza RCP8.5 wskazuje na trend wzrostowy dla wszystkich miesięcy w okresie 2046-2055 i brak ukierunkowanych zmian dla lat 2026-2035 (Rysunek B2). Dla rozważanych miesięcy suma opadu zmienia się o średnio 2,88 mm w dziesięcioleciu 2026-2035 i o średnio 6,07 mm w latach 2046-2055. Największy wzrost równy 9,77 mm uzyskano dla miesiąca lutego, natomiast najniższy wynoszący 2,29 mm dla marca. Wartości pochodzące z obserwacji i uzyskane na podstawie wyników EURO-CORDEX dla klimatu bieżącego są zbliżone dla stycznia i marca, nieco zawyżone dla lutego, oraz znacznie zważone dla kwietnia.



Rysunek B2 Suma opadu w miesiącach styczeń-kwiecień dla scenariusza RCP8.5

Maj – Sierpień RCP4.5

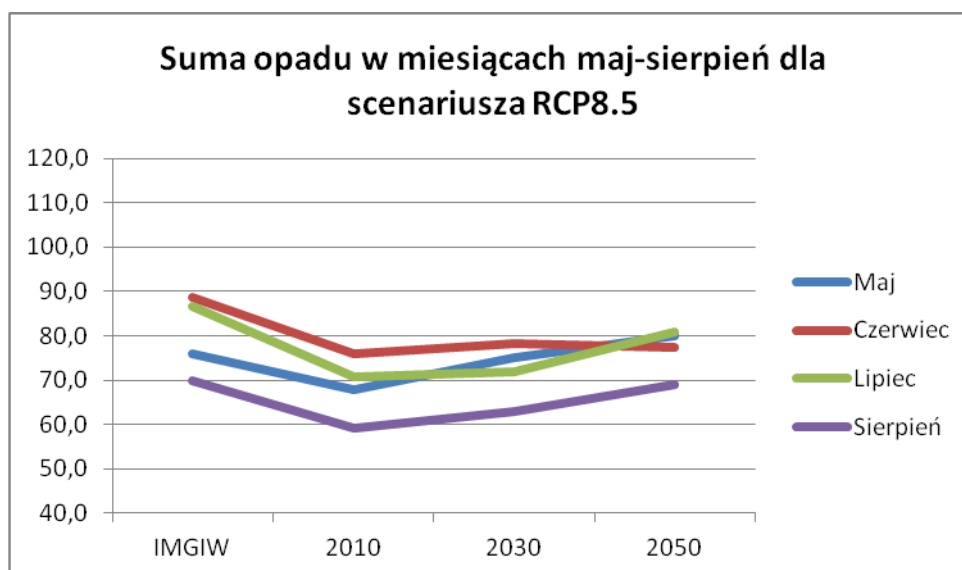
Na podstawie wyników EURO-CORDEX miesięczne sumy opadu od maja do sierpnia i dla scenariusza RCP4.5 nie można jednoznacznie wskazać trendu zmian (Rysunek B3). Dla maja, czerwca i lipca zmiany są relatywnie niewielkie, zaś dla sierpnia opad maleje w horyzoncie do roku 2050. Wartości uzyskane na podstawie EURO-CORDEX dla klimatu bieżącego są zaniżone względem obserwacji.



