

3a. Assessment of the exposure of urban space of Radom to climate change: climate scenarios

Projekt LIFE14CCA/PL/000101 Adaptacja do zmian klimatu poprzez zrównoważoną gospodarkę wodą w przestrzeni miejskiej Radomia jest współfinansowany przez Unię Europejską w ramach Instrumentu Finansowego LIFE oraz Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Warszawie

Ocena ekspozycji przestrzeni miejscowej Radomia na zmiany klimatu Scenariusze klimatyczne

INSTYTUT GEOFIZYKI PAN

25 października 2016
Autor: Marzena Osuch

Ocena ekspozycji przestrzeni miejskiej Radomia na zmiany klimatu

1. Wprowadzenie

Niniejsze opracowanie przedstawia ocenę ekspozycji przestrzeni miejskiej Radomia na zmiany klimatu. Raport ten powstał zgodnie z metodyką opracowaną na potrzeby realizacji projektu RADOMKLIMA „Adaptacja do zmian klimatu poprzez zrównoważoną gospodarkę wodą w przestrzeni miejskiej Radomia” (LIFERADOMKLIMA-PL, LIFE14 CCA/PL/000101).

Ogólny zarys metodyki jest zgodny z wytycznymi Ministerstwa Środowiska zawartymi w „Podręczniku adaptacji dla miast - wytycznych do przygotowania Miejskiego Planu Adaptacji do zmian klimatu” (MŚ, 2015) i obejmuje następujące elementy i obejmuje między innymi:

1. Ocena ekspozycji
2. Ocena wrażliwości
3. Ocena wpływu
4. Ocena zdolności adaptacyjnych
5. Ocena podatności

Szczegółowa metodyka oceny poszczególnych elementów została opracowana dla celów niniejszego projektu, na podstawie wiedzy eksperckiej, przeglądu literatury przedmiotu, oraz dostępnych opracowań i dobrych praktyk w literaturze krajowej i międzynarodowej.

Na podstawie tego raportu zostanie opracowana „Ocena podatności przestrzeni miejskiej Radomia na zmiany klimatu”, która będzie stanowić:

- podstawę do podejmowania decyzji o szczegółowej lokalizacji i wyborze rodzaju najlepszych praktyk w zakresie zagospodarowania wód opadowych na terenach realizacji inwestycji związanych z błękitno-zieloną infrastrukturą (B6) i rehabilitacją ekosystemów wodnych (B1-B4);
- narzędzie pomocnicze dla decydentów przy podejmowaniu kolejnych kroków inwestycyjnych po zakończeniu projektu dla zapewnienia adaptacji powstającej infrastruktury do zmian klimatu;
- wkład do platformy interaktywnej LIFE-RADOMKLIMA-PL.

2. Ocena EKSPOZYCJI (narażenia) przestrzeni miasta na skutki zmian klimatu: zmieniające się warunki KLIMATYCZNE

Scenariusze klimatyczne

W ocenie ekspozycji bazujemy na wynikach najnowszych symulacji modeli klimatycznych dostępnych w ramach inicjatywy CORDEX sponsorowanej przez the World Climate Research Program (WCRP). W ramach tej inicjatywy opracowywane regionalne scenariusze zmian klimatu dla wybranych domen (obszarów) (Giorgi i inni 2009; Jacob i inni 2014; Kotlarski i inni 2014). W opracowaniu wykorzystujemy wyniki scenariuszy klimatycznych dostępnych dla obszaru Europy. Dostępne wyniki obejmują wiązkę symulacji różnych modeli klimatycznych dla okresów historycznych a także przyszłych dla założonych scenariuszy emisji. Scenariusze historyczne są dostępne dla okresu 1950-2005 podczas gdy projekcje dla okresu 2006-2100. Symulacje przyszłych warunków klimatycznych zostały wyznaczone dla scenariuszy emisji wykorzystywanych w V raporcie IPCC (IPCC AR5 2013), które są szczegółowo opisane w pracy Moss i inni (2010). Te scenariusze emisji bazują na czterech tzw. Reprezentatywnych Ścieżkach Koncentracji (ang. Representative Concentration Pathways – RCP), w których ustalane są koncentracje gazów cieplarnianych i następnie w oparciu o te wyznaczone koncentracje przy pomocy modeli klimatu (Modele Cyrkulacji Globalnej, ang. Global Circulation Models, GCM) wyznaczane są projekcje klimatyczne. Te ustalone dla dane scenariusza emisji stężenia gazów cieplarnianych mogą być rezultatem zróżnicowanych scenariuszy emisji (a więc i zmian społeczno-gospodarczych, takich jak populacja, wysokość PKB, intensywność energetyczna i miks energetyczny).

W opracowaniach bazujemy na wynikach dwóch scenariuszy emisji: RCP 4.5 oraz RCP 8.5. Liczba w nazwie scenariusza odpowiada zmianie wartości wymuszenia radiacyjnego wyrażonego w W/m^2 w roku 2100 w stosunku do warunków sprzed epoki przemysłowej. Wybrany scenariusz emisji (RCP4.5), podobnie jak scenariusz A1B, który był stosowany w ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020 należy do scenariuszy, które odzwierciedlają obraz średnich zmian w stosunku do scenariuszy skrajnych. Drugi z wybranych scenariuszy, RCP 8.5 jest najbardziej pesymistycznym scenariuszem zmian klimatu zakładającym największe zmiany średniej temperatury powierzchni Ziemi. W opracowaniach adaptacyjnych do zmian klimatu rekomenduje się stosowanie scenariuszy średnich i raczej odchodzi się od oszacowań na podstawie zbyt radykalnych scenariuszy. Wybór tego scenariusza jest również podyktowany zastosowaniem najnowszych projekcji klimatycznych o większej rozdzielczości przestrzennej.

W ramach inicjatywy CORDEX dla domeny europejskiej dostępna jest wiązka kilkunastu symulacji modeli klimatycznych (16 symulacji zgodnie ze statusem na koniec maja 2016). Niestety nie dla wszystkich symulacji dostępne są wyniki o rozdzielczości dobowej do końca 2100 roku. W opracowaniu korzystamy z wiązki dziesięciu symulacji klimatycznych dla domeny EUR 11 o rozdzielczości przestrzennej 0.11° na obróconej siatce geograficznej, co odpowiada około 12.5 km. Dla domeny

EUR 11 wszystkie dostępne symulacje mają taką samą siatkę i wyniki są dostępne dla 424x412 oczek siatki o określonych współrzędnych, które umożliwiają wybór oczka siatki, które jest położone najbliżej obszaru badań. Lista zastosowanych w tym opracowaniu symulacji klimatycznych dla domeny EUR 11 przedstawiona jest w Tabeli 1.

TABELA 1 LISTA SYMULACJI KLIMATYCZNYCH DOSTĘPNYCH W RAMACH EURO-CORDEX

Numer	GCM	Institute	RCM
1	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	Centre National de Recherches Meteorologiques, France	CCLM4-8-17
2	EC-EARTH	EC-EARTH consortium	CCLM4-8-17
3	EC-EARTH	EC-EARTH consortium	HIRHAM5
4	EC-EARTH	EC-EARTH consortium	RACMO22E
5	EC-EARTH	EC-EARTH consortium	RCA4
6	MPI-ESM-LR	Max-Planck-Institut für Meteorologie, Germany	CCLM4-8-17
7	MPI-ESM-LR	Max-Planck-Institut für Meteorologie, Germany	RCA4
8	MPI-M-MPI-ESM-LR	Max-Planck-Institut für Meteorologie, Germany	REMO2009
9	IPSL-IPSL-IPSL-CM5A-MR	Institut Pierre-Simon Laplace	WRF331F
10	CNRM-CERFACS-CNRM-CM	Centre National de Recherches Meteorologiques, France	RCA4

Przedstawiona w Tabeli 2 lista symulacji klimatycznych obejmuje wyniki symulacji 6 regionalnych modeli klimatu (CCLM4-8-17, RACMO22E, REMO2009, WRF331F, RCA4 i HIRHAM5) zagnieżdżonych w wynikach symulacji 4 globalnych modeli klimatycznych (CNRM-CERFACS-CNRM-CM5, ICHEC-EC-EARTH, IPSL-IPSL-CM5A-MR, MPI-M-MPI-ESM-LR).

TABELA 2 LISTA DOSTĘPNYCH KOMBINACJI RCM/GCM W RAMACH INICJATYWY EURO-CORDEX

GCM\RCM	CCLM4-8-17	RACMO22E	REMO2009	WRF331F	RCA4	HIRHAM5	Razem
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	1	0	0	0	1	0	2
ICHEC-EC-EARTH	1	1	0	0	1	1	4
IPSL-IPSL-CM5A-MR	0	0	0	1	0	0	1
MPI-M-MPI-ESM-LR	1	0	1	0	1	0	3
RAZEM	3	1	1	1	3	1	10

Oszacowania odnośnie zmian warunków klimatycznych są prowadzone dla trzech okresów: okresu referencyjnego 1971-2000 oraz dwóch przyszłych okresów 2021-2050 (bliska przyszłość) i 2071-2100 (daleka przyszłość).

Korekcja błędów systematycznych

Wcześniejsze doświadczenia związane z analizą wyników modeli klimatycznych wskazują, że wyniki symulacji klimatycznych są obciążone błędami systematycznymi. Wartości oszacowanych błędów zależą od analizowanej zmiennej klimatycznej a także od lokalizacji obszaru badań oraz modelu klimatycznego. Jedne z większych różnic pomiędzy symulacjami a obserwacjami zostały oszacowane dla opadu. Problem ten jest znany i raportowany w wielu pracach (Osuch i inni 2016b). Ze względu na występowanie błędów systematycznych w pracach dotyczących wpływu zmian klimatu wykorzystywane są skorygowane symulacje klimatyczne. W literaturze naukowej toczy się obecnie dyskusja na temat zasadności stosowania korekcji błędów systematycznych. Jednym z proponowanych rozwiązań jest prezentacja wyników dla danych skorygowanych jak też i surowych.

W planowanych opracowaniach mamy zamiar przeprowadzić analizy dla surowych oraz skorygowanych zmiennych klimatycznych. Korekcja błędów systematycznych będzie przeprowadzana niezależnie dla poszczególnych zmiennych klimatycznych wykorzystując doświadczenie zdobyte podczas projektu CHIHE (<http://chihe.igf.edu.pl>). Proponowane metody zostały wybrane ze względu na ich przydatność w korekcji wartości ekstremalnych (Sunyer et al. 2012; Sorteberg et al. 2014).

