IOŚ-PIB
Instytut Ochrony Środowiska
Państwowy Instytut Badawczy

RAPORT SKRÓCONY

Zmiany temperatury i opadu na obszarze Polski w warunkach przyszłego klimatu do roku 2100

Klimada 2.0
BAZA WIEDZY O ZMIANACH KLIMATU

Baza wiedzy o zmianach klimatu i adaptacji do ich skutków oraz kanałów jej upowszechniania w kontekście zwiększenia odporności gospodarki, środowiska i społeczeństwa na zmiany klimatu oraz przeciwdziałania i minimalizowania skutków nadzwyczajnych zagrożeń.

Fundusze Europejskie Infrastruktura i Środowisko
Rzeczpospolita Polska
IOŚ-PIB Instytut Ochrony Środowiska Państwowy Instytut Badawczy
Unia Europejska Fundusz Spójności

Autorzy:
dr hab. inż. Joanna Strużewska
dr inż. Maciej Jefimow
mgr inż. Paulina Jagiełło
mgr inż. Maria Kłeczek
mgr inż. Anahita Sattari
mgr Aneta Gienibor
inż. Aleksander Norowski
mgr inż. Paweł Durka
mgr inż. Bartłomiej Walczak
mgr Piotr Drzewiecki

Praca wykonana w ramach projektu współfinansowanego ze środków pochodzących z Unii Europejskiej z Programu Operacyjnego Infrastruktura i Środowisko, realizowany w Instytucie Ochrony Środowiska – Państwowym Instytucie Badawczym, w ramach Umowy o dofinansowanie nr POIS.02.01.00-00-0007/17-00 z dnia 18 sierpnia 2017 r. pn. „Baza Wiedzy o zmianach klimatu i adaptacji do ich skutków oraz kanałów jej upowszechniania w kontekście zwiększania odporności gospodarki, środowiska i społeczeństwa na zmiany klimatu oraz przeciwdziałania i minimalizowania skutków nadzwyczajnych zagrożeń”

Data publikacji: Styczeń 2020

Spis treści

Wstęp 4
1. Obserwowane zmiany klimatu w Polsce 6
2. Metodyka opracowania projekcji klimatycznych 9
2.1. Wyniki modeli klimatu 11
2.2. Historyczne dane meteorologiczne 12
2.3. Statystyczne skalowanie projekcji klimatycznych (downscaling) 12
3. Prognozowane zmiany temperatury i opadu 14
3.1. Zmiany temperatury 14
3.1.1. Temperatura średnia roczna 14
3.1.2. Liczba dni okresu wegetacyjnego 16
3.1.3. Liczba dni upalnych 18
3.1.4. Liczba nocy tropikalnych 19
3.1.5. Liczba dni przymrozkowych 20
3.1.6. Liczba dni mroźnych 22
3.2. Zmiany opadu 23
3.2.1. Suma opadu 23
3.2.2. Liczba dni z opadem dobowym ≥ 1 mm 25
3.2.3. Liczba dni bez opadu 26
3.2.4. Liczba dni z opadem ekstremalnym > 20 mm 28
Podsumowanie 30

Wstęp

Prognozy zmian temperatury i wysokości opadu są podstawową informacją niezbędną do oceny skutków narażenia na niekorzystne efekty zmian klimatu w przyszłości. Najbardziej aktualny raport Międzyrządowego Panelu ds. Zmian Klimatu (IPCC) – Piąty Raport Oceny[1] opublikowany w 2013 roku oraz Raport Specjalny SR1.5[2] opublikowany w listopadzie 2018 nie pozostawiają wątpliwości co do istnienia trendów, zarówno obserwowanych, jak i prognozowanych na kolejne dekady.

Zmiany klimatu pociągają za sobą głównie negatywne konsekwencje dla zdrowia, rolnictwa, lasów, produkcji i zużycia energii, transportu, turystyki, otoczenia urbanistycznego czy produkcji przemysłowej. Wpływają także na bioróżnorodność, jakość upraw oraz zmniejszanie się powierzchni zalesionych. Istotne jest także odziaływanie na zdrowie ludzi i zwierząt poprzez choroby zakaźne i pasożytnicze oraz negatywne odziaływanie czynników meteorologicznych (fale upałów). Ze względu na dużą gęstość zaludnienia i zabudowy, ludność terenów zurbanizowanych jest szczególnie narażona na konsekwencje zachodzących zmian.

W warunkach zmieniającego się klimatu i potencjalnie zwiększającego się ryzyka klimatycznego konieczne jest opracowanie optymalnych strategii adaptacji. Działania tego typu powinny być podejmowane zarówno na szczeblu lokalnym, jak też na szczeblu centralnym w ramach realizacji polityk sektorowych.

W celu dostarczenia wiedzy eksperckiej dotyczącej adaptacji do zmian klimatu w Polsce, Instytut Ochrony Środowiska-Państwowy Instytut Badawczy podjął prace badawczo-wdrożeniowe w ramach projektu „Baza wiedzy o zmianach klimatu i adaptacji do ich skutków oraz kanałów jej upowszechniania w kontekście zwiększania odporności gospodarki, środowiska i społeczeństwa na zmiany klimatu oraz przeciwdziałania i minimalizowania skutków nadzwyczajnych zagrożeń”[3]. W projekcie przewidziano szereg działań, których głównym celem jest dostarczenie niezbędnej wiedzy w zakresie zmian klimatu w Polsce i oceny ich skutków, dla poprawy efektywności działań adaptacyjnych w sektorach wrażliwych na zmiany klimatu.

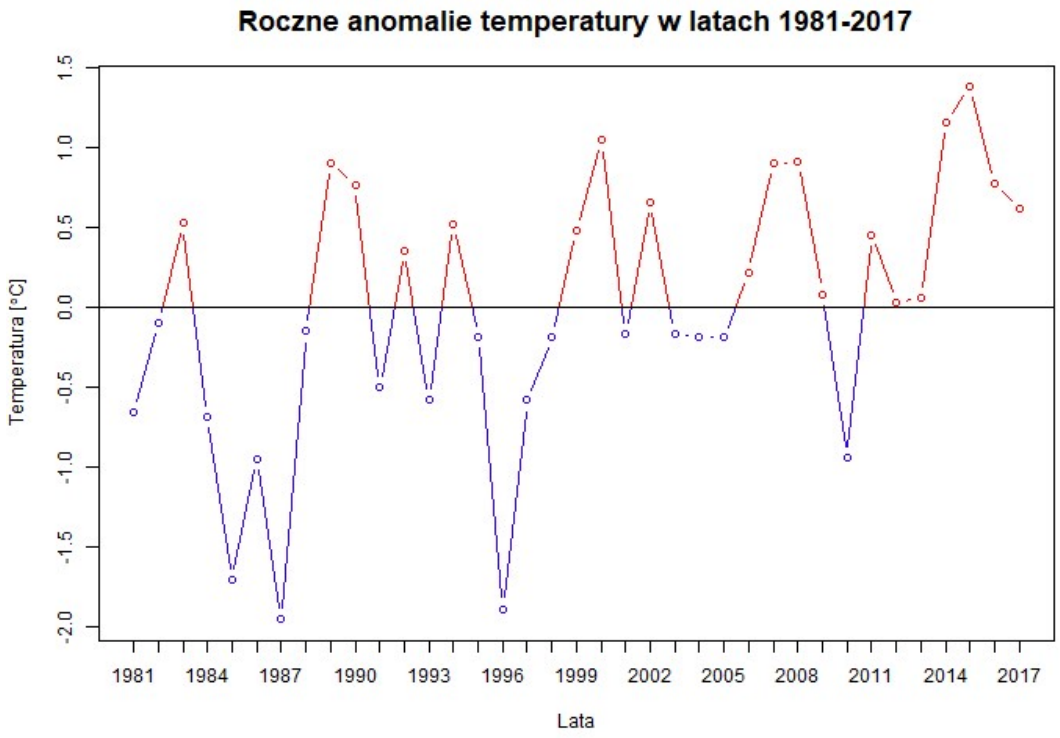
[1] https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/
[2] https://www.ipcc.ch/sr15/
[3] http://klimada2.ios.gov.pl/

Analizy ryzyka związane z narażeniem na czynniki klimatyczne, jak również analizy ekonomiczne pozwalające na zestawienie kosztów przewidywanych szkód przy braku adaptacji z kosztami działań adaptacyjnych, wymagają informacji o trendach podstawowych parametrów meteorologicznych w długim okresie czasu. W odpowiedzi na te potrzeby opracowane zostały scenariusze zmian temperatury i opadu dla całego obszaru Polski, według spójnej metodyki, w oparciu o jednorodne dane. Raport podsumowuje zmienność przestrzenną i czasową wybranych indeksów termicznych i opadowych na terenie Polski w warunkach przyszłego klimatu.

1. Obserwowane zmiany klimatu w Polsce

W ostatnich kilkudziesięciu latach, na terenie Polski obserwujemy trendy zmienności warunków termicznych i opadowych. Na podstawie danych opracowanych na potrzeby niniejszego projektu przez IMGW-PIB, przeprowadzono analizę istotnych cech przebiegu temperatury powietrza i wysokości opadu w latach 1981-2017, z wykorzystaniem pomiarów z sieci obserwacyjno-pomiarowej polskiej służby hydro-meteorologicznej.

Analiza średnich rocznych temperatur na wysokości 2 m, uśrednionych dla obszaru Polski, ukazuje wyraźne zmiany w okresie ubiegłych 36 lat. Niezależnie od wahań międzyrocznych, przebieg anomalii wskazuje na wyraźny wzrost temperatury średniej, zanotowanej na obszarze całej Polski. Od początku XXI średnia roczna temperatura była w większości przypadków wyższa niż średnia z wielolecia 1981-2017.

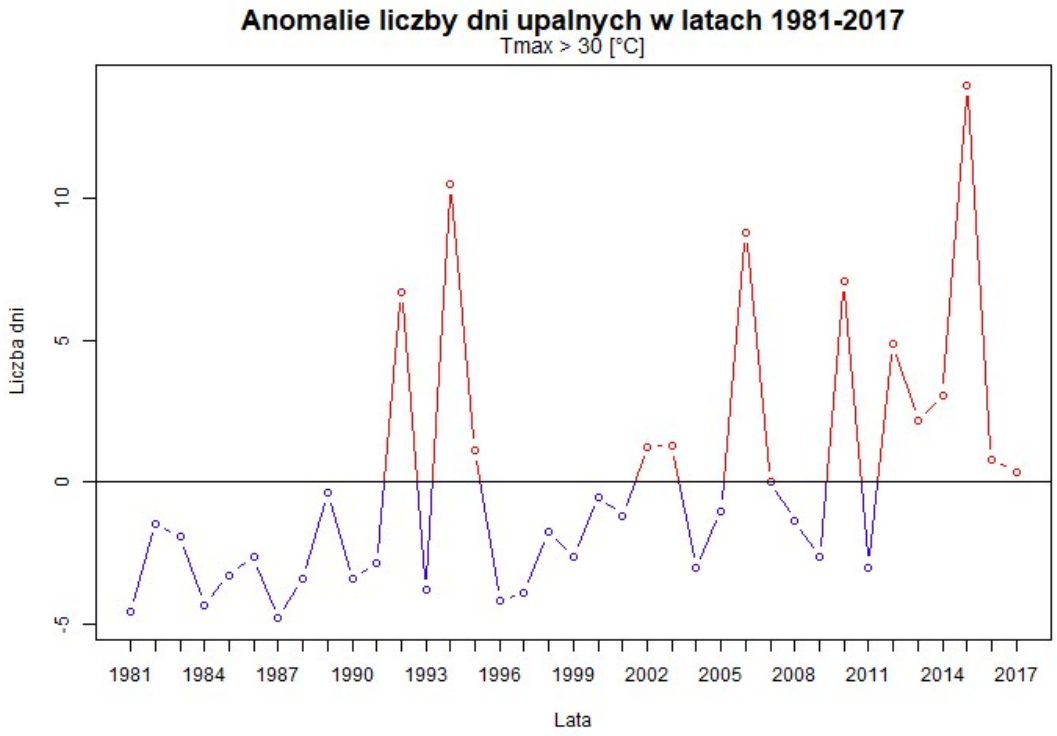


Rysunek 1. Anomalia średniej rocznej temperatury w Polsce względem średniej z okresu 1981-2017