Rysunek B3 Suma opadu w miesiącach maj-sierpień dla scenariusza RCP4.5

Maj – Sierpień RCP8.5

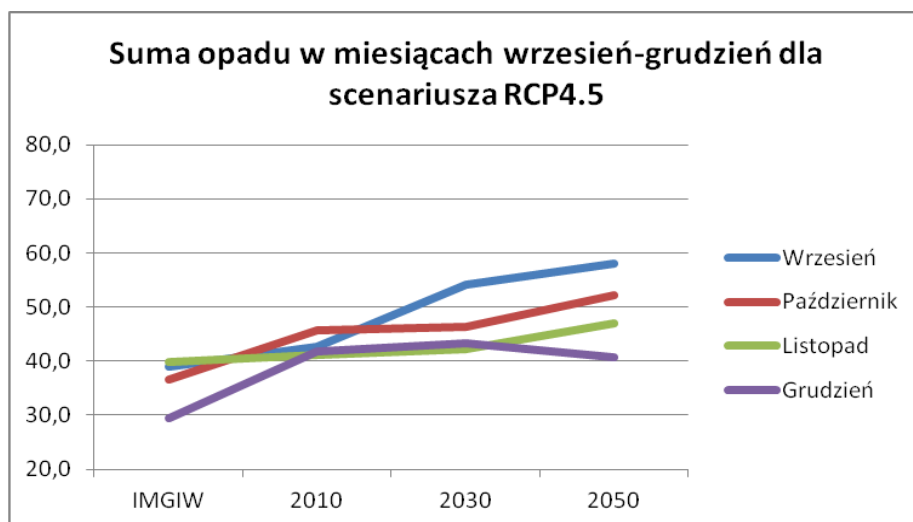
Miesięczne sumy opadu od maja do sierpnia obliczone według scenariusza RCP8.5 wskazują na istnienie trendu wzrostowego, najsłabszego dla miesiąca czerwca (Rysunek B4). Wartości uzyskane na podstawie EURO-CORDEX dla klimatu bieżącego są zaniżone względem obserwacji.



Rysunek B4 Suma opadu w miesiącach maj-sierpień dla scenariusza RCP8.5

Wrzesień – Grudzień RCP4.5

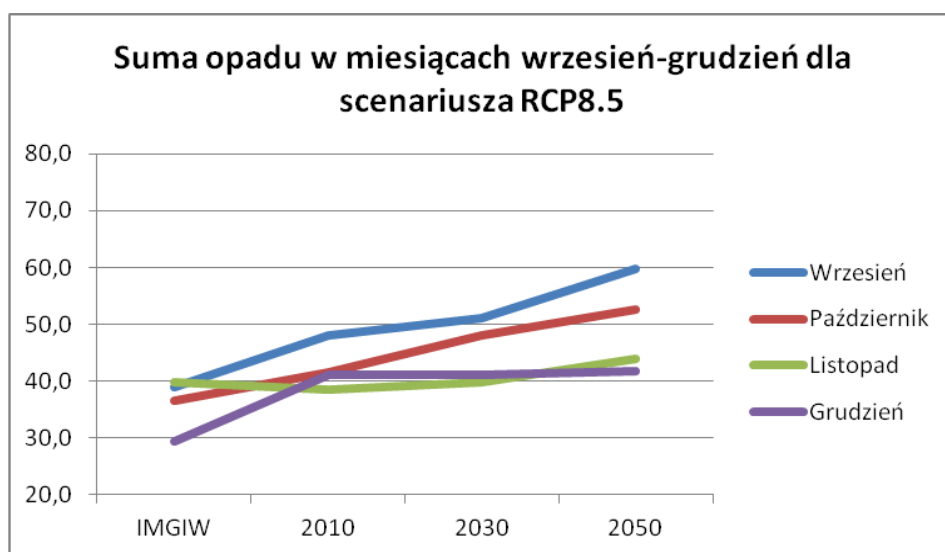
Miesięczne sumy opadu od września do grudnia dla scenariusza RCP4.5 wskazują na przewagę trendu wzrostowego, zwłaszcza dla września w dziesięcioleciu 2026-2035 (Rysunek B5). Relatywnie niewielkie różnice występują dla miesiąca grudnia. Wyniki wiązki EURO-CORDEX dla klimatu bieżącego i wartości obserwacji są zbliżone, za wyjątkiem grudnia gdzie obserwowana suma opadu jest niższa.