Dla wszystkich zmiennych klimatycznych planujemy zastosowanie metody mapowania kwantyli (QM) rozkładu prawdopodobieństwa opisujących dobowe wartości zmiennej klimatycznej pomiędzy seriami symulowanych i obserwowanymi. Metoda ta jest powszechnie stosowana podczas korekcji szeregów czasowych temperatury powietrza jak i opadu (Gudmundsson et al. 2012).

Metoda QM bazuje na założeniu, że istnieje transformacja (h), która transformuje kwantyle rozkładu prawdopodobieństwa opisującego szereg czasowy zmiennej symulowanej (P^{RCM}) na kwantyle rozkładu prawdopodobieństwa opisującego szereg obserwowany (P^{obs})

$$P^{Obs} = h(P^{RCM}) \quad (1)$$

Transformacja kwantyli pomiędzy seriami symulowanymi i obserwowanymi może być prowadzona w sposób parametryczny lub też nie parametryczny. W podejściu parametrycznym zarówno dla szeregów czasowych symulowanych jak i obserwowanych dopasowuje się rozkład prawdopodobieństwa oraz estymowane są jego parametry. W przypadku dobowych sum opadu rekomendowane jest zastosowanie rozkładu gamma (Piani et al. 2010).

$$f(x) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\beta x} \quad x, \alpha, \beta > 0 \quad (2)$$

Gdzie α and β są parametrami rozkładu $f(x)$, $\Gamma(\cdot)$ jest funkcją gamma.

Podczas korekcji błędów systematycznych w symulowanych opadach z zastosowaniem rozkładu gama, koryguje się tylko sumy opadu większe, niż zero ($P > 0.0$ mm/day) z uwzględnieniem następującej transformacji:

$$\hat{P}_{corr}^{RCM} = F_{Obs}^{-1}(F_{RCM}(P^{RCM})) \quad (3)$$

gdzie F_{Obs}^{-1} oznacza dystrybucję obserwacji natomiast F_{RCM} oznacza cdf symulowanych wartości. W kolejnym kroku parametry rozkładu prawdopodobieństwa opisującego zmienną symulowaną i obserwowaną są wyznaczane oraz parametryzowana jest zależność pomiędzy kwantylami rozkładu dla danych symulowanych oraz obserwowanych. Przeprowadzone testy (Osuch i inni 2016 a i b) wskazały, że dobre wyniki korekcji uzyskuje przy zastosowaniu funkcji potęgowej o trzech parametrach do transformacji kwantyli.

$$\hat{P}_{corr}^{RCM} = \begin{cases} b(P^{RCM} - x_o)^c & \text{for } P^{RCM} \geq x_o \\ 0 & \text{for } P^{RCM} < x_o \end{cases}, \quad (4)$$

Gdzie parametry b i c zostały oszacowane poprzez kalibrację natomiast x_o oznacza oszacowaną wartość graniczną, poniżej której symulowane wartości opadu są przyjmowane, jako zero.

W metodzie QM dokonuje się również korekcji liczby dni z opadem. Jest to niezbędny element korekcji ze względu na znaczne przeszacowanie liczby dni z opadem przez modele klimatyczne.

Do oszacowania przyszłych zmienionych wartości zmiennych klimatycznych stosowane są transformacje wyznaczone dla okresu referencyjnego

W przypadku korekcji błędów systematycznych pozostałych zmiennych klimatycznych (np. temperatury powietrza) również zostały zastosowane metody mapowania kwantyli rozkładu prawdopodobieństwa, przy czym z zastosowaniem innych rozkładów prawdopodobieństwa.

UWAGA: Zastosowanie korekcji błędów systematycznych wymaga danych obserwacyjnych z tego samego okresu.

Zmienne klimatyczne

W opracowaniu planujemy wykorzystanie następujących zmiennych klimatycznych:

- Temperatura średnia dobową,
- Temperatura maksymalna dobową,
- Temperatura minimalna dobową,
- Opad,

- Opady śniegu,
- Wysokość pokrywy śnieżnej (oszacowanie liczby dni z pokrywą śnieżną),
- Maksymalna dobową prędkość wiatru.

Wybór wskaźników ekspozycji, oddziaływania oraz wrażliwości

W planach adaptacji do zmian klimatu Radomia korzystamy z szeregu wskaźników za pomocą, których szacowany będzie wpływ zmian klimatu. Zostały one opracowane w sposób bezpośredni lub pośredni na podstawie opracowanych zmiennych klimatycznych. Podczas wyboru wskaźników wykorzystano bazowy zestaw wskaźników Europejskiej Agencji Środowiska opracowany w celu zapewnienia porównywalności i niezawodności informacji i ocen. Bazowy zestaw wskaźników EEA został przyjęty w 2004 roku i rozbudowany w 2008 r. Obecnie trwają prace nad kolejnym rozszerzeniem zestawu wskaźników między innymi w projekcie ClimWatAdapt (<http://www.climwatadapt.eu/>). Zestaw obejmuje 5 tematów: powietrze wraz z warstwą ozonową i klimatem, odpady, woda, bioróżnorodność, powierzchnia ziemi oraz 4 sektory: rolnictwo, transport, energetyka, rybołówstwo. W oparciu o zestawy bazowe zostało opracowane wiele narodowych strategii adaptacji do zmian klimatu między innymi w Finlandii, Niemczech, Islandii, Irlandii. W proponowanej metodyce oprócz wskaźników EEA zostały uwzględnione inne wskaźniki powszechnie stosowane w Polsce między innymi w Projekcie Klimat a także wskaźniki używane w ramach opracowania strategicznego „Strategiczny plan adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu do roku 2020 z perspektywą do roku 2030” na podstawie analiz przeprowadzonych w ramach projektu KLIMADA "Opracowanie i wdrożenie Strategicznego Planu Adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu -KLIMADA", realizowanego na zlecenie MŚ w latach 2011-2013 ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Zastosowanie tych dodatkowych miar umożliwi porównanie wyników pochodzących z różnych analiz.

W literaturze dotyczącej adaptacji do zmian klimatu wyróżnia się cztery główne typy wskaźników (<http://www.climwatadapt.eu/>): wskaźniki zmian klimatu, wskaźniki oddziaływania zmian klimatu, wskaźniki wrażliwości na zmiany klimatu oraz wskaźniki adaptacji do zmian klimatu.

Wskaźniki zmian klimatu opisują ewolucję klimatu w czasie wywołaną naturalną zmiennością klimatu lub w wyniku działalności człowieka. Przykładem takich wskaźników jest np. temperatura powietrza, opad.

Podczas analizy ekspozycji dla Radomia korzystamy z podobnego zestawu wskaźników, jaki był opracowany w ramach projektu KLIMADA oraz w ramach opracowania strategicznego „Strategiczny plan adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu do roku 2020 z perspektywą do roku 2030” oraz zgodnie z rekomendacjami przedstawionymi w „Ocenie wrażliwości terenów miejskich na zagrożenia wynikające ze zmian klimatu”. Proponowane wskaźniki ekspozycji, zestawienie planowanych analiz oraz wykorzystane do nich dane obserwacyjne przedstawia Tabela 3.

Przedstawiane w tabeli wskaźniki stanowią zestaw podstawowy. Możliwe jest rozszerzenie tego zestawu o wskaźniki bazujące na opracowanych zmiennych klimatycznych (średnia dobową temperatura powietrza, maksymalna dobową temperatura powietrza, minimalna dobową temperatura powietrza, dobową sumę opadu, dobową sumę opadu śniegu, wysokość pokrywy śnieżnej, maksymalna dobową prędkość wiatru).

Dane będą pozyskane z IMGW oraz z lokalnych sieci monitoringowych.

TABELA 3 ZESTAWIENIE PLANOWANYCH WSKAŹNIKÓW EKSPOZYCJI, ANALIZ, ORAZ WYKORZYSTANYCH DANYCH OBSERWACYJNYCH WRAZ ZE ŹRÓDŁAMI ICH POZYSKANIA

Zmienna klimatyczna	Wskaźniki ekspozycji	Wymagane dane obserwacyjne
Temperatura maksymalna dobową	najdłuższy okres z temperaturą maksymalną większą niż 30°C (wskaźnik zaproponowany przez Gorgoń i inni (2014)). W ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020 stosowano inną wartość graniczną (25 °C). liczba dni w roku z temperaturą maksymalną większą niż 30°C (wskaźnik zaproponowany przez Gorgoń i inni (2014)). W ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020 stosowano inną wartość graniczną (25 °C).	Obserwacje maksymalnej dobowej temperatury powietrza z okresu 1971-2015 na terenie miasta i jego okolic
Temperatura minimalna dobową	najdłuższy okres z temperaturą minimalną niższą niż 0°C (wskaźnik stosowany w ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020), liczba dni w roku z temperaturą minimalną niższą niż 0°C (wskaźnik stosowany w ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020), liczba dni w roku z temperaturą minimalną niższą niż -10°C (wskaźnik stosowany w ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020), liczba dni w roku z temperaturą minimalną niższą niż -20°C (wskaźnik stosowany w ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020), liczba dni w roku z temperaturą minimalną wyższą niż 20°C (tak zwane upalne noce)	Obserwacje minimalnej dobowej temperatury powietrza z okresu 1971-2015 na terenie miasta i jego okolic
Temperatura średnia dobową	Liczba stopniodni grzania, zakłada się że ogrzewanie jest wyłączone w dniach, kiedy średnia dobową temperatura jest większa od założonej temperatury bazowej (17°C lub 20°C), wskaźnik stosowany w ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020, Długość okresu wegetacyjnego (okres ze średnią dobową temperaturą powietrza większą niż 5°C lub 10°C), wskaźnik stosowany w ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020 Start okresu wegetacyjnego, data początku okresu ze średnią dobową temperaturą powietrza większą niż 5°C lub 10°C), wskaźnik stosowany w ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020	Obserwacje średniej dobowej temperatury powietrza z okresu 1971-2015 na terenie miasta i jego okolic
Opad	liczba dni w roku z opadem większym lub równym 30mm/dobę (pierwszy próg opadów stwarzający zagrożenie podtopieniami) wskaźnik zaproponowany przez Gorgoń i inni (2014), liczba dni w roku z opadem większym lub równym 50mm/dobę (opad klasyfikowany jako groźny powodziowo) wskaźnik zaproponowany przez Gorgoń i inni (2014),	Obserwacje dobowych sum opadu z okresu 1971-2015 na terenie miasta i jego okolic