Wyraźnie zarysowują się trendy zmian temperatur ekstremalnych i częstości ich występowania. Liczba dni upalnych[4] wzrosła od jednostkowych przypadków na początku lat 80-tych XX w. do wartości kilku lub nawet kilkunastu dni w roku, z najwyższą wartością 20 dni

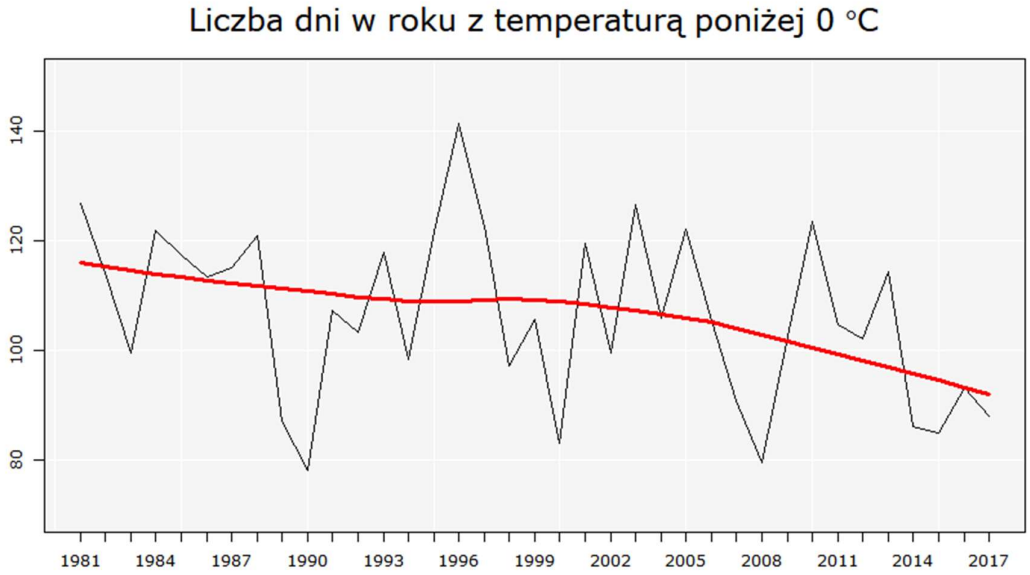
[4] Dni upalne – dni z dobową temperaturą maksymalną przekraczającą 30 °C

w roku 2015. Zwiększyła się również liczba nocy tropikalnych, tj. przypadków z minimalną temperaturą powyżej 20 °C w okresie doby.



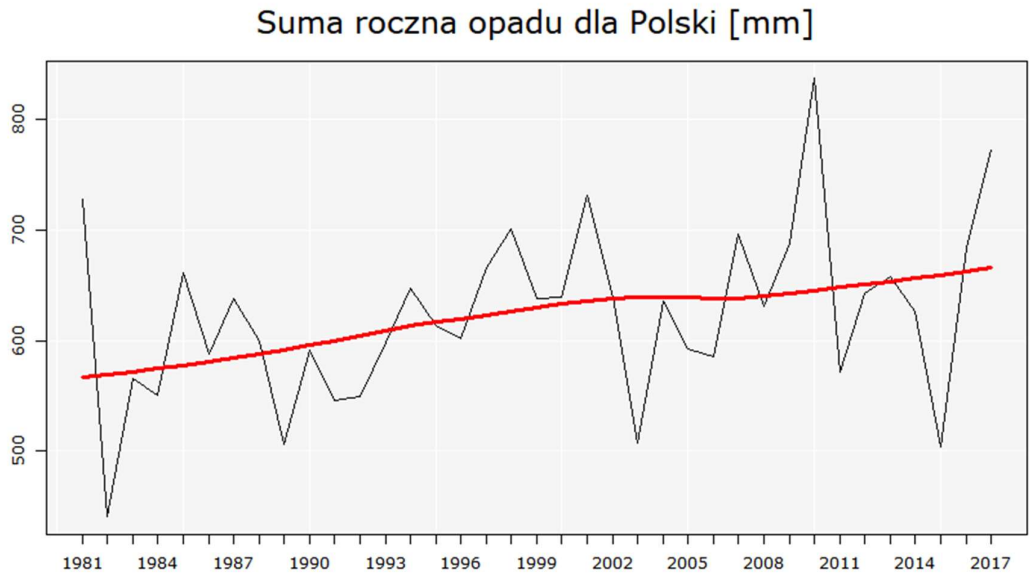
Rysunek 2. Anomalia liczby dni z maksymalną temperaturą powietrza powyżej 30 °C względem średniej z okresu 1981-2017

W chłodnej porze roku wyraźny jest także trend spadkowy liczby dni przymrozkowych średnio o 25 dni na przestrzeni 36 lat.



Rysunek 3. Liczba dni w roku ze średnią temperaturą powietrza poniżej 0 °C w okresie od 1981 do 2017 roku

Roczne sumy opadów w okresie od 1981 do 2017 wykazują również powolną tendencję wzrostową.



Rysunek 4. Suma roczna opadu w Polsce w horyzoncie od 1981 do 2017 roku

Przedstawione dane wskazują, że w analizowanym okresie przebieg temperatury i wysokości opadów w Polsce zmienia się w sposób zauważalnie istotny, zgodny z trendami przewidywanymi na podstawie globalnych projekcji zmian klimatu IPCC dla przełomu XX i XXI wieku.

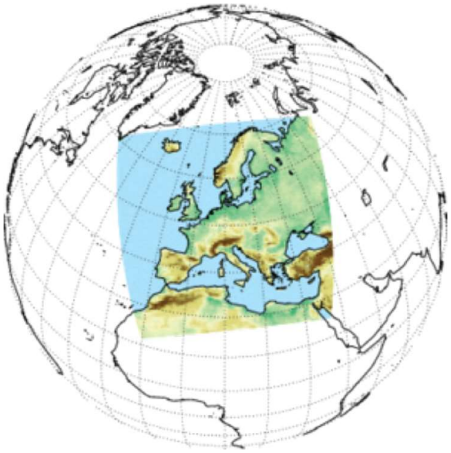
2. Metodyka opracowania projekcji klimatycznych

Wyniki globalnych modeli klimatu (ang. *GCM – Global Climate Models*) ze względu na niską rozdzielczość nie są wystarczające na potrzeby planowania działań adaptacyjnych w poszczególnych krajach. Do tego celu stosowane są regionalne modele klimatu (ang. *RCM – Regional Climate Models*) wykorzystujące technikę dynamicznego skalowania pozwalającą zwiększyć rozdzielczość przestrzenną (ang. dynamical downscaling). Aby polepszyć odzwierciedlenie cech lokalnych, wyniki prognoz regionalnych można poddać dalszemu procesowi skalowania statystycznego z wykorzystaniem dostępnych obserwacji.

Informację referencyjną dla opracowań scenariuszy zmian klimatu stanowią symulacje z wykorzystaniem modeli globalnych, będące podstawą opracowania Raportów Oceny IPCC. Przedstawione tu wyniki pochodzą ze zbioru Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5)[5]. Na bazie tych danych powstają projekcje regionalne w ramach międzynarodowej inicjatywy CORDEX[6], której częścią dla obszaru Europu jest EuroCORDEX[7]. Wyniki regionalnych modeli klimatu dostępne w repozytorium EuroCORDEX stanowią dane wejściowe do badań nad regionalnymi oddziaływaniami zmian klimatu w różnych sektorach w większości krajów europejskich.

Wykorzystując liczne doświadczenia krajów europejskich, warunki przyszłego klimatu dla obszaru Polski określono na postawie wyników symulacji klimatycznych wykonanych w ramach projektu EuroCORDEX, dla okresu 2006-2100. Wykorzystano dostępne symulacje regionalnymi modelami klimatu, dla obszaru obejmującego całą Europę, w rozdzielczości 0.11 ^{o} (ok. 12,5km).

[5] https://www.wcrp-climate.org/wgcm-cmip/wgcm-cmip5
[6] https://www.cordex.org/
[7] http://www.euro-cordex.net



Rysunek 5.

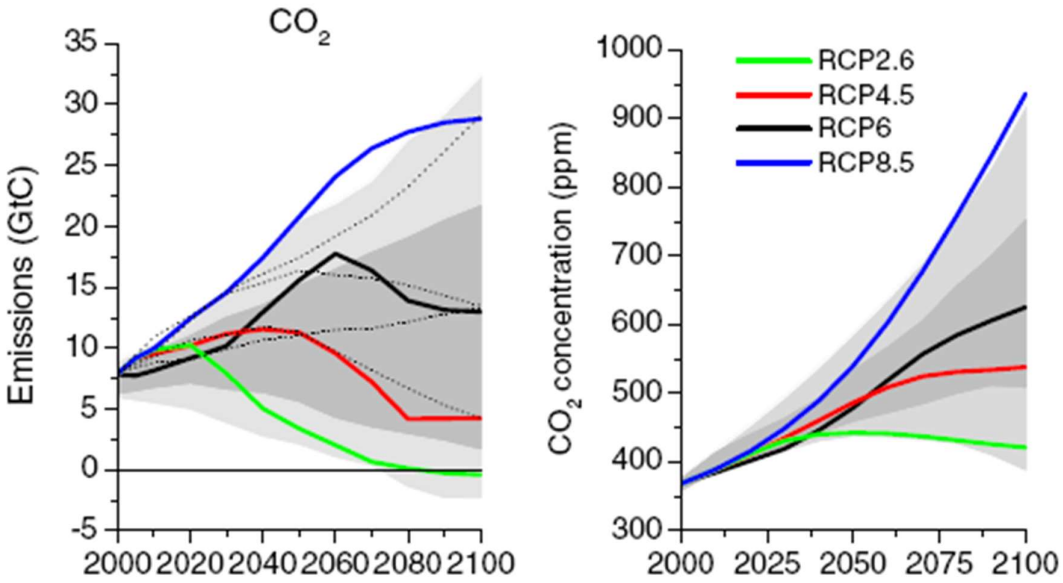
Domena obliczeniowa EuroCORDEX (źródło: https://euro-cordex.net/)

Zmiany klimatu zależą od bardzo wielu czynników globalnych, wśród których jednym z najistotniejszych jest ilość gazów cieplarnianych w atmosferze. Zgodne z wynikami analiz Międzyrządowego Panelu ds. Zmian Klimatu to gazy cieplarniane (głównie dwutlenek węgla) odpowiadają za obserwowany wzrost temperatury w wielu miejscach na świecie. W ostatnim 60-leciu średnie stężenie dwutlenku węgla w atmosferze wzrosło od 315 do ponad 410 milionowych części objętości (ppm) i rośnie o około 2 ppm/rok. Aby prognozować zmiany temperatury i innych parametrów klimatycznych naukowcy starają się przewidzieć tempo zwiększania się zawartości gazów cieplarnianych w atmosferze. W celu uchwycenia niepewności, wynikających z możliwych alternatywnych ścieżek rozwoju gospodarczego i socjo-ekonomicznego, rozważane są różne, uzgodnione międzynarodowo, scenariusze rozwoju, które co kilka lat podlegają uaktualnieniu[8].

Analizy zmian temperatury i opadu dla Polski przeprowadzono dla dwóch scenariuszy rozwoju opisanych akronimami RCP4.5 oraz RCP8.5[9]. Umiarkowany scenariusz RCP4.5 zakłada dalszy wzrost stężeń CO_2, odpowiednio do 540 ppm w r. 2100 oraz osiągnięcie wymuszenia radiacyjnego na poziomie 4.5 W/m^2, zaś scenariusz ekstrapolacyjny RCP8.5 odpowiada wzrostowi stężeń CO_2 do 940 ppm w r. 2100 i ciągły wzrost wymuszenia radiacyjnego do poziomu 8.5 W/m^2.