Rysunek B5 Suma opadu w miesiącach wrzesień-grudzień dla scenariusza RCP4.5

Wrzesień – Grudzień RCP8.5

Dla miesięcznej sumy opadu według scenariusza RCP8.5 od września do grudnia można zauważyć występowanie tendencji do wzrostu sumy opadu, a dynamika zmian rośnie na przestrzeni dziesięcioleci (Rysunek B6). Przeciętnie, wielkość sumy opadu zmienia się o średnio 2,68 mm w okresie 2026-2035 i o średnio 4,58 mm dla dziesięciolecia 2046-2055. Najwyższy wzrost sumy opadu wyznaczono dla września, natomiast najmniejszy dla grudnia; odpowiednio o 11,64 mm i o 0,79 mm w ostatnim z rozpatrywanych okresów w porównaniu z wartościami uzyskanymi dla okresu 2006-2015. Wyniki wiązki EURO-CORDEX dla klimatu bieżącego i wartości obserwacji klimatu są zbliżone, za wyjątkiem grudnia gdzie obserwowana suma opadu jest niższa.



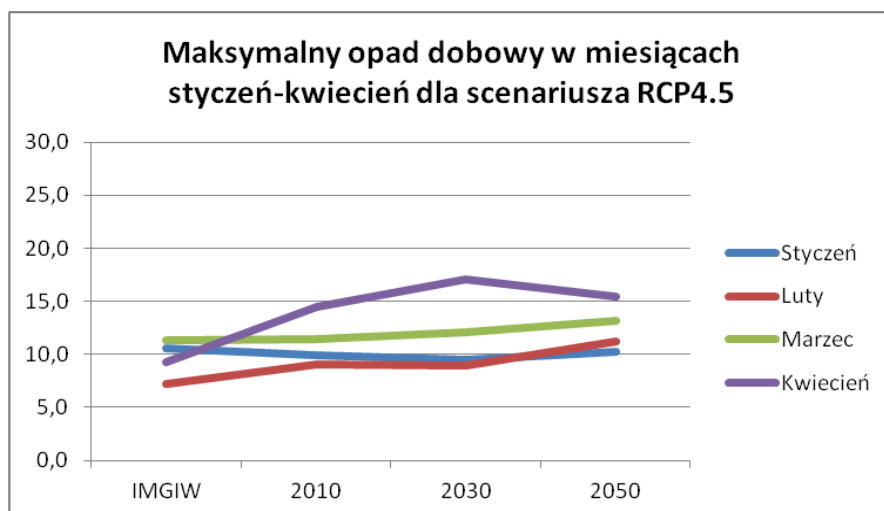
Rysunek B6 Suma opadu w miesiącach wrzesień-grudzień dla scenariusza RCP8.5

14 ZAŁĄCZNIK C

Maksymalny opad dobowy w miesiącu dla każdego miesiąca roku

Styczeń – Kwiecień RCP4.5

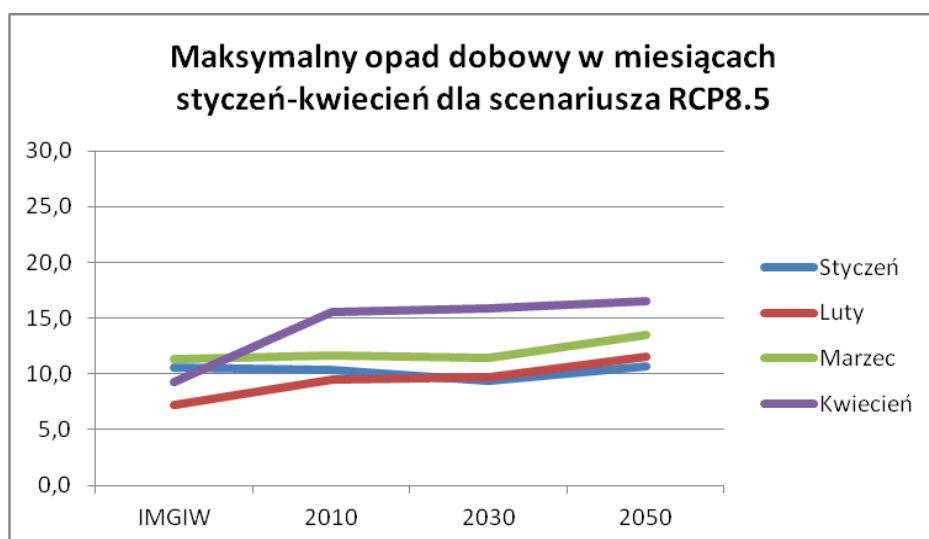
Dla wartości maksymalnego opadu dobowego dla miesięcy od stycznia do kwietnia według scenariusza RCP4.5 zmiany są nieznaczne, można jednak doszukiwać się przewagi trendu wzrostowego, zwłaszcza w miesiącu marcu, oraz brak zmian dla stycznia (Rysunek C1). Wyniki wiązki EURO-CORDEX dla klimatu bieżącego i wartości obserwacji klimatu są zbliżone, za wyjątkiem lutego, gdzie obserwowana suma opadu jest niższa.