	liczba dni w roku z opadem większym lub równym 70mm/dobę (klasyfikowany jako opad powodziowy) wskaźnik zaproponowany przez Gorgoń i inni (2014), liczba dni w roku z opadem większym lub równym 100mm/dobę (klasyfikowany jako opad katastrofalny) wskaźnik zaproponowany przez Gorgoń i inni (2014), opad maksymalny (wskaźnik stosowany w ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020), najdłuższy okres bez opadu (wskaźnik stosowany w ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020), liczba dni w roku bez opadu (wskaźnik stosowany w ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020), liczba okresów w ciągu roku z opadem większym niż 1 mm (wskaźnik stosowany w ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020),	
Opad śniegu	Liczba dni w ciągu roku z intensywnymi opadami śniegu powyżej określonej wartości granicznej.	Obserwacje odnośnie wysokości pokrywy śnieżnej z okresu 1971-2015 na terenie miasta i jego okolic
Wysokość pokrywy śnieżnej	liczba dni z pokrywą śnieżną (wskaźnik stosowany w ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020).	Obserwacje wysokości pokrywy śnieżnej z okresu 1971-2015 na terenie miasta i jego okolic
Maksymalna dobową prędkość wiatru	Liczba dni z wiatrem max > 10 m/s (wskaźnik stosowany w ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020) Najdłuższy okres z wiatrem max > 10 m/s (wskaźnik stosowany w ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020) Liczba dni z wiatrem max > 15 m/s (wskaźnik stosowany w ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020) Najdłuższy okres z wiatrem max > 15 m/s (wskaźnik stosowany w ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020) Liczba dni z wiatrem max > 20 m/s (wskaźnik stosowany w ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020) Najdłuższy okres z wiatrem max > 20 m/s (wskaźnik stosowany w ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020)	Obserwacje maksymalnych dobowych prędkości wiatru z okresu 1971-2015 na terenie miasta i jego okolic
Susze meteorologiczne	Przeciętne wartości wskaźnika SPI dla poszczególnych okresów Liczba miesięcy z określonym typem suszy Dotkliwość suszy (suma wartości SPI)	Obserwacje dobowych sum opadu z okresu 1971-2015

Oszacowania – zagrożenia związane z gospodarką wodną w miastach

Bazując na wskaźnikach oddziaływania zmian klimatu szacuje się wpływ zmian klimatu na elementy biofizyczne takie jak np. natężenie przepływu, powódzie, susze.

Natężenie przepływu

Podstawową miarą oceny zasobów wodnych jest natężenie przepływu. Zdefiniowane jest jako objętość wody przepływającej przez przekrój poprzeczny koryta w jednostce czasu. Miara ta jest stosowana w większości opracowań i jest rekomendowana, jako wskaźnik z bazowego zestawu Europejskiej Agencji Środowiska. Szczegółowy opis tego wskaźnika dostępny jest na stronie EEA

<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/river-flow/river-flow-assessment->

[publishedsep-2008](#). Oszacowania odnośnie zmian natężenia przepływów w rzekach będą przeprowadzone dla wybranych miast korzystając z wyników modeli hydrologicznych typu opad-opływ. Projekcje klimatyczne będą opracowane tylko dla miast leżących nad rzekami z monitoringiem hydrologicznym oraz dobrymi wynikami kalibracji i weryfikacji modeli hydrologicznych.

Susze i niedobory wody

W opracowaniach dotyczących wpływu zmian klimatu na susze korzystamy z Standaryzowanego Wskaźnika Opadu (ang. Standardized Precipitation Index, SPI) opracowanego przez McKee et al. (1993) oraz powszechnie stosowanego zarówno w opracowaniach naukowych jak też operacyjnie (między innymi Osuch et al. 2016a; Meresa et al. 2016). SPI jest stosunkowo prostym indeksem bazującym na miesięcznych sumach opadu, który kwantyfikuje deficyt opadu w wybranym horyzoncie czasowym. Zgodnie z metodą, wartości SPI są wyznaczane poprzez aproksymowane poprzez rozkład gamma a następnie standaryzowane (transformowane do rozkładu normalnego o średniej równej zero i wariancji równej 1. Wyznaczone w ten sposób wartości charakteryzują deficyty opadu. Wartości ujemne wskazują na warunki uwilgotnienia niższe niż mediana sum opadów w analizowanym wieloleciu. Pozytywne wartości SPI wskazują na opady wyższe niż mediana z wielolecia. W ocenie suszy meteorologicznej stosuje się różne progi wartości SPI. W planowanych opracowaniach będziemy posługiwali się skalą zaproponowaną przez Agnew (2000) oraz Łabędzki (2007). Zgodnie z tą skalą warunki posuszne zaczynają się SPI = -1. Dalsza kwantyfikacja suszy meteorologicznej przedstawiona jest w Tabeli 4.

TABELA 4 KLASYFIKACJA SUSZY METEOROLOGICZNEJ PODSTAWIE SPI.

Kategoria suszy meteorologicznej	Wartość SPI
Umiarkowanie suchy	-1.49 to -1.00
Bardzo suche	-1.99 to -1.50
Ekstremalnie suche	≤ -2.00

Analizę suszy meteorologicznej przeprowadza się dla różnych skal czasowych (różnych czasów agregacji), które odzwierciedlają wpływ niedoborów opadu na krótkoterminowe dostawy wody (niezbędne dla rolnictwa) jak również w dłuższych okresach, które mają wpływ na zasoby wodne.

Powodzie

Powodzie są jednym z najbardziej kosztownych zagrożeń naturalnych w Europie. Wśród powodzi można wyróżnić powodzie opadowe, roztopowe, zatorowe, sztormowe, nagłe (flash floods) oraz powodzie miejskie (Gorgoń i inni, 2009).

Do oceny wpływu zmian klimatu na powodzie spowodowane wystąpieniem gwałtownych (nawalnych) opadów jako wskaźniki stosowane dobowe sumy opadów. Progi wysokości dobowych sum opadu oraz odpowiadające im zagrożenia przedstawione są w Tabeli 5.

TABELA 5 PROGI WYSOKOŚCI DOBOWYCH SUM OPADU ORAZ ODPOWIADAJĄCE IM ZAGROŻENIA. OPRACOWANO NA PODSTAWIE GORGON I INNI, 2009)

Próg wysokości opadów Dobowa suma opadów wyższa lub równa [mm/dobę]	Zagrożenie
30	Zagrożenie podtopieniem
50	Opad groźny powodziowo
70	Opad powodziowy
100	Opad katastrofalny

Oszacowania odnośnie zagrożenia powodziami typu roztopowego oraz opadowego będą przeprowadzone dla wybranych miast korzystając z wyników modeli hydrologicznych typu opad-odpływ. Projekcje hydrologiczne będą opracowane tylko dla miast leżących nad rzekami z monitoringiem hydrologicznym oraz dobrymi wynikami kalibracji i weryfikacji modeli hydrologicznych.

Oszacowanie i kwantyfikacja niepewności zastosowanych wskaźników

Oszacowania wybranych wskaźników będą prowadzone dla wiązki co najmniej 10 symulacji modeli klimatycznych (GCM/RCM). Dodatkowo planowane jest przeprowadzenie korekcji błędów systematycznych symulacji klimatycznych. W wyniku przeprowadzonych obliczeń dla każdego z wybranych wskaźników otrzymany zostanie zestaw wartości. Na ich podstawie zostanie oszacowana średnia z wiązki poszczególnych wskaźników a także zostanie niepewność ich oszacowania z wykorzystaniem metody ANOVA (Von Storch and Zwiers 2001). W metodzie tej zmienność otrzymanych wyników dla poszczególnego wskaźnika zostaje zdekomponowana na elementy wyjaśniane poprzez zmienność wyników pomiędzy modelami klimatycznymi (CM) oraz metodami korekcji błędów systematycznych (BC). Dodatkowo można też uwzględnić zmienność wyników wyjaśnianą poprzez interakcje pomiędzy CM i BC.

W opracowaniu wykorzystujemy następujący model ANOVA:

$$IN_{ij} = \mu + CM_i + BC_j + (CM * BC)_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (7)$$

Gdzie IN_{ij} is oznacza analizowany wskaźnik (np. najdłuższy okres z temperaturą maksymalną większą niż 25 °C) wyznaczony dla i -tego modelu klimatycznego oraz j -tej metody korekcji błędów systematycznych. Pierwszy element po prawej stronie (μ) oznacza średnia ze wszystkich wyników. Następne trzy elementy oznaczają bezpośredni wpływ na wyjaśnienie zmienności analizowanego wskaźnika odpowiednio przez zmienność wyników modeli klimatycznych (CM) oraz metod korekcji błędów systematycznych (BC). Kolejne elementy przedstawiają zmienność analizowanego wskaźnika wyjaśniana poprzez interakcje pomiędzy CM i BC, które nie łączą się addytywnie (Yip i inni, 2011). Ostatni element równania (ε) reprezentuje błędy, co w tym przypadku oznacza niewyjaśniona zmienność wskaźnika.

Dodatkowo analiza z wykorzystaniem metody ANOVA zostanie wzbogacona o testy i analizy statystyczne, kryterium znaczącej różnicy Tukey'a (Tukey, 1949), umożliwiające porównywanie otrzymanych wyników pomiędzy grupami.