[8] http://www.iiasa.ac.at/web-apps/tnt/RcpDb

[9] http://www.iiasa.ac.at/web-apps/tnt/RcpDb



Rysunek 6. Różnice projekcji emisji CO2 (lewy panel) i prognozowanych stężeń CO2 (prawy panel) pomiędzy różnymi scenariuszami RCP przedstawia. Obszar zacieniowany odpowiada 98 i 90 percentylowi (jasny i ciemny szary) (źródło: van Vuuren et. al. (2011)

2.1. Wyniki modeli klimatu

Podstawowe parametry meteorologiczne pozwalające na określenie ekspozycji i wrażliwości na zmiany klimatu to:

- Temperatura średniodobowa [°C]
- Temperatura maksymalna dobowa [°C]
- Temperatura minimalna dobowa [°C]
- Dobowa suma opadu [mm/doba]

Z repozytorium EuroCORDEX pobrano wszystkie dostępne wyniki modeli dla powyższych czterech parametrów. Dla każdego parametru dostępne było kilkanaście realizacji. Pojedyncza unikatowa seria obliczeń jest jednoznacznie określona poprzez wskazanie pary: modelu regionalnego klimatu (RCM) wykorzystanego jako narzędzie obliczeniowe do skalowania dynamicznego oraz modelu globalnego klimatu (GCM), którego wyniki zostały wykorzystane jako tzw. warunki brzegowe do symulacji.

Do obliczenia prognoz zmian klimatu dla Polski zastosowano dodatkowo skalowanie statystyczne na podstawie historycznych danych bazujących na obserwacjach oraz podejście wiązkowe pozwalające na ocenę niepewności projekcji.

2.2. Historyczne dane meteorologiczne

Jako dane pomiarowe, pozwalające na zastosowanie technik skalowania statystycznego wykorzystano uzgodnione przestrzennie do siatki regularnej pola temperatury i opadu, pochodzące z obserwacji naziemnych lub reanaliz:

- IMGW - dane przygotowane na potrzeby pracy przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy[10]
- E-OBS[11] - dane w rozdzielczości dobowej obejmujące pole sumy opadu oraz pola temperatury minimalnej, średniej i maksymalnej w Europie w oparciu o informacje z repozytorium ECA&D (European Climate Assessment & Dataset)
- Reanaliza ERA5[12] - stworzona w oparciu o metodę asymilacji danych 4DVar z CY41R2 systemu Integrated Forecast System (IFS) przez Europejskie Centrum Prognoz Średnioterminowych (ECMWF)
- Reanaliza UERRA (ang. Uncertainties in Ensembles of Regional ReAnalyses)[13] - eksperymentalna reanaliza regionalna dla Europy uwzgledniająca podejście wiązkowe

2.3. Statystyczne skalowanie projekcji klimatycznych (downscaling)

Dla każdej realizacji pobranej z repozytorium EuroCORDEX wykonano statystyczne skalowanie względem każdego zbioru danych bazujących na obserwacjach, dla okresu odniesienia 2006-2018.

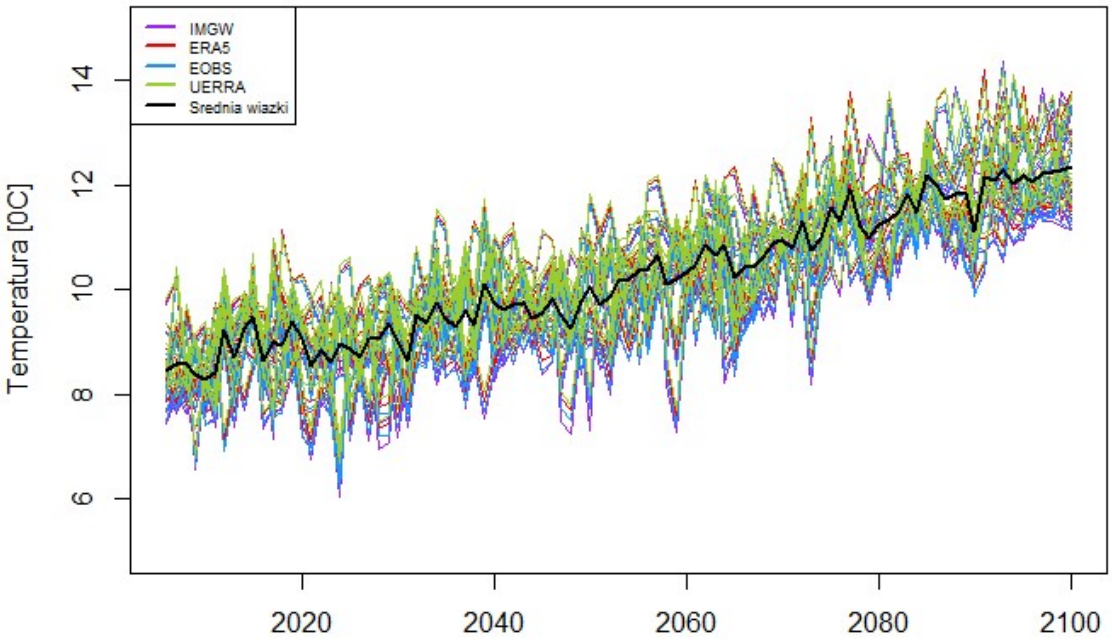
Na podstawie zależności ustalonych indywidualnie dla każdego modelu na podstawie okresu referencyjnego wykonano skalowanie dla do roku 2100. W wyniku zastosowania statystycznego skalowania uzyskano redukcję błędu średniego oraz lepsze przybliżenie rozkładu prawdopodobieństwa.

Po wykonaniu statystycznego skalowania powstały niezależne zestawy prognoz bazujące na opisanych powyżej różnych danych obserwacyjnych. Przeprowadzono analizę rozrzutu wyników dla poszczególnych modeli (ang. *ensemble spread*) analizę błędów względem danych obserwacyjnych.

Rysunek 7 przedstawia przykładowy przebieg temperatur średnich rocznych prognozowanych przez indywidualne regionalne modele klimatu, po zastosowaniu procedury statystycznego skalowania z wykorzystaniem wszystkich danych referencyjnych oraz scenariusz finalny, obliczony jako średnia z poszczególnych realizacji dla scenariusza RCP8.5. Czarna linia

[10] http://www.imgw.pl/
[11] https://www.ecad.eu/download/ensembles/download.php
[12] https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era5
[13] http://www.uerra.eu/

przedstawia projekcję wynikową, będącą średnią artymetyczną wszystkich realizacji, zaś niepewność obliczono jako odchylenie standardowe.



Rysunek 7. Finalna projekcja temperatury średniej rocznej na podstawie scenariusza RCP8.5

3. Prognozowane zmiany temperatury i opadu

Na podstawie dobowych wartości czterech podstawowych parametrów (temperatury średniej, temperatury minimalnej, temperatury maksymalnej i wysokości opadu) obliczony został zestaw indeksów klimatycznych służących do oceny narażenia na zmiany warunków termicznych i opadowych – zarówno średnich, jak ekstremalnych. Zmiany w warunkach przyszłego klimatu przedstawione zostały opisane poprzez przybliżenie trendu czasowego 10-letnią średnią kroczącą oraz - w ujęciu przestrzennym - jako różnice dla wybranych indeksów pomiędzy dekadą 2051 - 2060 a 2011 - 2020.

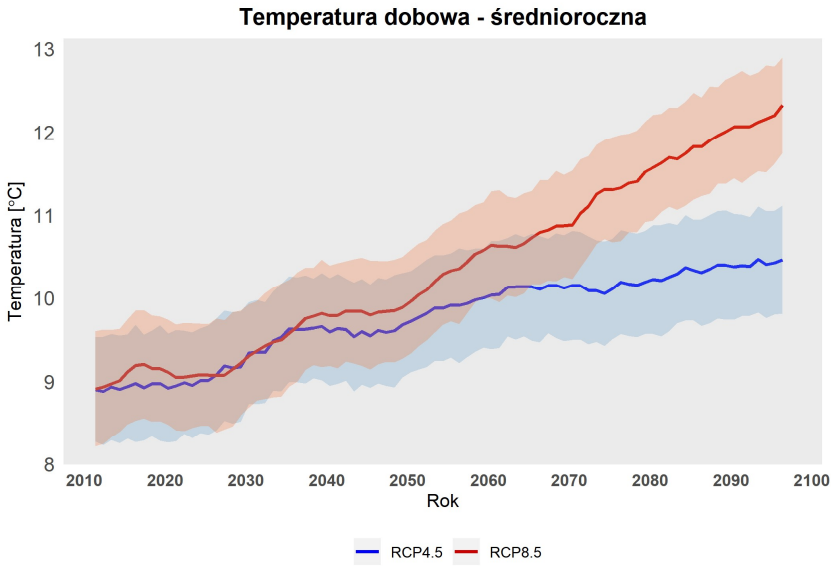
3.1. Zmiany temperatury

Analizie poddano następujące wskaźniki klimatyczne związane z temperaturą:

- Temperatura średnia roczna i rozkład temperatur średnich miesięcznych
- Liczba dni okresu wegetacyjnego (Tśr > 5 °C)
- Liczba dni upalnych (Tmax > 30 °C)
- Liczba nocy tropikalnych (Tmin > 20 °C)
- Liczba dni przymrozkowych (Tmin < 0 °C)
- Liczba dni mroźnych (Tmax < 0 °C)

3.1.1. TEMPERATURA ŚREDNIA ROCZNA

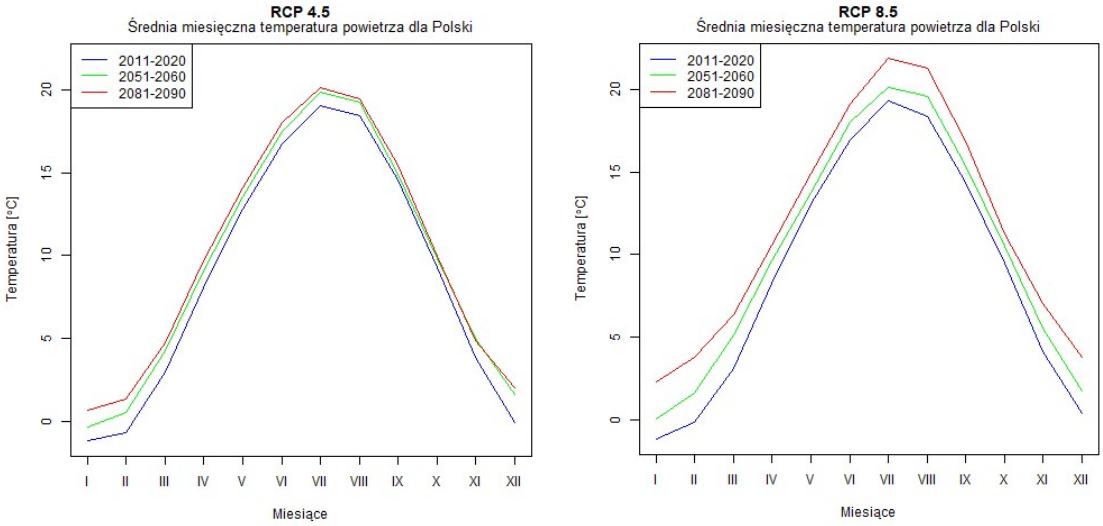
Według scenariuszy RCP4.5 i RCP8.5 średnia roczna temperatura powietrza w badanym horyzoncie czasowym wykazuje tendencję wzrostową. W scenariuszu RCP4.5 najsilniejszy trend wzrostowy średniej rocznej temperatury powietrza, opisany 10-letnią średnią kroczącą, zaznacza się w okresie lat 2020 - 2035. Według scenariusza RCP4.5 temperatura średnia roczna na terenie Polski wzrośnie w ciągu stulecia o 1,3 °C. Według scenariusza RCP8.5 trend wzrostowy średniej rocznej temperatury jest znacznie silniejszy. Najszybszy wzrost prognozowany jest w latach 2025 - 2040, po czym na około dekadę ulega stabilizacji. Po roku 2050 temperatura średnia roczna wykazuje silny trend wzrostowy prowadzący do zwiększenia średnich rocznych temperatur na obszarze Polski o ponad 3 °C w stosunku do bieżącej dekady. O ile do roku 2035 zmiany temperatury w obu scenariuszach są dość zbieżne, w drugiej połowie XXI w. prognozowane zmiany temperatury dla scenariusza RCP8.5 są zdecydowanie większe.