Rysunek C1 Maksymalny opad dobowy w miesiącach styczeń-kwiecień dla scenariusza RCP4.5

Styczeń – Kwiecień RCP8.5

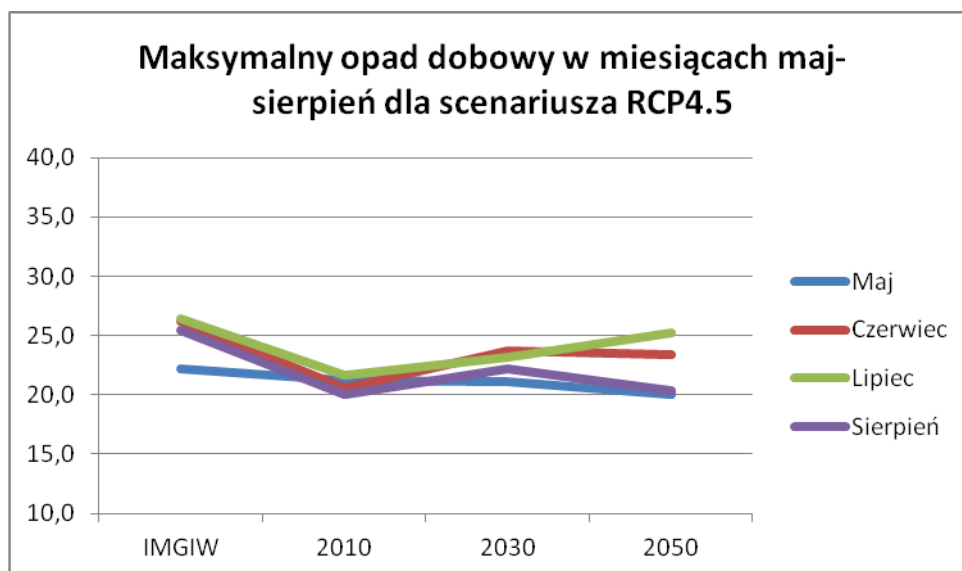
Wartość maksymalnego opadu dobowego dla miesięcy od stycznia do kwietnia uzyskana na podstawie EURO-CORDEX dla scenariusza RCP8.5 ukazuje słaby trend wzrostowy (Rysunek C2). Wyniki wiązki EURO-CORDEX dla klimatu bieżącego i wartości obserwacji klimatu są zbliżone, za wyjątkiem lutego i kwietnia, gdzie obserwowana suma opadu jest niższa.