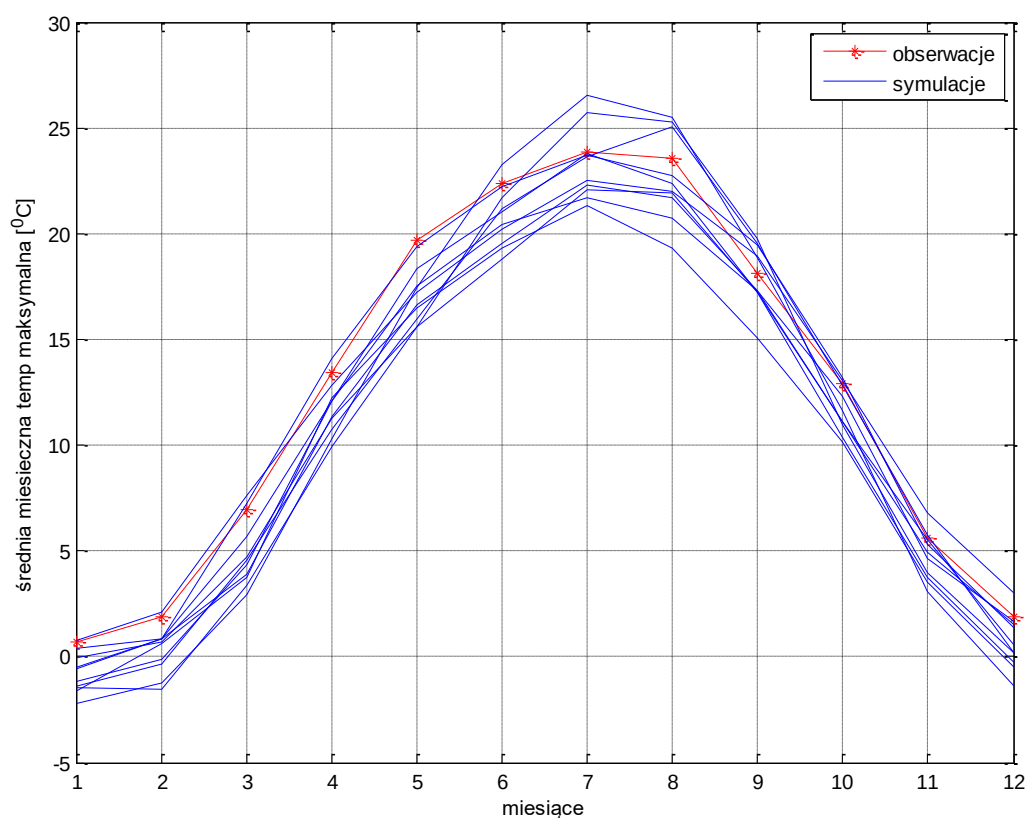
Proponowany sposób analizy zmienności analizowanych wskaźników był z powodzeniem stosowany w ramach projektu CHIHE w recenzowanych publikach z listy filadelfijskiej (Osuch i inni, 2016b).

3. Wyniki

Weryfikacja symulacji modeli klimatycznych

Maksymalna dobowa temperatura powietrza

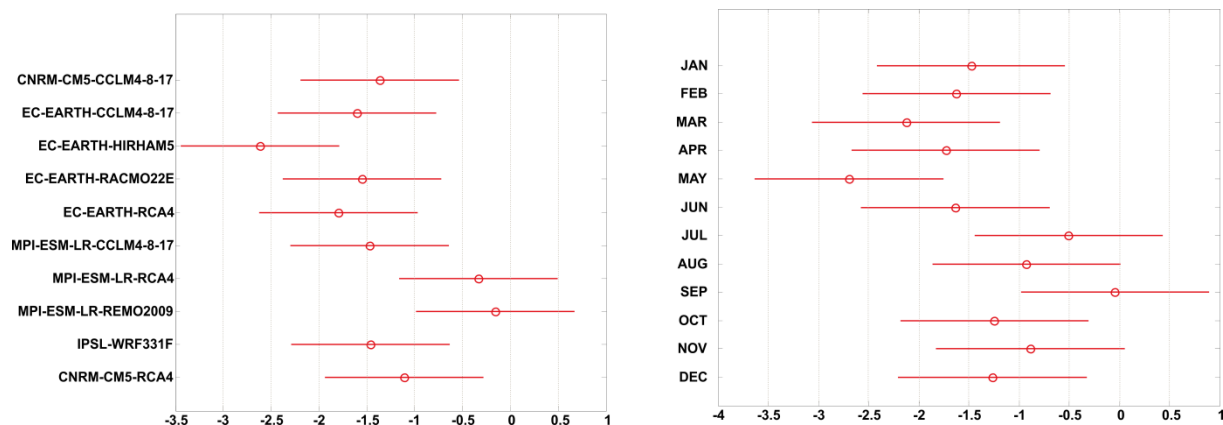
W pierwszym kroku analizy symulacje wartości maksymalnej dobowej temperatury powietrza zostały zweryfikowane na podstawie obserwacji na stacji meteorologicznej w Kozienicach. Rysunek 1 przedstawia porównanie wartości średnich miesięcznych maksymalnej dobowej temperatury powietrza wyznaczonych dla okresu 01.01.1977-31.12.2000. Kolorem czerwonym oznaczono dane obserwacyjne ze stacji w Kozienicach natomiast kolorem niebieskim dane symulowane przez dziesięć wybranych modeli klimatycznych. Widoczne są błędy symulacji – większość symulacji modeli klimatycznych jest zaniżona w stosunku do obserwacji.



RYSUNEK 1 PORÓWNANIE ŚREDNICH MIESIĘCZNYCH MAKSYMALNYCH DOBOWYCH TEMPERATUR POWIETRZA NA PODSTAWIE DANYCH Z OKRESU 01.01.1977-31.12.2000.

Na rysunku 2 przedstawiono wyniki analizy błędów symulacji (różnice pomiędzy symulacjami i obserwacjami) z wykorzystaniem ANOVA ze względu na różnice w błędach oszacowań temperatury maksymalnej pomiędzy dziesięcioma różnymi modelami klimatycznymi oraz dla poszczególnych

miesiący. Na wykresie pokazanym po lewej stronie pokazano różnice w błędach systematycznych pomiędzy dziesięcioma modelami klimatycznymi. Wyniki wszystkich modeli obarczone są błędami. Nie ma modelu doskonałego. Najmniejsze błędy oszacowania uzyskano dla modelu MPI-ESM-LR-REMO2009 natomiast największe dla modelu EC-EARTH-HIRHAM5. Porównanie oszacowanych błędów pomiędzy miesiącami, przedstawione na rysunku po prawej stronie, wskazuje, że stosunkowo najlepsze oszacowania są dla miesięcy letnich (czerwiec-sierpień) a najgorsze w maju.

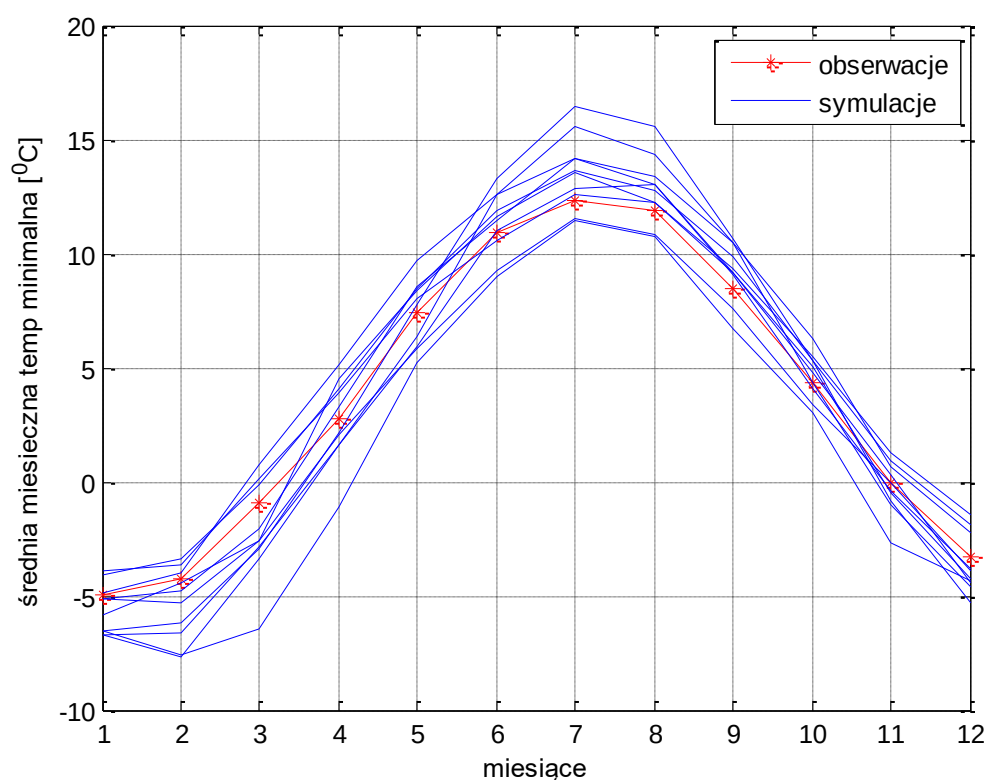


RYСУNEK 2 PORÓWNIE BŁĘDÓW SYMULACJI Z WYKORZYSTANIEM ANALIZY ANOVA ZE WZGLĘDU NA RÓŻNICE W BŁĘDACH OSZACOWAŃ TEMPERATURY MAKSYMALNEJ POMIĘDZY DZIESIĘCIOMA RÓŻNYMI MODELAMI KLIMATYCZNYMI ORAZ DLA POSZCZEGÓLNYCH MIESIĘCY.

Ze względu na znaczne różnice pomiędzy obserwacjami oraz symulacjami w okresie 1977-2000 została przeprowadzona korekcja błędów systematycznych. Korekcję przeprowadzono metoda mapowania kwantyli z wykorzystaniem rozkładu wartości ekstremalnej (ang. extreme value) niezależnie dla poszczególnych miesięcy. W wyniku korekcji uzyskano bardziej realistyczne wyniki symulacji dla okresu referencyjnego.