Rysunek 8.

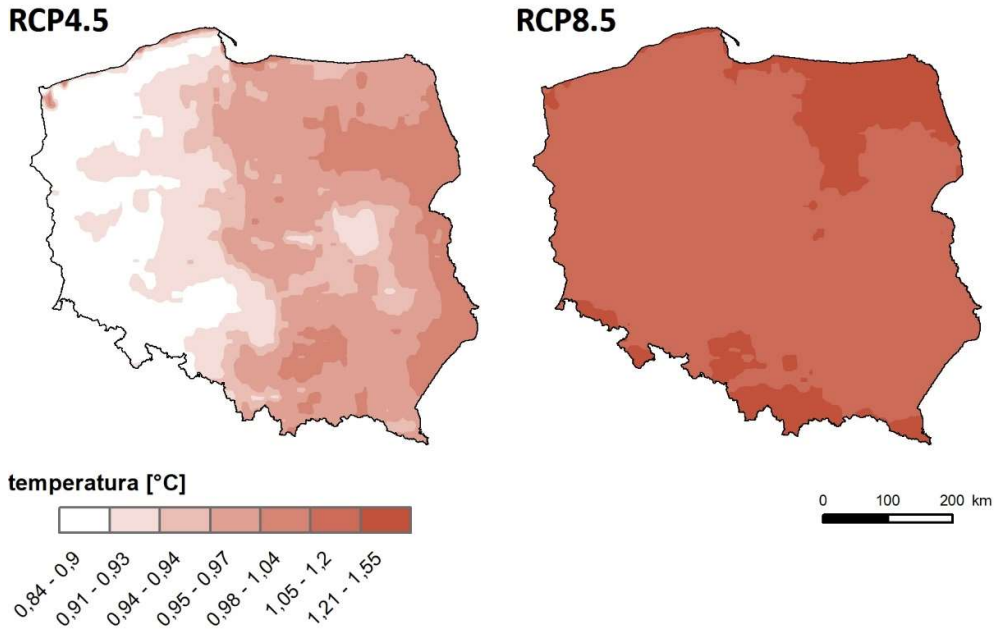
Trend temperatury średniej rocznej obliczony jako 10-letnia średnia krocząca, uśredniony dla obszaru Polski, w okresie 2006 - 2100 na podstawie skorygowanej wiązki modeli klimatu z repozytorium EURO-CORDEX (EUR_11) dla scenariusza RCP4.5 i RCP8.5

W odniesieniu do zmiany rozkładu średnich miesięcznych temperatur, uśrednionych dla obszaru Polski, dla obu scenariuszy RCP w kolejnych dziesięcioleciach zaznacza się wzrost temperatury we wszystkich sezonach. W przypadku RCP4.5 największe zmiany są prognozowane w miesiącach zimowych (grudzień, styczeń, luty) oraz letnich (czerwiec, lipiec, sierpień). W pozostałych miesiącach zmiana jest relatywnie niewielka, choć niewielki trend wzrostowy jest zachowany. O ile zmiana w dziesięcioleciu 2051-2060 jest znacząca w stosunku do klimatu bieżącego (2011-2020), okres 2081-2090 wykazuje relatywnie niewielkie wzrosty, głównie w okresie od stycznia do lutego. W przypadku scenariusza RCP8.5 wzrosty temperatur w kolejnych dziesięcioleciach występują we wszystkich miesiącach, a największy wzrost temperatury dotyczy, podobnie jak w scenariuszu RCP4.5, miesięcy letnich i zimowych.



Rysunek 9. Rozkład średnich miesięcznych temperatur, uśrednionych na obszarze Polski, dla scenariuszy RCP4.5 (lewy panel) i RCP8.5 (prawy panel) dla dziesięcioleci 2011-2020 (niebieska linia), 2051-2060 (zielona linia) i 2081-2090 (czerwona linia)

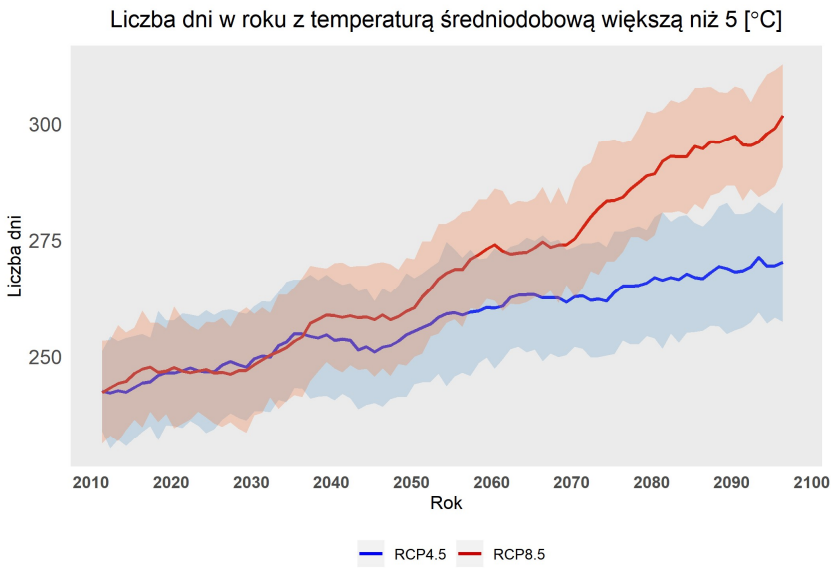
W połowie XXI w., w scenariuszu RCP4.5 wzrost średniej dobowej temperatury powietrza ma charakter południkowy. Najmniejsze zmiany wystąpią na zachodzie kraju, a różnica temperatur rośnie w kierunku wschodnim. W przypadku zamian temperatury według scenariusza RCP8.5 rozkład przestrzenny jest bardziej jednorodny. Praktycznie na terenie całej Polski wzrost wystąpi na poziomie około 1 °C, zaś w obszarach górskich i północno-wschodniej części kraju zmiany są bardziej znaczące.



Rysunek 10. Różnica temperatury średniej rocznej na wysokości 2m, według scenariuszy RCP4.5 (lewy panel) i RCP8.5 (prawy panel) miedzy dziesięcioleciem 2051 - 2060 a 2011-2020

3.1.2. LICZBA DNI OKRESU WEGETACYJNEGO

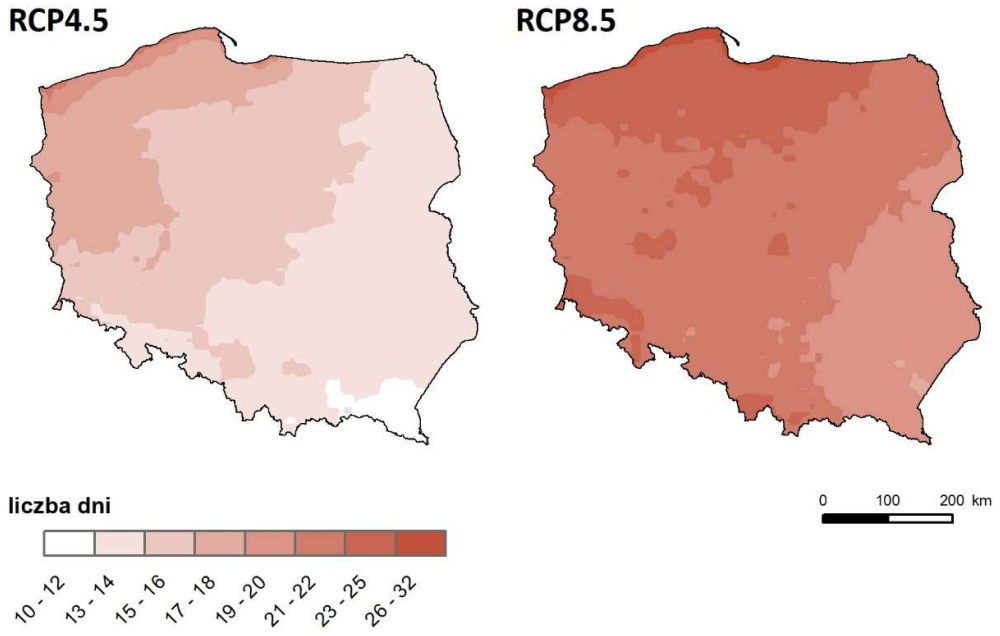
Według scenariuszy RCP4.5 i RCP8.5 średnia roczna liczba dni okresu wegetacyjnego (z temperaturą średniodobową powyżej 5°C) wykazuje tendencję wzrostową. Według scenariusza RCP4.5 liczba takich dni na terenie Polski wzrośnie w ciągu stulecia średnio o około 20 dni. W przypadku scenariusza RCP8.5 trend wzrostowy liczby dni wegetacyjnych jest znacznie silniejszy. Najszybszy wzrost prognozowany jest w latach 2025 - 2035. Po roku 2050, liczba dni wegetacyjnych wskazuje na możliwy silny trend wzrostowy liczby tych dni na obszarze Polski o ponad 60 dni w stosunku do bieżącej dekady.



Rysunek 11.

Liczba dni wegetacyjnych (Tsr > 5 °C), uśredniona dla obszaru Polski, w okresie 2006-2100, jako 10-letnia średnia krocząca, na podstawie skorygowanej wiązki modeli klimatu z repozytorium EURO-CORDEX (EUR_11) dla scenariusza RCP4.5 i RCP8.5

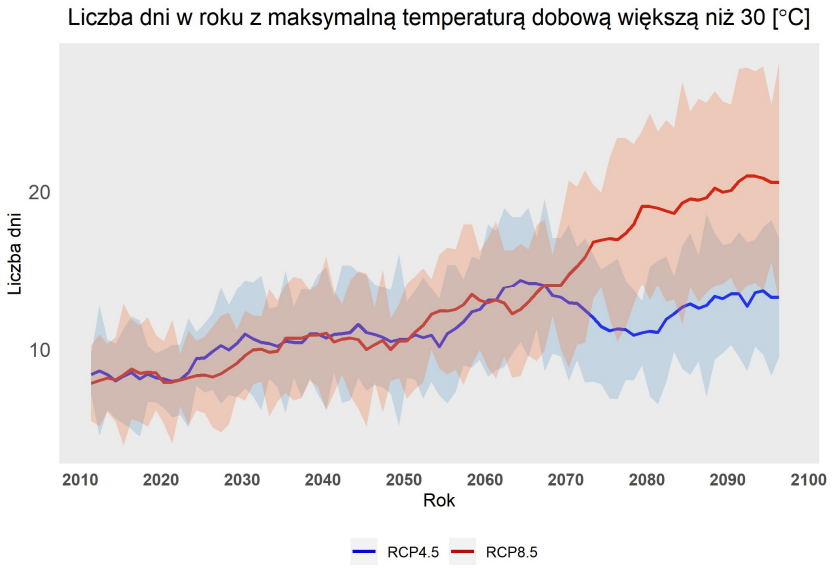
Rozkład przestrzenny zmiany liczby dni okresu wegetacyjnego zmienia się z północnego zachodu na południowy wschód. Najsilniejszy wzrost liczby dni z temperaturą średnią dobową powyżej 5 °C wystąpi na zachodzie kraju oraz wzdłuż pobrzeża Morza Bałtyckiego, natomiast najsłabszy na wschodzie i południowym wschodzie. W przypadku obu scenariuszy rozkład przestrzenny jest podobny, jednakże w scenariuszu RCP8.5 wzrost liczby dni okresu wegetacyjnego jest większy o około 10 dni.