Rysunek C2 Maksymalny opad dobowy w miesiącach styczeń-kwiecień dla scenariusza RCP8.5

Maj – Sierpień RCP4.5

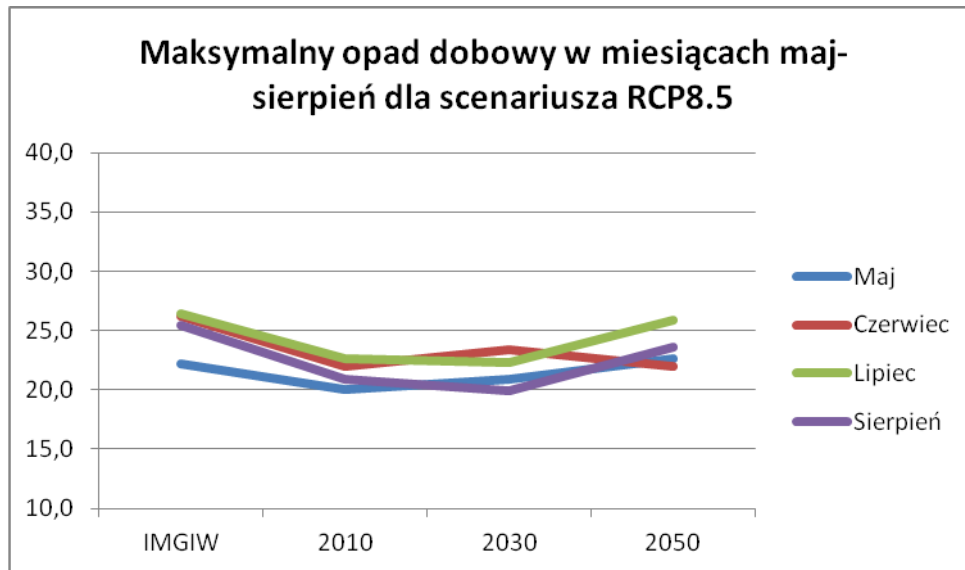
Dla maksymalnego opadu dobowego dla scenariusza RCP4.5 od maja do sierpnia występuje przeważnie trend wzrostowy w dziesięcioleciu 2026-2035 i tendencji do spadku w latach 2046-2055 (Rysunek C3). Największy wzrost widoczny jest dla lipca, natomiast największy spadek dla maja. Wyniki wiązki EURO-CORDEX dla klimatu bieżącego są niższe od wartości obserwowanych.



Rysunek C3 Maksymalny opad dobowy w miesiącach maj-sierpień dla scenariusza RCP4.5

Maj – Sierpień RCP8.5

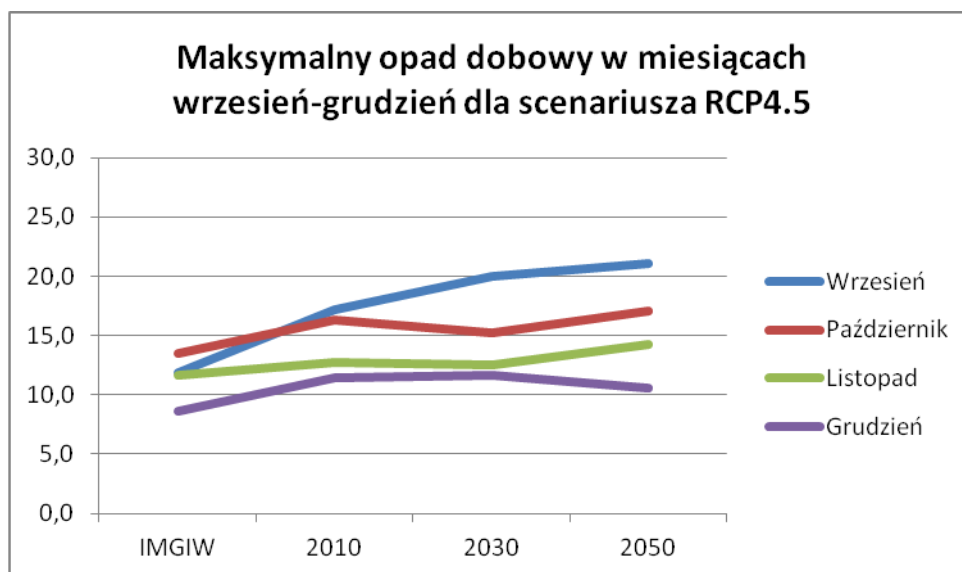
Wartość maksymalnego opadu dobowego od maja do sierpnia zgodnie ze scenariuszem RCP8.5 ukazuje brak trendu w horyzoncie 2030, oraz wzrosty, zwłaszcza w lipcu i sierpniu w dziesięcioleciu 2046-2055 (Rysunek C4). Wyniki wiązki EURO-CORDEX dla klimatu bieżącego są niższe od wartości obserwowanych.