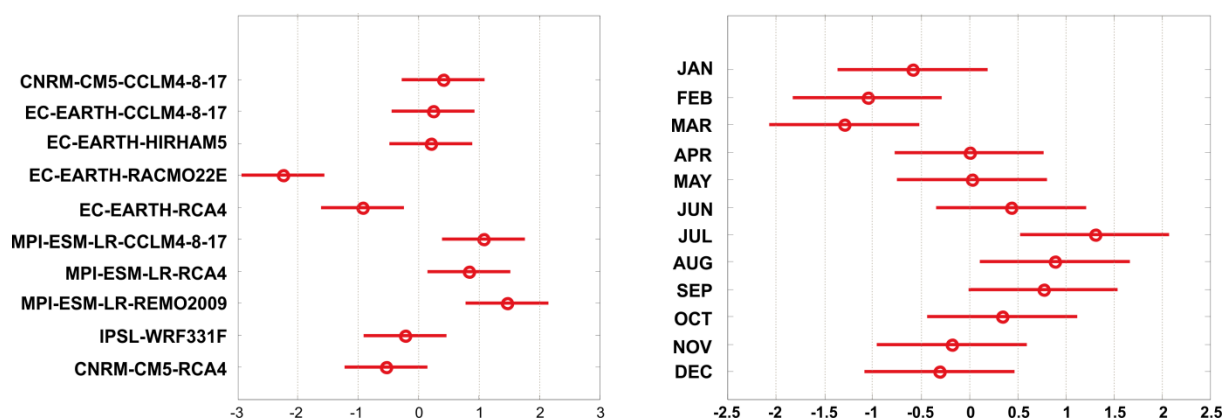
Minimalna dobowa temperatura powietrza

Wyniki symulacji minimalnej dobowej temperatury powietrza dla dziesięciu modeli klimatycznych zostały porównane z obserwacjami na stacji meteorologicznej w Kozienicach. Ze względu na długość dostępnych obserwacji porównywano dane z okresu 01.01.1977-31.12.2000. Wyznaczone średnie miesięczne wartości temperatury minimalnej z tego okresu przedstawione są na Rysunku 3. Widoczne jest, że są różnice pomiędzy symulacjami a obserwacjami.



RYSUNEK 3 PORÓWNANIE ŚREDNICH MIESIĘCZNYCH MINIMALNYCH DOBOWYCH TEMPERATUR POWIETRZA NA PODSTAWIE DANYCH Z OKRESU 01.01.1977-31.12.2000.

Oszacowanie błędów symulacji temperatury minimalnej dobowej przedstawione jest na poniższym rysunku. Na wykresie po lewej stronie dokazane są estymaty średnich błędów (population marginal means) otrzymane dla poszczególnych modeli klimatycznych. Największe błędy symulacji otrzymano dla wyników modelu EC-EARTH-RACMO22E (-2.3°C). Średnie błędy oszacowań dla pozostałych modeli są mniejsze niż 2°C . Na wykresie przedstawionym po prawej stronie Rysunku 4 pokazano średnie błędy symulacji minimalnej dobowej temperatury powietrza wyznaczone dla poszczególnych miesięcy. Widoczne jest, że symulacje są za niskie w stosunku do obserwacji w miesiącach zimowych natomiast latem symulowane temperatury minimalne dobowe są przeszacowane.



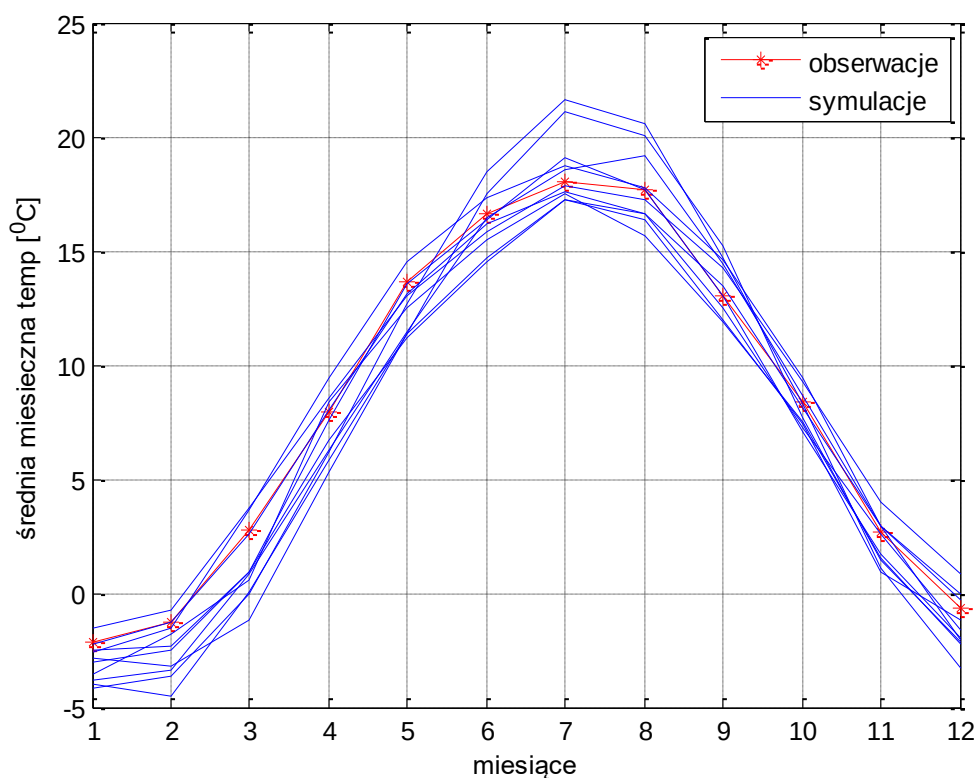
RYСУNEK 4 PORÓWNIE BŁĘDÓW SYMULACJI Z WYKORZYSTANIEM ANALIZY ANOVA ZE WZGLEDU NA ROZNICE W BŁĘDACH OSZACOWAŃ TEMPERATURY MINIMALNEJ POMIEDZY DZIESIĘCIOMA RÓŻNYMI MODELAMI KLIMATYCZNYMI ORAZ DLA POSZCZEGÓLNYCH MIESIĘCY.

Ze względu na znaczne różnice pomiędzy obserwacjami oraz symulacjami w okresie 1977-2000 została przeprowadzona korekcja błędów systematycznych. Korekcję przeprowadzono metodą mapowania kwantyli z wykorzystaniem rozkładu wartości ekstremalnej niezależnie dla poszczególnych miesięcy. W wyniku korekcji uzyskano bardziej realistyczne wyniki symulacji dla okresu referencyjnego.

Średnia dobowa temperatura powietrza

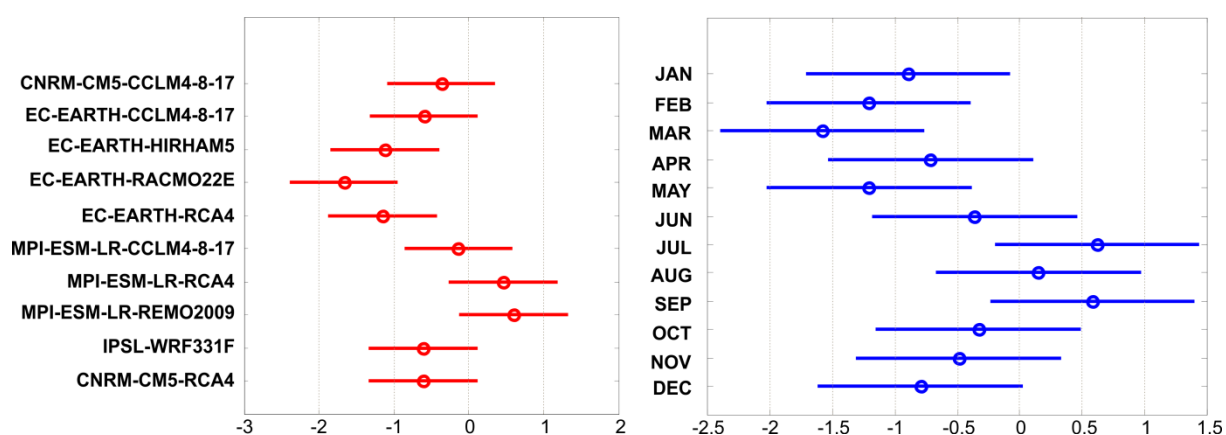
Porównanie z obserwacjami w Kozienicach

Wyniki symulacji średniej dobowej temperatury powietrza dla dziesięciu modeli klimatycznych zostały porównane z obserwacjami na stacji meteorologicznej w Kozienicach. Ze względu na długość dostępnych obserwacji porównywano dane z okresu 01.01.1977-31.12.2000. Wyznaczone średnie miesięczne wartości temperatury średniej dobowej z tego okresu przedstawione są na Rysunku 5. Widoczne są różnice pomiędzy symulacjami a obserwacjami.



RYСУNEK 5 PORÓWNANIE ŚREDNICH MIESIĘCZNYCH MINIMALNYCH DOBOWYCH TEMPERATUR POWIETRZA NA PODSTAWIE DANYCH Z OKRESU 01.01.1977-31.12.2000.

Oszacowanie błędów symulacji temperatury średniej dobowej przedstawione jest na poniższym rysunku. Na wykresie po lewej stronie pokazane są estymaty średnich błędów otrzymane dla poszczególnych modeli klimatycznych. Największe błędy symulacji otrzymano dla wyników modelu EC-EARTH-RACMO22E. Najmniejsze błędy oszacowań występują dla wyników modelu MPI-ESMLR-CCLM4-8-17. Na wykresie przedstawionym po prawej stronie Rysunku 6 pokazano średnie błędy symulacji średniej dobowej temperatury powietrza wyznaczone dla poszczególnych miesięcy. Widoczne jest, że symulacje są za niskie w stosunku do obserwacji w miesiącach zimowych natomiast latem symulowane temperatury średnie dobowe są przeszacowane.