Rysunek 12. Różnica liczby dni wegetacyjnych z Tsr > 5 °C, według scenariuszy RCP4.5 (lewy panel) i RCP8.5 (prawy panel) pomiędzy dziesięciolecia 2051 - 2060 a 2011 - 2020

3.1.3. LICZBA DNI UPALNYCH

Trend liczby dni upalnych[14], według obu scenariuszy ma charakter wzrostowy.
W scenariuszu RCP4.5 do roku 2025 liczba ta zmienia się jeszcze nieznacznie, bardziej znaczący wzrost wystąpić ma w latach 2025 - 2035 i 2055 - 2065. Pod koniec stulecia liczba dni upalnych może już jednak wzrosnąć dwukrotnie. Według scenariusza RCP8.5 trend wzrostowy liczby dni upalnych do roku 2055 jest dość zbliżony do prognozowanego dla scenariusza RCP4.5.
W kolejnych dekadach w scenariuszu RCP8.5 przyrost liczby dni upalnych jest znacznie silniejszy, a pod koniec stulecia liczba dni upalnych zwiększa się ponad trzykrotnie.

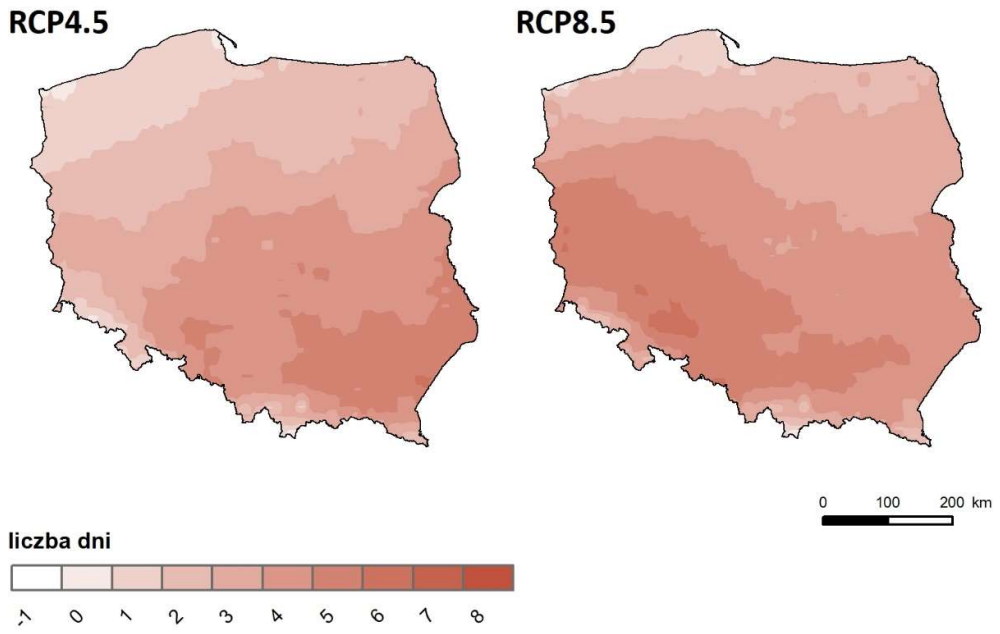


Rysunek 13.

Liczba dni upalnych (Tmax > 30 °C) uśredniona dla obszaru Polski w okresie 2006 - 2100, jako 10-letnia średnia krocząca, na podstawie skorygowanej wiązki modeli klimatu z repozytorium EURO-CORDEX (EUR_11) dla scenariusza RCP4.5 i RCP8.5

Rozkład przestrzenny zmiany dni upalnych wykazuje charakter strefowy równoleżnikowy. W obu scenariuszach zaznacza się wyraźny wzrost tego indeksu zwłaszcza w centrum i na południu kraju z wyjątkiem obszarów górskich. W obu scenariuszach, obszar występowania dni upalnych zwiększa się w przyszłym klimacie ku południowi, choć obszary maksymalnych wzrostów liczny dni upalnych są odmienne. W scenariuszu RCP4.5 jest to południowy wschód, zaś w scenariuszu RCP8.5 - południe i południowy zachód kraju, wzdłuż doliny Odry. Obszar, którego dotyczy znaczący wzrost liczby dni upalnych, jest większy dla scenariusza RCP8.5.

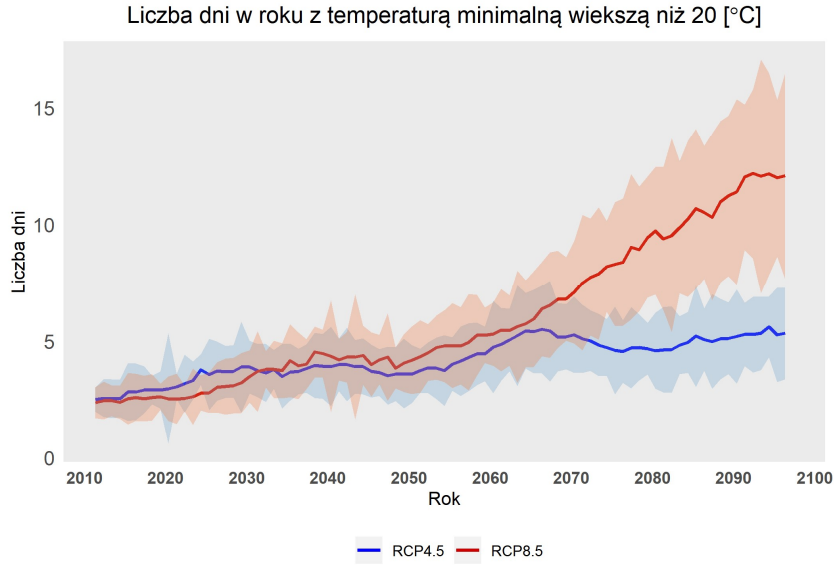
[14] Dni upalne – dni z dobową temperaturą maksymalną przekraczającą 30 °C



Rysunek 13. Różnica liczby dni upalnych (Tmax > 30 °C), według scenariuszy RCP4.5 (lewy panel) i RCP8.5 (prawy panel) pomiędzy dziesięcioleciem 2051 - 2060 a 2011 - 2020

3.1.4. LICZBA NOCY TROPIKALNYCH

Trend liczby nocy tropikalnych[15] w scenariuszu RCP4.5 wykazuje nieznaczny trend wzrostowy do roku 2050. W drugiej połowie XXI w. zaistnieje słaby trend wzrostowy, najsilniej zaznaczający się w dekadzie od 2055 od 2065. Według scenariusza RCP8.5 liczba nocy tropikalnych wykazuje stały trend wzrostowy. Do roku 2060 liczba nocy tropikalnych jest dość zbliżona dla obu scenariuszy. W kolejnych dekadach w scenariuszu RCP8.5 liczba nocy tropikalnych wzrasta sześciokrotnie w porównaniu do bieżącego dziesięciolecia.

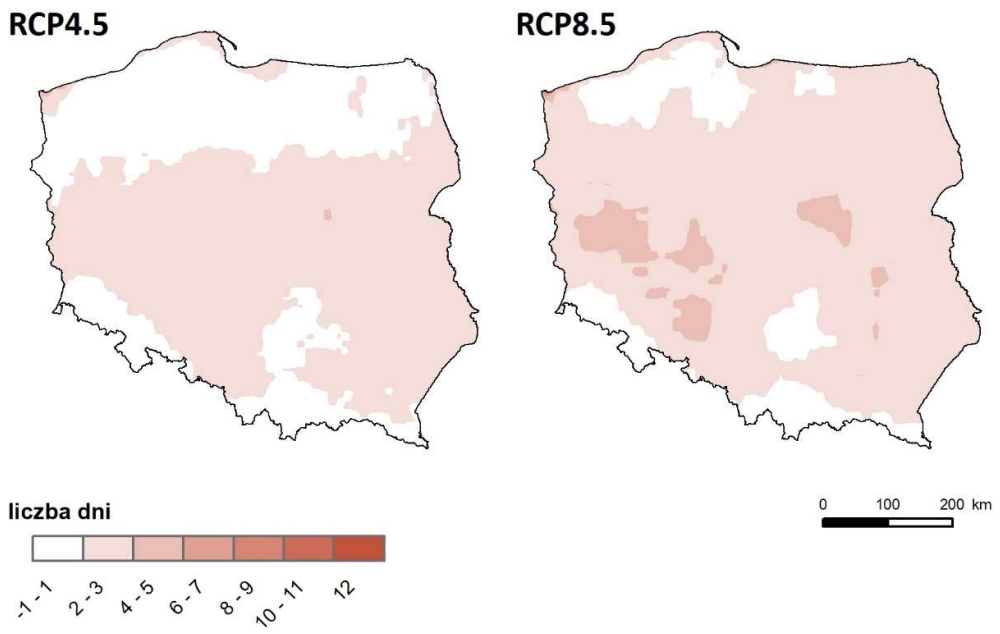


Rysunek 14.

Liczba nocy tropikalnych (Tmin > 20 °C), uśredniona dla obszaru Polski w okresie 2006 - 2100, jako 10-letnia średnia krocząca, na podstawie skorygowanej wiązki modeli klimatu z repozytorium EURO-CORDEX (EUR_11) dla scenariusza RCP4.5 i RCP8.5

[15] Noce tropikalne – dni z dobową temperaturą minimalną przekraczającą 20 °C

Obecnie, liczba nocy tropikalnych w Polsce jest relatywnie niska. W obu scenariuszach liczba nocy tropikalnych wzrasta. W przypadku scenariusza RCP4.5 trend ten jest niewielki, a zwiększenie liczby wystąpień wysokich temperatur w godzinach nocnych wystąpi głównie w centrum Polski. W przypadku scenariusza RCP8.5 trend wzrostowy dotyczy niemal całego obszary kraju i jest wyższy lokalnie od scenariusza RCP4.5, głównie w centrum i na południowym zachodzie.

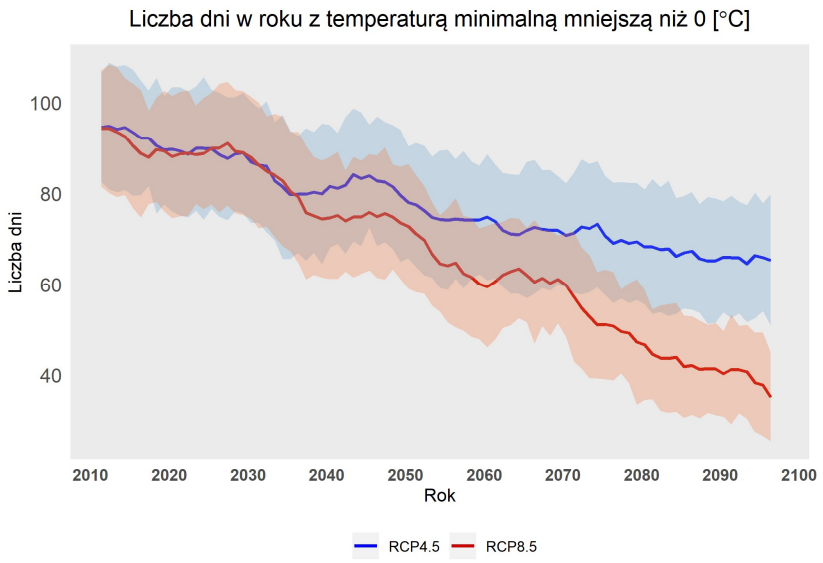


Rysunek 15. Różnica liczby nocy tropikalnych (Tmin > 20 °C), według scenariuszy RCP4.5 (lewy panel) i RCP8.5 (prawy panel) pomiędzy dziesięcioleciem 2051 - 2060 a 2011 - 2020

3.1.5. LICZBA DNI PRZYMROZKOWYCH

Trend liczby dni przymrozkowych[16] w przypadku obu scenariuszy wykazuje trend spadkowy. Dla scenariusza RCP4.5 wartość tego indeksu systematycznie maleje. W ostatniej dekadzie XXI w. liczba takich dni spadnie z ok. 95 do ok. 70. Według scenariusza RCP8.5 trend spadkowy liczby dni przymrozkowych jest bardziej znaczący. Do roku 2035 zmienność tego parametru jest zbliżona dla obu scenariuszy. W kolejnych dekadach w scenariuszu RCP8.5 liczba dni przymrozkowych maleje o ok. 60 dni w porównaniu do bieżącego dziesięciolecia.