Rysunek C4 Maksymalny opad dobowy w miesiącach maj-sierpień dla scenariusza RCP8.5

Wrzesień – Grudzień RCP4.5

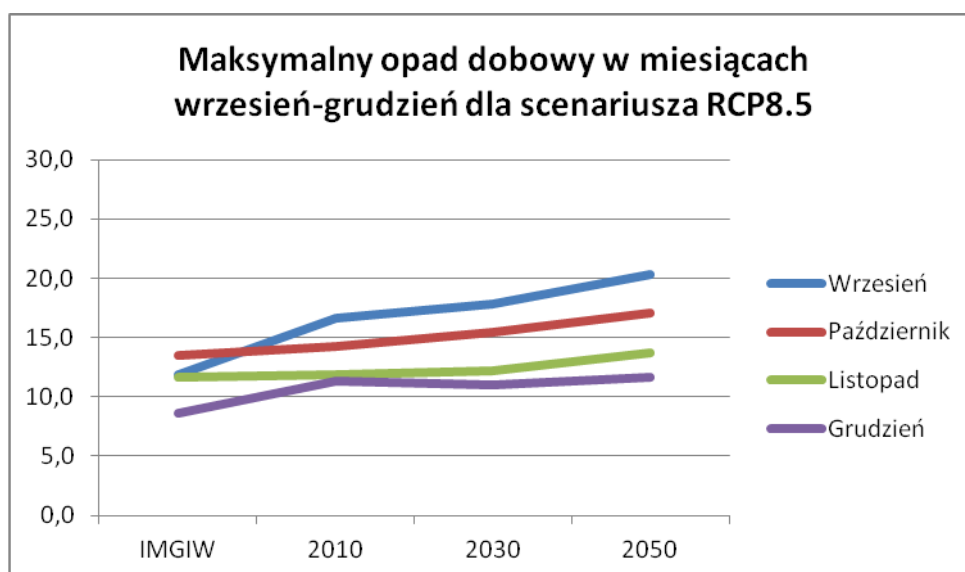
Dla wartości maksymalnego opadu dobowego od września do grudnia dla scenariusza RCP4.5 widać przewagę nieznacznych spadków w latach 2026-2035 i lekkich wzrostów w dziesięcioleciu 2046-2055 (Rysunek C5). Największy wzrost opadu maksymalnego dobowego równy 3,82 mm uzyskano dla września natomiast największy spadek dla grudnia i wynosił on 0,85 mm. Wyniki wiązki EURO-CORDEX dla klimatu bieżącego są wyższe od wartości obserwowanych.



Rysunek C5 Maksymalny opad dobowy w miesiącach wrzesień-grudzień dla scenariusza RCP4.5

Wrzesień – Grudzień RCP8.5

Maksymalny opad dobowy według scenariusza RCP8.5 dla miesięcy od września do grudnia pomimo nieznacznych fluktuacji wskazuje na lekki trend wzrostowy (Rysunek C6). Wyniki wiązki EURO-CORDEX dla klimatu bieżącego są wyższe od wartości obserwowanych dla września i grudnia oraz wykazują zbliżone wartości dla października i listopada.



Rysunek C6 Maksymalny opad dobowy w miesiącach wrzesień-grudzień dla scenariusza RCP8.5