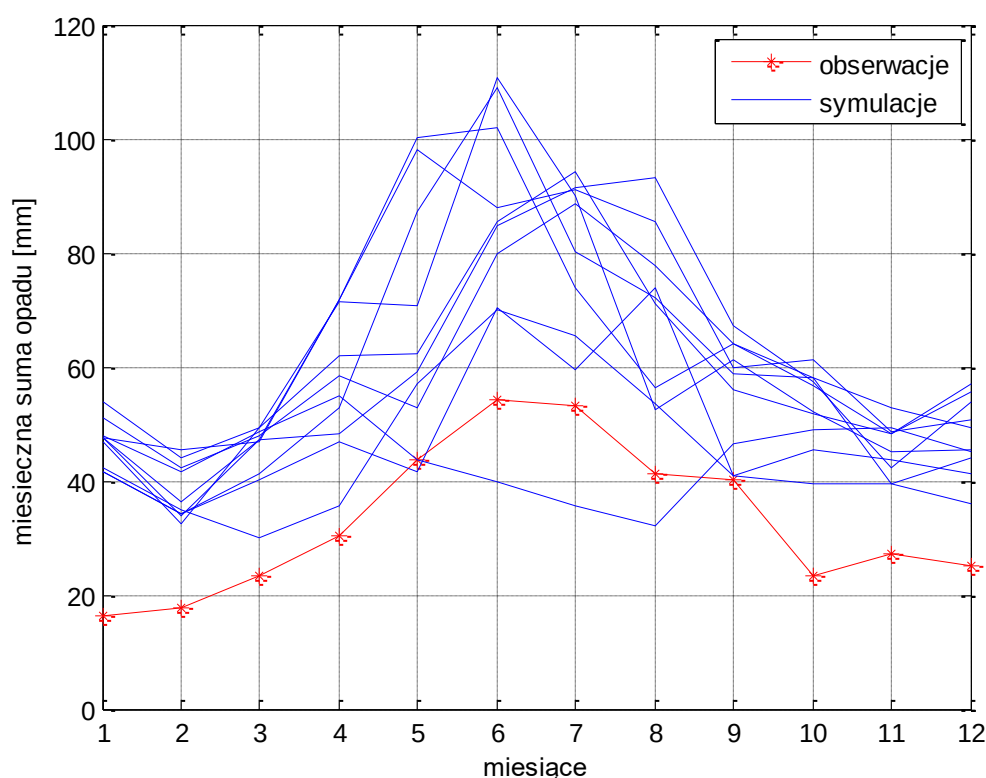
RYSUNEK 6 PORÓWNIE BŁĘDÓW SYMULACJI [°C] Z WYKORZYSTANIEM ANALIZY ANOVA ZE WZGLĘDU NA RÓŻNICE W BŁĘDACH OSZACOWAŃ TEMPERATURY ŚREDNIEJ DOBOWEJ POMIĘDZY DZIESIĘCIOMA RÓŻNYMI MODELAMI KLIMATYCZNYMI ORAZ DLA POSZCZEGÓLNYCH MIESIĘCY.

Ze względu na znaczne różnice pomiędzy obserwacjami oraz symulacjami w okresie 1977-2000 została przeprowadzona korekcja błędów systematycznych. Korekcję przeprowadzono metoda mapowania kwantyli z wykorzystaniem rozkładu wartości ekstremalnej niezależnie dla poszczególnych miesięcy. W wyniku korekcji uzyskano bardziej realistyczne wyniki symulacji analizowanych indeksów dla okresu referencyjnego.

Dobowe sumy opadu

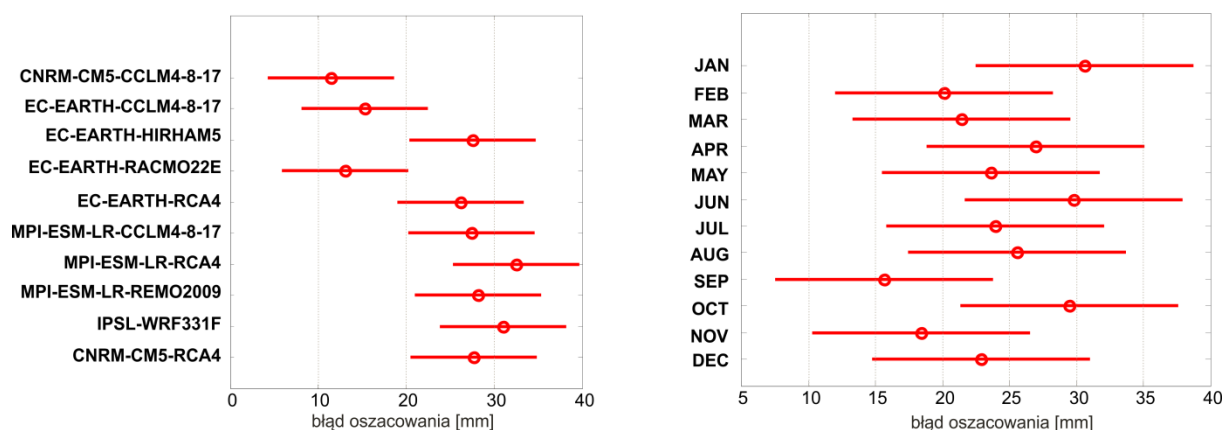
Porównanie z obserwacjami w Kozienicach

Wyniki symulacji dobowych sum opadu dla dziesięciu modeli klimatycznych zostały porównane z obserwacjami na stacji meteorologicznej w Kozienicach. Ze względu na długość dostępnych obserwacji porównywano dane z okresu 01.01.1977-31.12.2000. Wyznaczone średnie miesięczne sumy opadu z tego okresu przedstawione są na Rysunku 7. Widoczne są różnice pomiędzy symulacjami a obserwacjami.



RYСУNEK 7 PORÓWNAŃE SYMULOWANYCH I OBSERWOWANYCH ŚREDNICH MIESIĘCZNYCH SUM OPADÓW Z OKRESU 01.01.1977-31.12.2000.

Oszacowanie błędów symulacji temperatury średniej dobowej przedstawione jest na poniższym rysunku. Na wykresie po lewej stronie pokazane są średnie błędy otrzymane dla poszczególnych modeli klimatycznych. Największe błędy symulacji otrzymano dla wyników modelu MPI-ESM-LR-RCA4 (32.5 mm/miesiąc). Najmniejsze błędy oszacowań występują dla wyników modelu CMRM-CM5-CCLM4-8-17. Na wykresie przedstawionym po prawej stronie Rysunku 8 pokazano średnie błędy symulacji sum opadu wyznaczone dla poszczególnych miesięcy. Widoczne jest, że symulacje są za wysokie w stosunku do obserwacji dla wszystkich miesięcy.

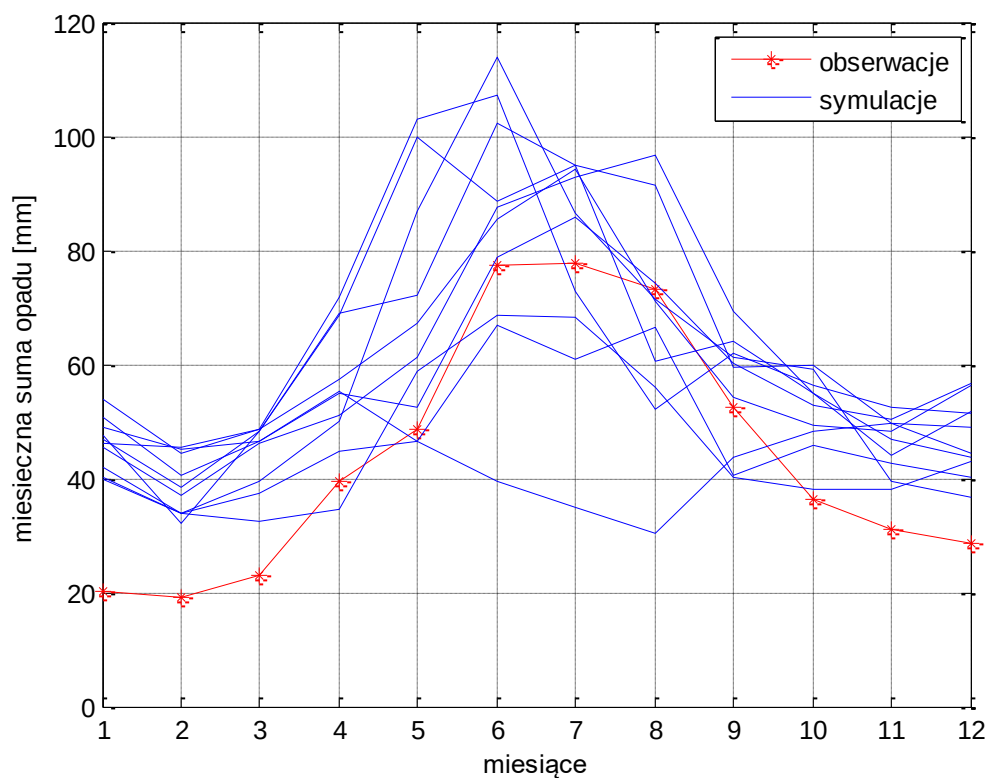


RYSUNEK 8 PORÓWNIE BŁĘDÓW SYMULACJI [MM/MIESIĄC] Z WYKORZYSTANIEM ANALIZY ANOVA ZE WZGLEDU NA RÓŻNICE W BŁĘDACH OSZACOWAŃ POMIĘDZY DZIESIĘCIOMA RÓŻNYMI MODELAMI KLIMATYCZNYMI ORAZ DLA POSZCZEGÓLNYCH MIESIĘCY.

Ze względu na znaczne różnice pomiędzy obserwacjami oraz symulacjami w okresie 1977-2000 została przeprowadzona korekcja błędów systematycznych. Korekcję przeprowadzono metoda mapowania kwantyli z wykorzystaniem rozkładu gamma niezależnie dla poszczególnych miesięcy. W wyniku korekcji uzyskano bardziej realistyczne wyniki symulacji analizowanych indeksów dla okresu referencyjnego.

Porównanie z obserwacjami w Łaziskach

Wyniki symulacji porównano również z obserwacjami na stacji meteorologicznej w Łaziskach. W tym przypadku porównywano dane dla całego okresu referencyjnego (01.01.1971-31.12.2000). Wyniki porównania przedstawione są na poniższym wykresie. Podobnie jak dla porównania z obserwacjami w Kozienicach widoczne są różnice pomiędzy obserwacjami a symulacją. Lepsze jest dopasowanie dla lata, kiedy są znacznie mniejsze różnice pomiędzy symulacjami a obserwacjami w Łaziskach.