[16] Dni przymrozkowe – dni z dobową temperaturą minimalną poniżej 0 °C



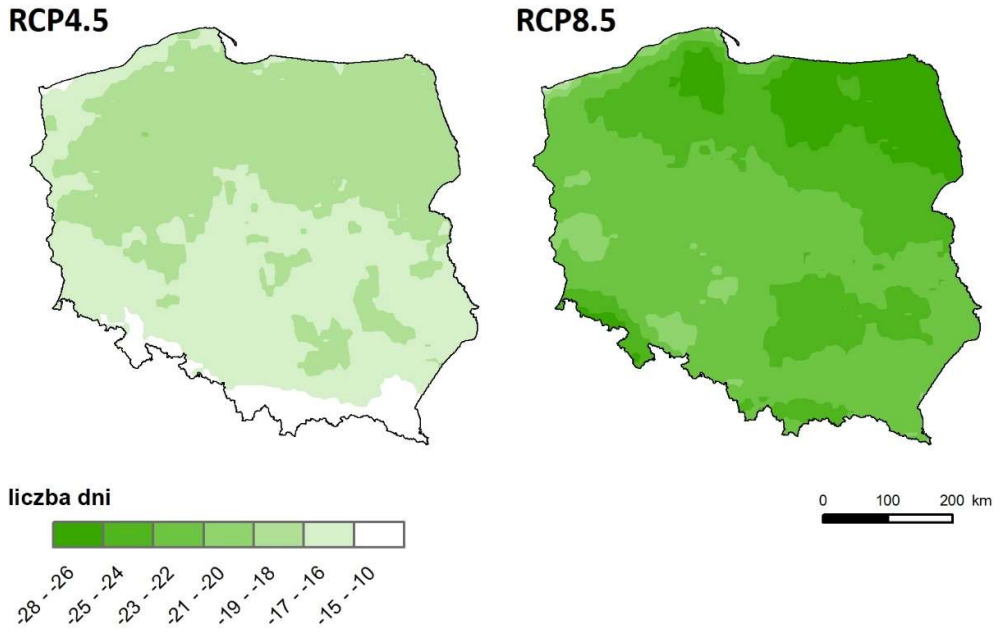
Rysunek 16.

Zmiana liczby dni przymrozkowych uśrednionych na obszarze Polski w okresie 2006 - 2100, jako 10-letnia średnia krocząca, na podstawie skorygowanej wiązki modeli klimatu z repozytorium EURO-CORDEX (EUR_11) dla scenariusza RCP4.5 i RCP8.5

Liczba dni przymrozkowych w obu scenariuszach wykazuje trend malejący. Rozkład przestrzenny w przypadku scenariusza RCP4.5 wykazuje przebieg równoleżnikowy. Największe zmiany wystąpią na północy kraju, natomiast najmniejsze na krańcach południowych.

W przypadku scenariusza RCP8.5 największy spadek liczby dni przymrozkowych prognozowany jest na północy i północnym wschodzie Polski i zmniejsza się w kierunku zachodnim.

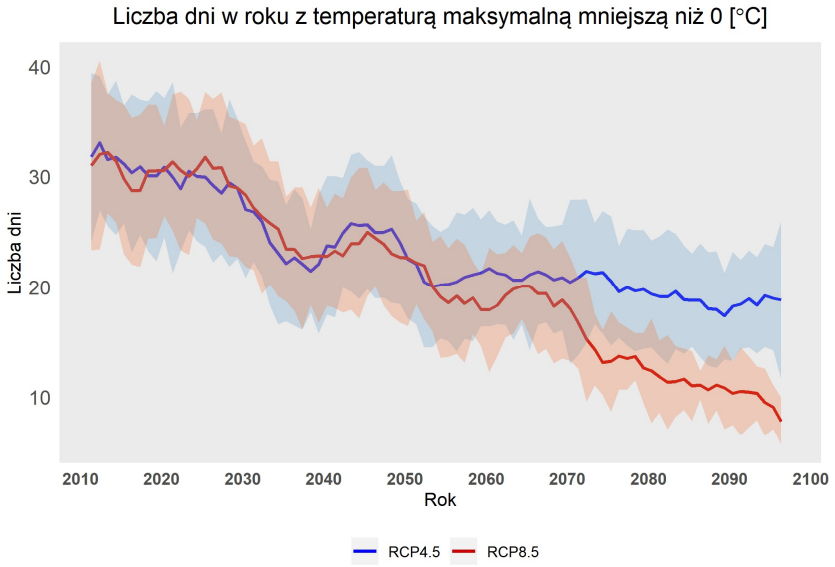
W scenariuszu RCP8.5 prognozowana liczba dni przymrozkowych jest niższa o około 5 dni niż w scenariuszu RCP4.5.



Rysunek 17. Różnica liczby dni przymrozkowych (Tmin < 0 °C), według scenariuszy RCP4.5 (lewy panel) i RCP8.5 (prawy panel) pomiędzy dziesięcioleciem 2051 - 2060 a 2011 - 2020

3.1.6. LICZBA DNI MROŹNYCH

Trend liczby dni mroźnych[17] w przypadku obu scenariuszy wykazuje trend spadkowy. W scenariuszu RCP4.5 wartości tego indeksu systematycznie maleją do roku 2035. W drugiej połowie XXI w. również zaznacza się słaby trend malejący. Według scenariusza RCP8.5 do roku 2050 zmienność tego parametru jest zbliżona dla obu scenariuszy. W kolejnych dekadach w scenariuszu RCP8.5 liczba dni mroźnych maleje. Znaczący spadek – z ok. 20 dni do ok. 10 dni dotyczy zwłaszcza okresu od 2070 do 2100.

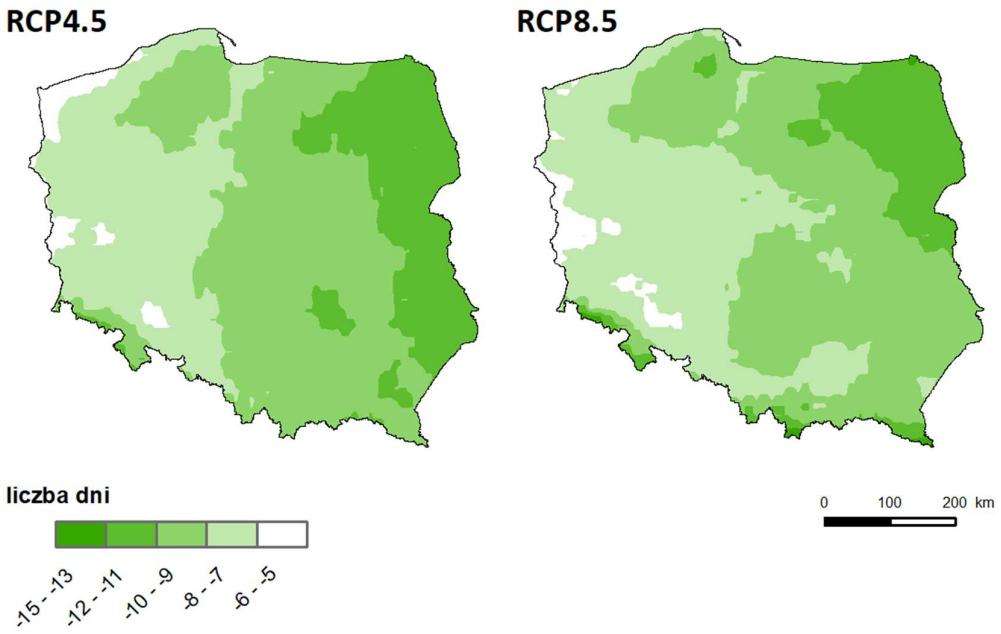


Rysunek 18.

Zmiana liczby dni mroźnych, uśrednionych na obszarze Polski, w okresie 2006 - 2100, jako 10-letnia średnia krocząca, na podstawie skorygowanej wiązki modeli klimatu z repozytorium EURO-CORDEX (EUR_11) dla scenariusza RCP4.5 i RCP8.5

W połowie XXI w. rozkład przestrzenny różnic liczby dni mroźnych wykazuje przebieg południkowy. Największa redukcja przypadków wystąpienia dni, w których w ciągu całej doby temperatura jest ujemna, zaznacza się we wschodniej i północno-wschodniej części Polski. Wielkość redukcji liczny dni mroźnych jest w dekadzie 2051 - 2060 zbliżona dla obu scenariuszy.

[17] Dni mroźne – dni z dobową temperaturą maksymalną poniżej 0 °C



Rysunek 19. Różnica liczby dni mroźnych (Tmax < 0 °C), według scenariuszy RCP4.5 (lewy panel) i RCP8.5 (prawy panel) pomiędzy dziesięcioleciem 2051 - 2060 a 2011 – 2020

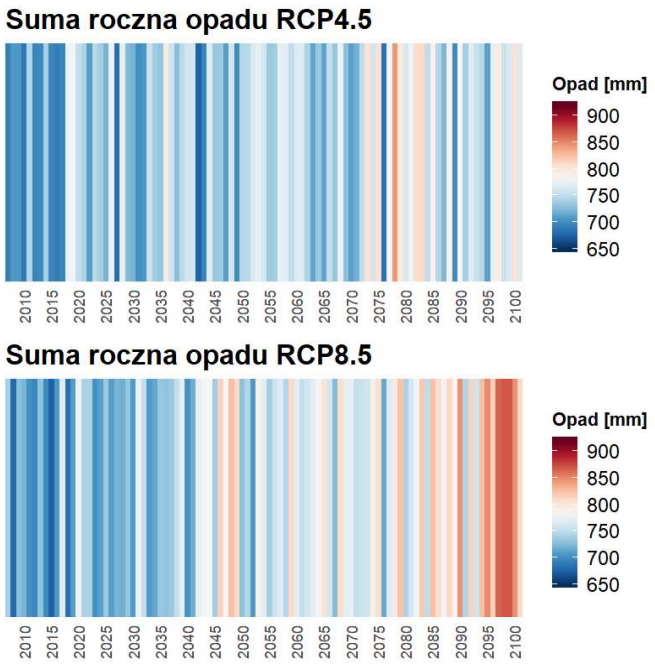
3.2. Zmiany opadu

Zmiany wysokości opadu poddano analizie na podstawie następujących wskaźników klimatycznych:

- Suma roczna opadu
- Liczba dni z opadem dobowym ≥ 1 mm/d
- Liczba dni z opadem dobowym > 20 mm/d
- Liczba dni bez opadu