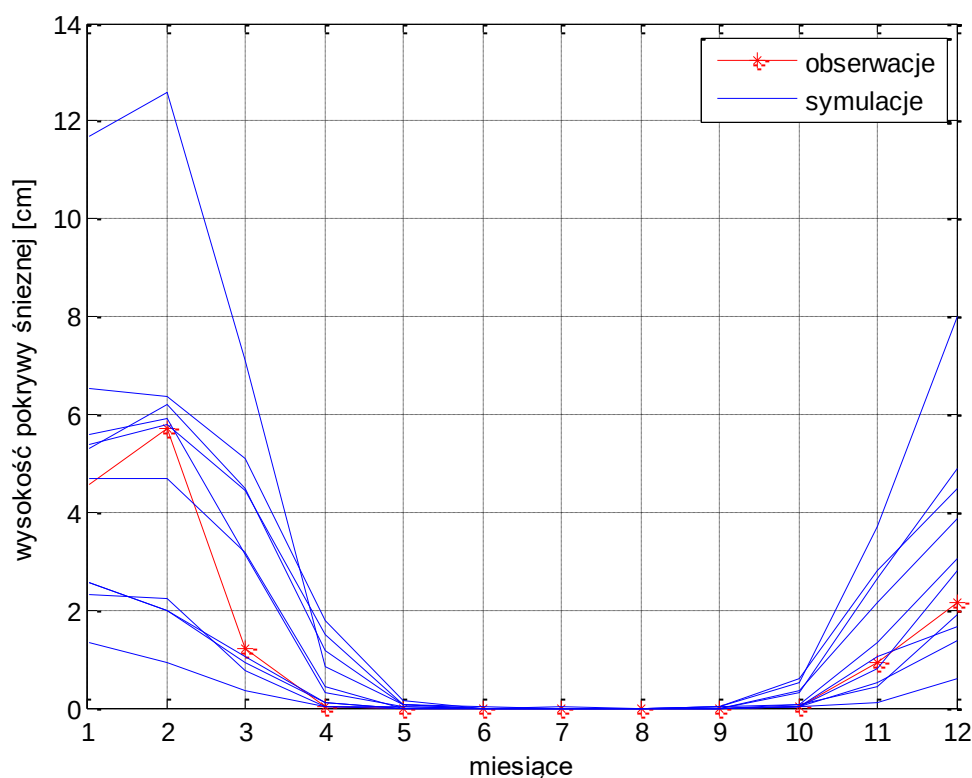


RYSUNEK 9 PORÓWNANIE MIESIĘCZNYCH SUM OPADOWYCH Z OKRESU 1971-2000 SYMULOWANEGO PRZEZ DZIESIĘĆ MODELI KLIMATYCZNYCH Z OBSERWACJAMI NA STACJI METEOROLOGICZNEJ W ŁAZISKACH.

W opracowaniu korekcje opadu przeprowadzono niezależnie na podstawie obserwacji z Kozienic oraz Łazisk. Na podstawie skorygowanych serii czasowych wyznaczono wskaźniki ekspozycji. W kolejnym kroku porównano wyniki otrzymane dla obu skorygowanych serii czasowych. Ze względu na brak różnic w tendencjach oraz nieistotne statystycznie różnice w intensywnościach zmian wyniki skorygowane przedstawione w kolejnych rozdziałach dotyczą serii skorygowanych na podstawie obserwacji w Kozienicach.

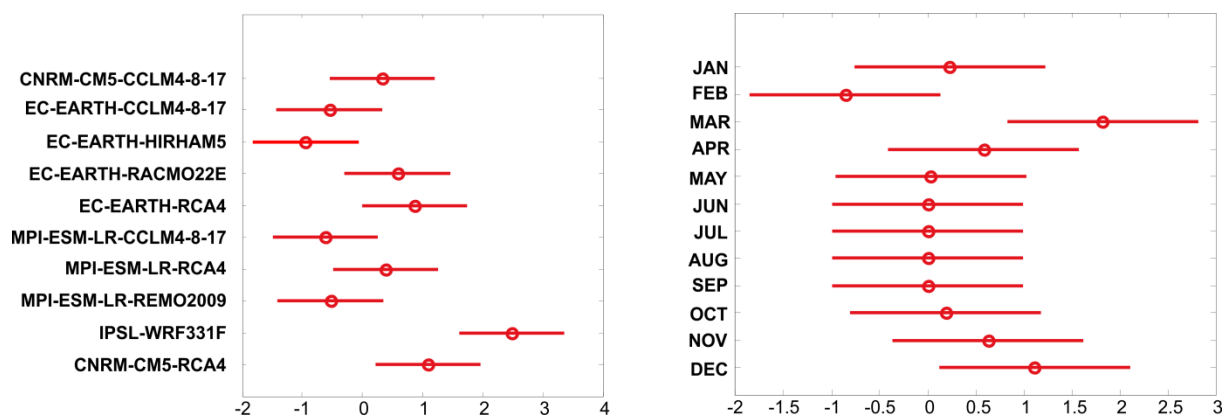
Wysokość pokrywy śnieżnej

Wyniki symulacji dobowych sum opadu dla dziesięciu modeli klimatycznych zostały porównane z obserwacjami na stacji meteorologicznej w Kozienicach. Ze względu na długość dostępnych obserwacji porównywano dane z okresu 01.01.1977-31.12.2000. Wyznaczone średnie miesięczne sumy opadu z tego okresu przedstawione są na Rysunku 10. Widoczne są różnice pomiędzy symulacjami a obserwacjami.



RYСУNEK 10 PORÓWNANIE SYMULOWANYCH I OBSERWOWANYCH ŚREDNICH MIESIĘCZNYCH WYSOKOŚCI POKRYWY ŚNIEŻNEJ Z OKRESU 01.01.1977-31.12.2000.

Oszacowanie błędów symulacji wysokości pokrywy śnieżnej przedstawione jest na poniższym rysunku. Na wykresie po lewej stronie dokazane są średnie błędy otrzymane dla poszczególnych modeli klimatycznych. Największe błędy symulacji otrzymano dla wyników modelu IPSL-WRF331F (2.5 cm). Na wykresie przedstawionym po prawej stronie Rysunku 11 pokazano średnie błędy symulacji sum opadu wyznaczone dla poszczególnych miesięcy. Widoczne jest, że symulacje w lutym są zaniżone natomiast w pozostałych miesiącach zimowych są zawyżone.



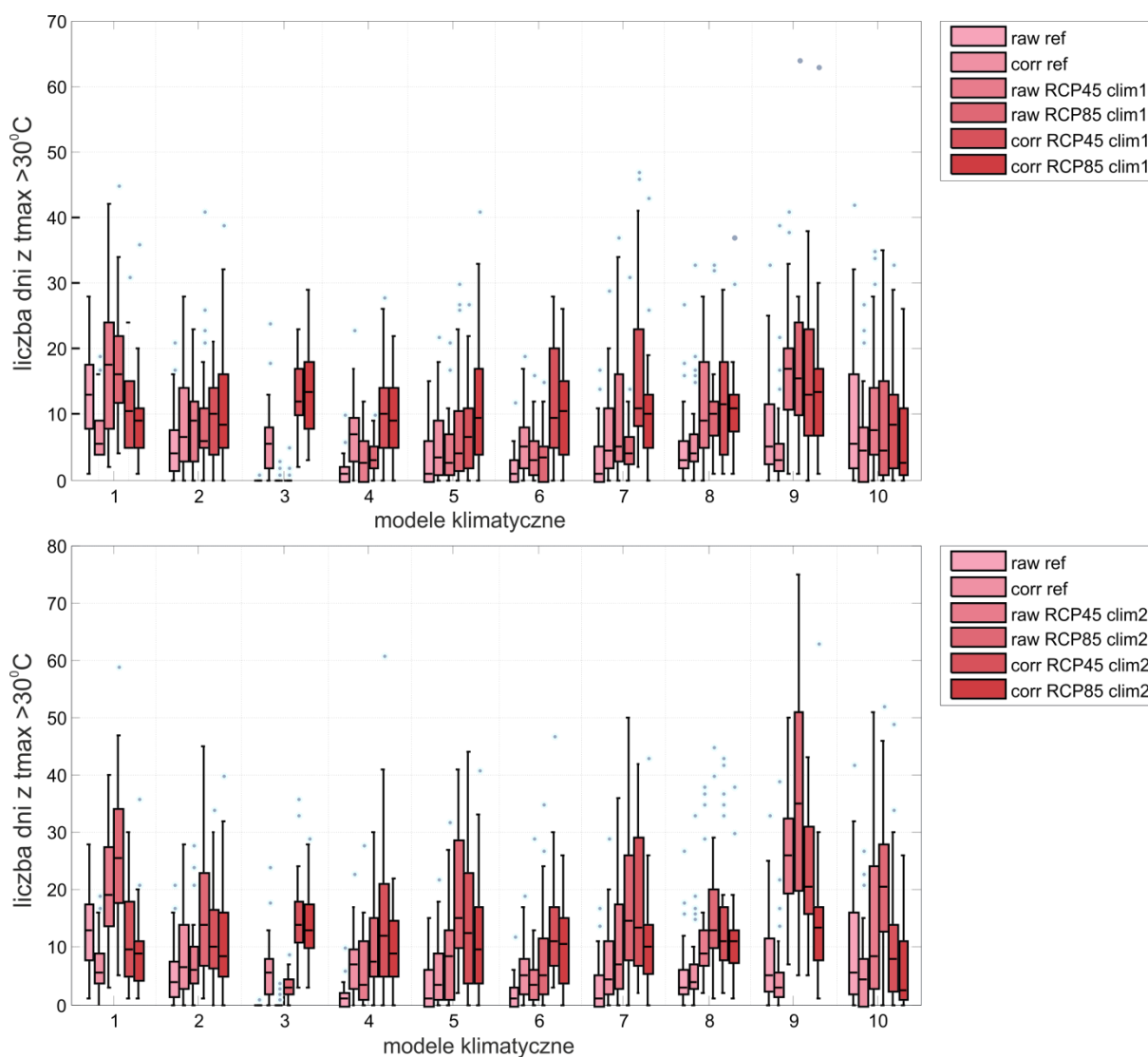
RYSUNEK 11 PORÓWNIE BŁĘDÓW SYMULACJI [CM] Z WYKORZYSTANIEM ANALIZY ANOVA ZE WZGLĘDU NA RÓŻNICE W BŁĘDACH OSZACOWAŃ POMIĘDZY DZIESIĘCIOMA RÓŻNYMI MODELAMI KLIMATYCZNYMI ORAZ DLA POSZCZEGÓLNYCH MIESIĘCY.

Ze względu na znaczne różnice pomiędzy obserwacjami oraz symulacjami w okresie 1977-2000 została przeprowadzona korekcja błędów systematycznych. Korekcję przeprowadzono metoda mapowania kwantyli z wykorzystaniem rozkładu log-normalnego niezależnie dla poszczególnych miesięcy. W wyniku korekcji uzyskano bardziej realistyczne wyniki symulacji analizowanych indeksów dla okresu referencyjnego.