3.2.1. SUMA OPADU

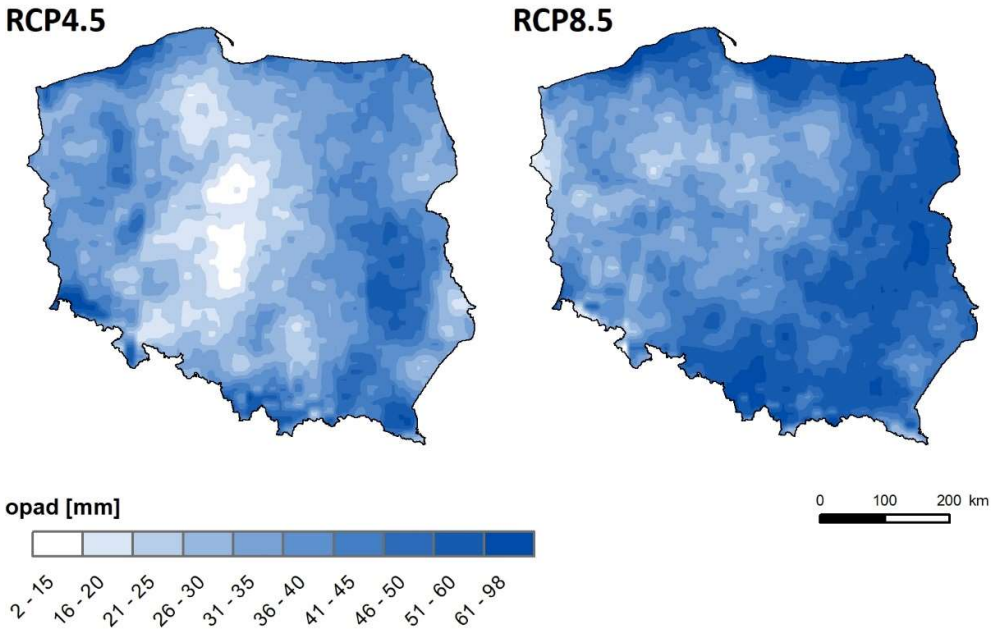
Roczna suma opadów według scenariusza RCP4.5 do roku 2065 nie ulegnie znaczącym zmianom. Wystąpi nieznaczna tendencja wzrostowa oraz zmienność o charakterze cyklicznym w okresach kilkunastoletnich. Po tym okresie tendencja wzrostowa będzie silniejsza, przy zachowaniu wspomnianej cykliczności widocznej w przebiegu średnich rocznych wartości. Według scenariusza RCP8.5 do roku 2035 roczna suma opadu nieznacznie wzrośnie i będzie nieco niższa niż w RCP4.5. Od roku 2075 zaznacza się stały trend wzrostowy rocznej sumy opadu. Do końca XXI suma opadu wzrośnie w stosunku do warunków obecnych o ok. 50 mm rocznie dla RCP4.5 i ok. 100 mm rocznie dla RCP8.5.



Rysunek 20.

Suma roczna opadu, uśredniona dla obszaru Polski, jako wartości roczne w okresie 2006 - 2100, na podstawie skorygowanej wiązki modeli klimatu z repozytorium EURO-CORDEX (EUR_11) dla scenariusza RCP4.5 i RCP8.5

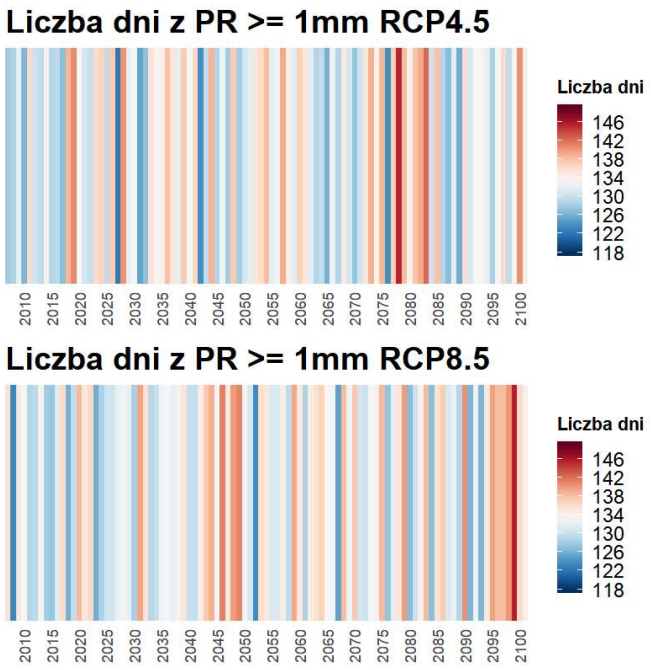
Analiza zmienności rocznej sumy opadów ma podobny rozkład przestrzenny dla obu scenariuszy. W centrum Polski wzrost sumy rocznej opadów jest najniższy. Najwyższe zmiany tego indeksu prognozowane są w północnej i wschodniej części kraju. Nieco wyższe wzrosty prognozowane są dla scenariusza RCP8.5



Rysunek 21. Różnica rocznej sumy opadu według scenariuszy RCP4.5 (lewy panel) i RCP8.5 (prawy panel) pomiędzy dziesięcioleciem 2051 – 2060, a 2011 - 2020

3.2.2. LICZBA DNI Z OPADEM DOBOWYM ≥ 1 MM

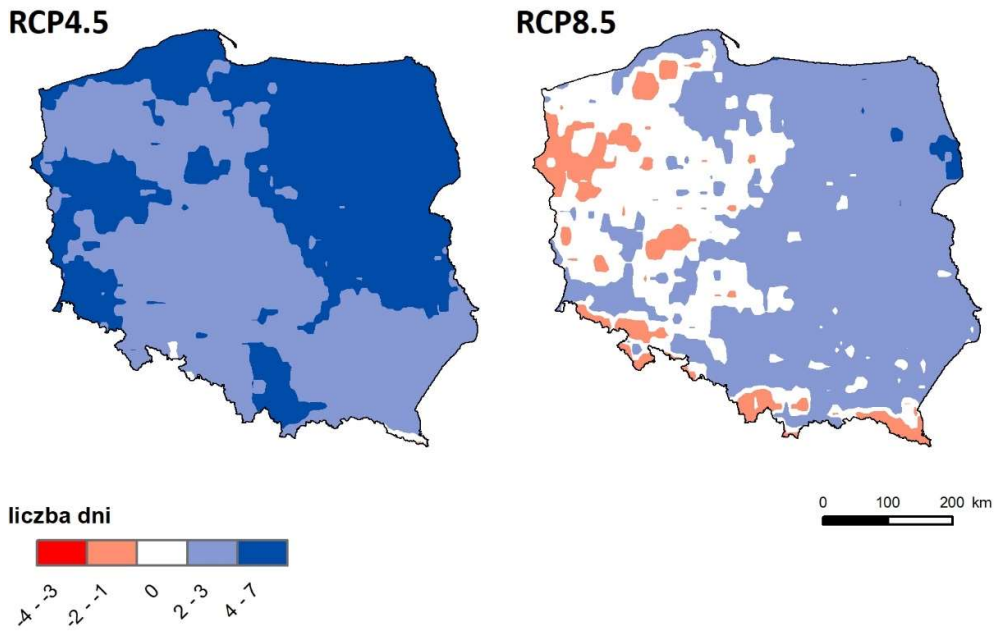
Liczba dni z opadem według obu scenariuszy wykazuje duże wahania międzyroczne w zakresie od 125 do 140. Jednocześnie, projekcje dla obu scenariuszy nie są zbieżne, co do trendu wyrażonego przebiegiem wartości sum rocznych. W scenariuszu RCP4.5 zaznacza się wieloletnia zmienność o charakterze cyklicznym i wzrastającej amplitudzie. W scenariuszu RCP8.5 nieznaczny trend rosnący liczby dni z opadem zaznacza się do 2045 roku, po czym do roku 2090 liczba dni z opadem nie zmienia się znacząco. Od roku 2090 w scenariuszu RCP8.5 występuje tendencja wzrostowa liczby dni z opadem.



Rysunek 22.

Liczba dni z opadem dziennym większym od 1 mm, uśredniona dla obszaru Polski jako wartości roczne w okresie 2006-2100, na podstawie skorygowanej wiązki modeli klimatu z repozytorium EURO-CORDEX (EUR_11) dla scenariusza RCP4.5 i RCP8.5

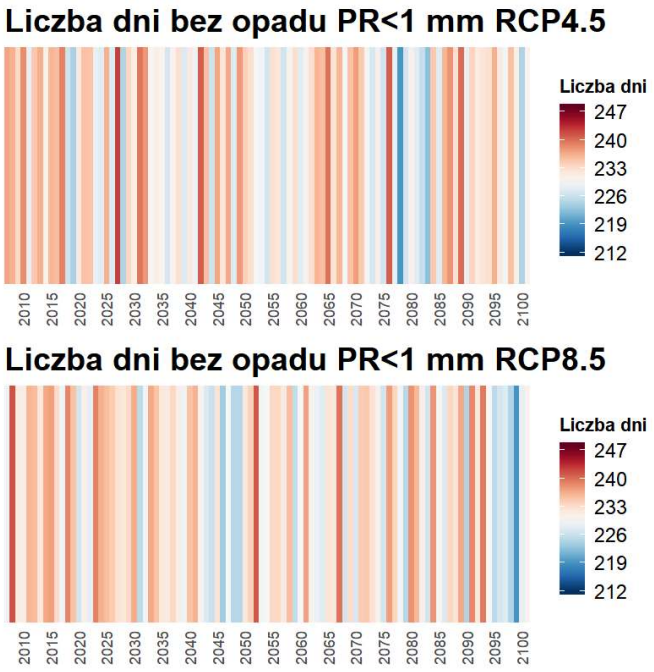
Liczba dni z opadem dobowym większym od 1 mm zgodnie ze scenariuszem RCP4.5 wykazuje nieznaczny wzrost w warunkach przyszłego klimatu. Rozkład przestrzenny jest jednolity na obszarze całego kraju. W przypadku scenariusza RCP8.5 we wschodniej części Polski prognozowany jest niewielki wzrost liczby dni z opadem. W zachodniej części kraju zmiany liczby dni z opadem są nieznaczne. Spadek liczby dni z opadem prognozowany jest lokalnie na zachodzie kraju oraz krańcach południowych.



Rysunek 23. Różnica liczby dni z opadem według scenariuszy RCP4.5 (lewy panel) i RCP8.5 (prawy panel) pomiędzy dziesięcioleciem 2051 - 2060 a 2011 - 2020

3.2.3. LICZBA DNI BEZ OPADU

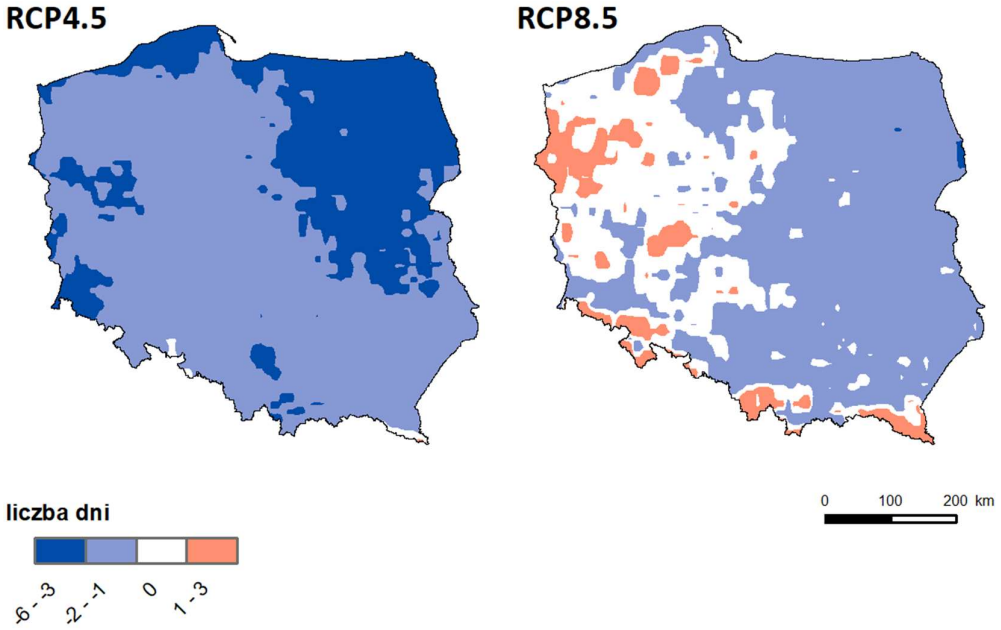
Charakter zmian liczby dni bez opadu wykazuje cechy przeciwne do liczby dni z opadem. Zakres zmienności waha się przeważnie od 225 do 240 dni dla obu scenariuszy. Przebieg średnich rocznych wartości w scenariuszu RCP4.5 charakteryzuje zmienność cykliczna odwrotna względem przebiegu liczby dni z opadem. W przypadku scenariusza RCP8.5 zaznacza się trend malejący liczby dni bez opadu do roku 2045. Po krótkotrwałym okresie wzrostu, wartość indeksu nie zmienia się znacząco do roku 2090. Od roku 2090 w scenariuszu RCP8.5 zaznacza się tendencja spadkowa występowania dni bez opadu.



Rysunek 24.

Liczba dni bez opadu (PR < 1 mm), uśredniona dla obszaru Polski jako wartości roczne w okresie 2006 - 2100, na podstawie skorygowanej wiązki modeli klimatu z repozytorium EURO-CORDEX (EUR_11) dla scenariusza RCP4.5 i RCP8.5

Rozkład przestrzenny liczby dni bez opadu w przypadku obu scenariuszy zmienia się w niewielkim stopniu. Zgodnie ze scenariuszem RCP4.5, liczba dni bez opadu będzie niższa na obszarze całego kraju. Natomiast w przypadku scenariusza RCP8.5 na wschodzie i w centrum Polski liczba w/w. dni nieznacznie zmaleje, a lokalnie na zachodzie i krańcach południowych kraju wzrośnie. Na części obszarów w środkowej i zachodniej Polsce pozostanie bez zmian.

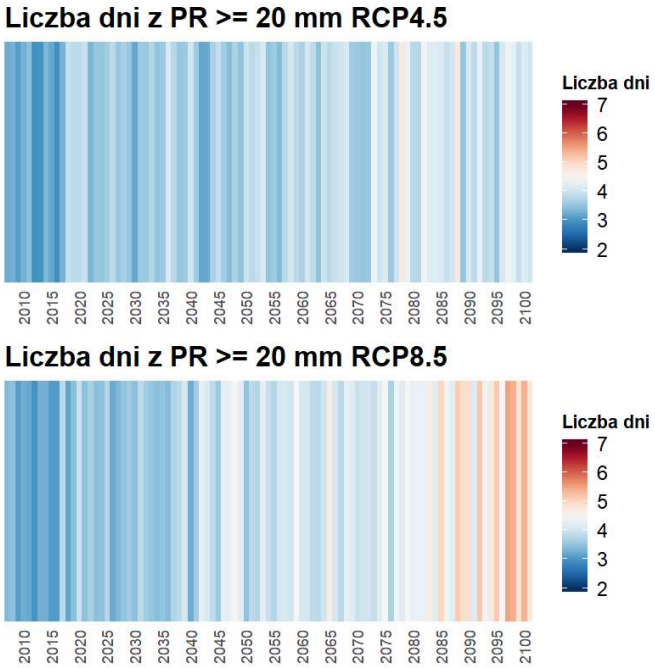


Rysunek 25. Różnica liczby dni bez opadu według scenariuszy RCP4.5 (lewy panel) i RCP8.5 (prawy panel) pomiędzy dziesięcioleciem 2051 - 2060 a 2011 - 2020

3.2.4. LICZBA DNI Z OPADEM EKSTREMALNYM > 20 MM

Trend liczba dni z opadem ekstremalnym powyżej 20 mm w ciągu doby dla obu scenariuszy ma charakter wzrostowy. W scenariuszu RCP4.5 w kolejnych dekadach do roku 2080 liczba dni z opadem ekstremalnym nieznacznie wzrasta. W ostatnich dwóch dekadach XXI w. wartość tego indeksu pozostaje na niezmienionym poziomie. Według scenariusza RCP8.5 trend wzrostowy liczby dni upalnych do roku 2035 jest zbliżony do prognozowanego w scenariuszu RCP4.5.

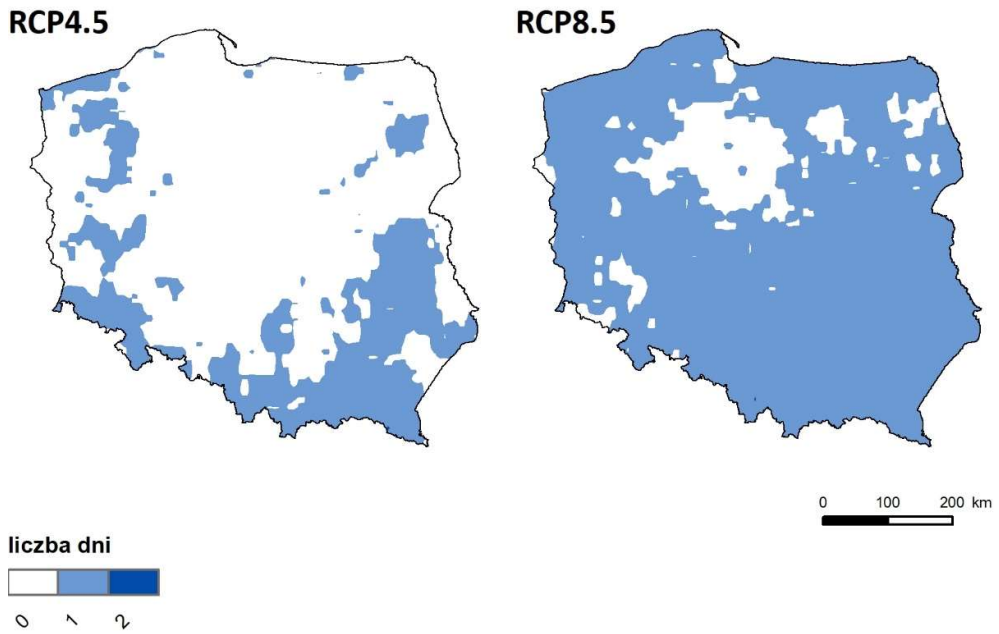
W kolejnych dekadach w scenariuszu RCP8.5 przyrost liczby dni z opadem ekstremalnym jest znacznie silniejszy.



Rysunek 26.

Liczba dni z sumą dobową opadu większą od 20 mm/d, uśredniona dla obszaru Polski jako wartości roczne w okresie 2006 - 2100, na podstawie skorygowanej wiązki modeli klimatu z repozytorium EURO-CORDEX (EUR_11) dla scenariusza RCP4.5 i RCP8.5

Według scenariusza RCP4.5 zmiana liczby dni z opadem dobowym powyżej 20 mm jest relatywnie niewielka, głównie w pasie południowym i zachodnim. Na znacznym obszarze Polski zmiany nie są prognozowane. W scenariuszu RCP8.5 na przeważającym obszarze kraju wystąpi nieznaczny wzrost liczby dni z opadem powyżej 20 mm/d.



Rysunek 27. Różnica liczby dni z opadem dobowym > 20 mm według scenariuszy RCP4.5 (lewy panel) i RCP8.5 (prawy panel) pomiędzy dziesięcioleciem 2051 - 2060 a 2011 - 2020

Podsumowanie

Analiza zmian klimatu na obszarze Polski na podstawie prognozy wiązkowej obejmującej wyniki modeli klimatu udostępniane przez repozytorium EuroCORDEX wskazuje na istnienie systematycznych trendów, zwłaszcza dla scenariusza RCP8.5 („business as usual"). Prognozy te wskazują, że na terenie Polski zarówno warunki termiczne, jak i opadowe ulegną zmianom w horyzoncie do 2100 r. Analiza dziesięciu indeksów klimatycznych pozwala na sformułowanie następujących wniosków ogólnych w odniesieniu do przewidywanych zmian temperatury i opadu na terenie Polski:

w obu scenariuszach - RCP 4.5 i RCP 8.5 - prognozowany jest wzrost temperatury średniej, przy czym w scenariuszu RCP8.5 wzrost ten jest bardziej znaczący:

- Największe zmiany są prognozowane w miesiącach zimowych (grudzień, styczeń, luty) oraz letnich (czerwiec, lipiec, sierpień)
- Największe wzrosty temperatury występują na wschodzie i północnym wschodzie Polski. Wzrost temperatury do roku 2060 wnosi od ok 1 °C (RCP4.5) do 1,2 °C (RCP8.5)
- Przebieg zmiany liczby dni okresu wegetacyjnego jest zbieżny ze wzrostem temperatury średniej rocznej

rozkład i częstotliwość występowania temperatur ekstremalnych ulegnie zmianie zarówno w okresie letnim, jak i w okresie zimowym, a skutki w różnym stopniu dotkną przeważający obszar kraju:

- W okresie letnim dla temperatur maksymalnych dobowych w kolejnych dziesięcioleciach liczba dni upalnych (z temperaturą maksymalną dobową powyżej 30°C) wykazuje tendencję wzrostową, zaś największe zmiany obejmują południową i południowo-wschodnią część kraju (RCP4.5) lub południowo i południowo-zachodnią część (RCP8.5). Liczba dni upalnych wzrośnie średnio od 3 dni (RCP4.5) do 6 dni (RCP8.5)
- W przypadku obu scenariuszy widoczny jest spadek liczby dni przymrozkowych, bardziej znaczący na północy (RCP4.5) lub północy i w części wschodniej kraju (RCP8.5). W horyzoncie do 2060 liczby dni przymrozkowych zmniejszy się od ok. 18 dni (RCP4.5) do 25 dni (RCP8.5)
- Liczba dni mroźnych zmaleje na terenie całego kraju. Największa redukcja wystąpi na północnym wschodzie kraju. Liczba dni mroźnych w horyzoncie do 2060 zmaleje średnio o około 10 dni w przypadku scenariusza RCP4.5 i RCP8.5 w porównaniu do dekady 2011-2020

Wzrost średniej rocznej temperatury wynika zarówno ze zwiększenia się liczby dni gorących, jak też z redukcji liczby dni mroźnych. W wyniku wzrostu temperatur w chłodnej porze roku zmniejszy się liczba dni przymrozkowych.

prognozy zmian opadu są mniej jednoznaczne, gdyż istotna jest zarówno zakumulowana wysokość opadu, jak też rozkład intensywności opadu w ciągu roku.

- W obu scenariuszach roczna suma opadów zwiększa się, przy czym dla RCP8.5 wzrost ten jest bardziej znaczący. Dotyczy to przede wszystkim wschodniej części Polski, zwiększenie opadów zaznacza się również w obszarach górskich i na wybrzeżu. Najmniejszy wzrost prognozowany jest dla lokalizacji w środkowo-zachodniej części kraju. Do roku 2060 prognozowany jest wzrost rocznej sumy opadów średnio od 30 mm (RCP4.5) do 50 mm (RCP8.5)
- W odniesieniu do rozkładu sezonowego, największe zmiany wysokości opadu na większym obszarze kraju dotyczą okresu letniego (czerwiec-lipiec-sierpień)
- Analiza wskazuje, że prognozowana liczba dni z opadem i dni bez opadu jest inna dla scenariusza RCP4.5 i RCP8.5 i wykazuje odmienny rozkład w kolejnych dekadach. Liczba dni z opadem wzrasta przeważnie w północnej i wschodniej części kraju. Różnica zmian między scenariuszem RCP4.5 i RCP8.5 wynosi około 4 dni
- W przypadku scenariusza RCP4.5 i RCP8.5 średnia liczba dni bez opadu nieznacznie się zmniejsza. W obu scenariuszach redukcja liczby dni bez opadu wynosi od około 4 dni (RCP4.5) do 6 dni (RCP8.5)
- W odniesieniu do opadów ekstremalnych > 20 mm/dobę w obu scenariuszach wystąpi trend wzrostowy. W scenariuszu RCP8.5 wzrost jest wyższy o około 1 dzień w porównaniu do RCP4.5

Największe zmiany częstotliwości i wysokości opadu wystąpią na północnym wschodzie Polski. Całkowita liczba dni z opadem wzrośnie nieznacznie. Wzrost rocznej sumy opadu wynika przede wszystkim ze zwiększenia się liczby dni z opadem ekstremalnym. Prognozowane zmiany opadu są najmniej znaczące w zachodniej części kraju.

Prace związane ze zmianami klimatu nad obszarem Polski są kontynuowane. Przygotowywane są projekcji dla kolejnych parametrów meteorologicznych – promieniowania słonecznego, prędkości wiatru, wilgotności, pokrywy śnieżnej oraz zachmurzenia.