Oszacowanie przyszłych zmian

Liczba dni z temperaturą maksymalną wyższą niż 30°C

Zgodnie z metodyką przedstawioną w poprzedniej części, wyznaczono liczbę dni z temperaturą maksymalną wyższą niż 30°C dla trzech analizowanych okresów 1971-2000, 2021-2050, 2071-2100 dla skorygowanych i nieskorygowanych symulacji dziesięciu modeli klimatycznych. Zmienność liczby dni z temperaturą maksymalną wyższą niż 30°C przedstawiona jest na poniższym wykresie w postaci wykresu pudełkowego (Rysunek 12). Dla każdego modelu przedstawiono zmienność liczby dni z temperaturą maksymalną wyższą niż 30°C w ciągu analizowanego trzydziestolecia. Na górnym wykresie pokazano wyniki dla okresu referencyjnego (1971-2000) oraz dla okresu clim1 (2021-2050). Wykres przedstawia medianę (środek pudełka), kwartyle (dolna i górna granica pudełka), obserwacje odstające (zaznaczane kropkami) oraz maksimum i minimum po usunięciu obserwacji odstających. Widoczne jest zróżnicowanie otrzymanych wyników w zależności od modelu klimatycznego, scenariusza emisji oraz zastosowania korekcji błędów systematycznych.



RYСУNEK 12 ZMIENNOŚĆ LICZBY DNI Z TEMPERATURĄ MAKSYMALNĄ WYŻSZĄ NIŻ 30°C W CIĄGU TRZYDZIESTOLECIA. WYKRES PRZEDSTAWIA MEDIANĘ (ŚRODEK PUDEŁKA), KWARTYLE (DOLNA I GÓRNA GRANICA

PUDEŁKA), OBSERWACJE ODSTAJĄCE (ZAZNACZANE KROPKAMI) ORAZ MAKSYMUM I MINIMUM PO USUNIĘCIU OBSERWACJI ODSTAJĄCYCH.

TABELA 6 OSZACOWANIA LICZBY DNI W CIĄGU ROKU KALENDARZOWEGO Z TEMPERATURĄ MAKSYMALNĄ DOBOWĄ WYŻSZĄ NIŻ 30°C. WARTOŚCI ŚREDNIE DLA 30-LECIA 1971-2000 NA PODSTAWIE WIĄZKI SUROWYCH ORAZ SKORYGOWANYCH SYMULACJI DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

Dane surowe		Dane skorygowane
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	13.6	7.1
EC-EARTH-CCLM4-8-17	6.2	7.9
EC-EARTH-HIRHAM5	0.0	6.5
EC-EARTH-RACMO22E	1.9	7.0
EC-EARTH-RCA4	4.0	5.9
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	1.8	6.4
MPI-ESM-LR-RCA4	3.0	6.6
MPI-ESM-LR-REMO2009	5.7	6.6
IPSL-WRF331F	8.1	6.2
CNRM-CM5-RCA4	9.1	6.0
Średnia z wiązki	5.3	6.6
Wartość maksymalna z wiązki	13.6	7.9
Wartość minimalna z wiązki	0.0	5.9

Na podstawie wyznaczonych wartości indeksu obliczono zmiany średniej z trzydziestolecia pomiędzy dwoma przyszłymi okresami, 2021-2050 i 2071-2100 a okresem referencyjnym 1971-2000. Wyniki obliczeń przedstawione są w Tabeli 7.

TABELA 7 ZMIANY LICZBY DNI Z TEMPERATURĄ MAKSYMALNĄ DOBOWĄ WYŻSZĄ NIŻ 30°C NA PODSTAWIE DANYCH Z DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH. OSZACOWANIA ZMIAN NA PODSTAWIE ŚREDNIEJ Z TRZYDZIESTOLECIA.

	Dane surowe				Dane skorygowane			
	clim1-ref		clim2-ref		clim1-ref		clim2-ref	
	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	4.9	4.4	6.7	12.9	3.0	4.7	3.1	3.8
EC-EARTH-CCLM4-8-17	1.9	3.1	1.9	10.1	3.6	3.2	3.6	1.6
EC-EARTH-HIRHAM5	0.3	0.4	0.6	3.2	7.6	8.7	7.8	6.3
EC-EARTH-RACMO22E	1.5	1.9	4.2	8.0	2.9	8.2	2.8	3.4
EC-EARTH-RCA4	0.5	3.9	4.9	14.7	6.5	8.9	6.4	2.1

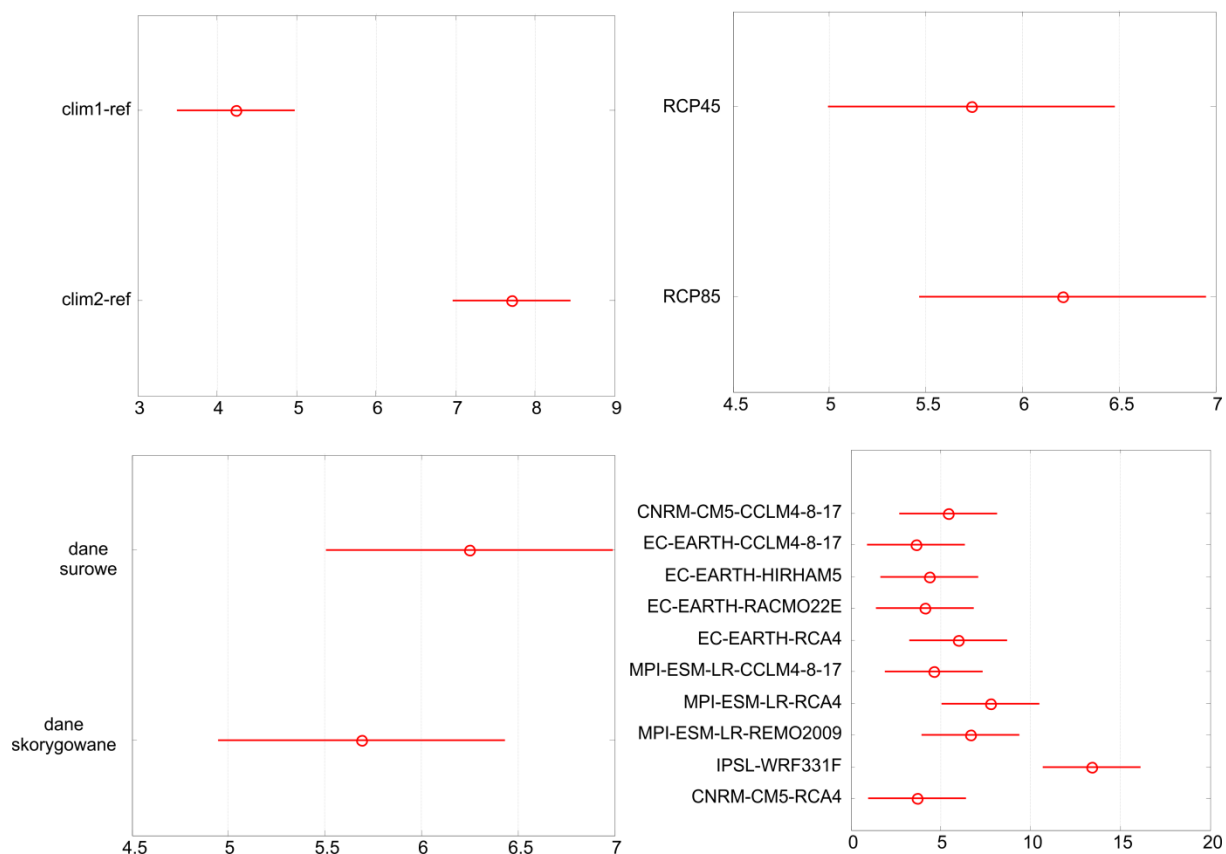
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	2.7	2.3	3.3	6.9	4.5	7.3	4.4	5.5
MPI-ESM-LR-RCA4	7.6	2.9	7.6	13.6	4.6	11.1	4.5	10.2
MPI-ESM-LR-REMO2009	6.1	4.7	7.5	10.2	5.3	8.4	5.1	6.0
IPSL-WRF331F	9.9	10.1	17.2	28.3	8.5	16.3	8.3	8.8
CNRM-CM5-RCA4	2.5	-0.2	4.0	12.5	0.9	5.5	0.9	3.1
Średnia z wiązki	3.8	3.4	5.8	12.0	4.7	8.2	4.7	5.1
Wartość minimalna z wiązki	0.3	-0.2	0.6	3.2	0.9	3.2	0.9	1.6
Wartość maksymalna z wiązki	9.9	10.1	17.2	28.3	8.5	16.3	8.3	10.2

W kolejnym kroku oszacowano rozrzut w otrzymywanych wynikach w zależności od analizowanego okresu czasu, scenariusza emisji, korekcji danych oraz modeli klimatycznych. Rysunek 13 przedstawia wyniki szacowanych zmian w liczbie dni w ciągu roku z temperaturą maksymalną wyższą niż 30°C. Wykresy w górnym rzędzie po lewej stronie przedstawia oszacowania zmian dla dwóch przyszłych okresów clim1 (2021-2050) i clim2 (2071-2100) w stosunku do okresu referencyjnego (1971-2000). Otrzymane wyniki wskazują na wzrost wartości średniej o 4.2 i 7.7 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100.

Porównanie zmian liczby dni w ciągu roku z temperaturą maksymalną wyższą niż 30°C pomiędzy scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5 (wykres w górnym rzędzie po prawej stronie) wskazuje, że większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP8.5 (zmiany o 6.2 dnia) niż dla RCP4.5 (zmiany o 5.7 dnia). Jednak różnice w estymowanych zmianach nie są statystycznie istotne.

W dolnym rzędzie po lewej stronie przedstawione jest porównanie otrzymanych wyników dla danych surowych oraz skorygowanych. Większe zmiany otrzymano dla danych surowych (6.3 dnia) niż dla danych skorygowanych (5.7 dnia). Różnice te nie są istotne statystycznie.

Porównanie szacowanych zmian w liczbie dni w ciągu roku z temperaturą maksymalną wyższą niż 30°C pomiędzy dziesięcioma modelami klimatycznymi przedstawione jest na rysunku w dolnym rzędzie po prawej stronie. Oszacowania te, we wszystkich przypadkach wskazują na wzrost liczby dni z temperaturą maksymalną większą niż 30°C, lecz w zależności od modelu różnią się intensywnością zmian. Najmniejsze zmiany otrzymano dla wyników modelu EC-EARTH-CCLM4-8-17 (średnia z wielolecia zmiana o 3.6 dnia) natomiast największe dla modelu IPSL-WRF331F (średnia zmian o 13.4 dnia).



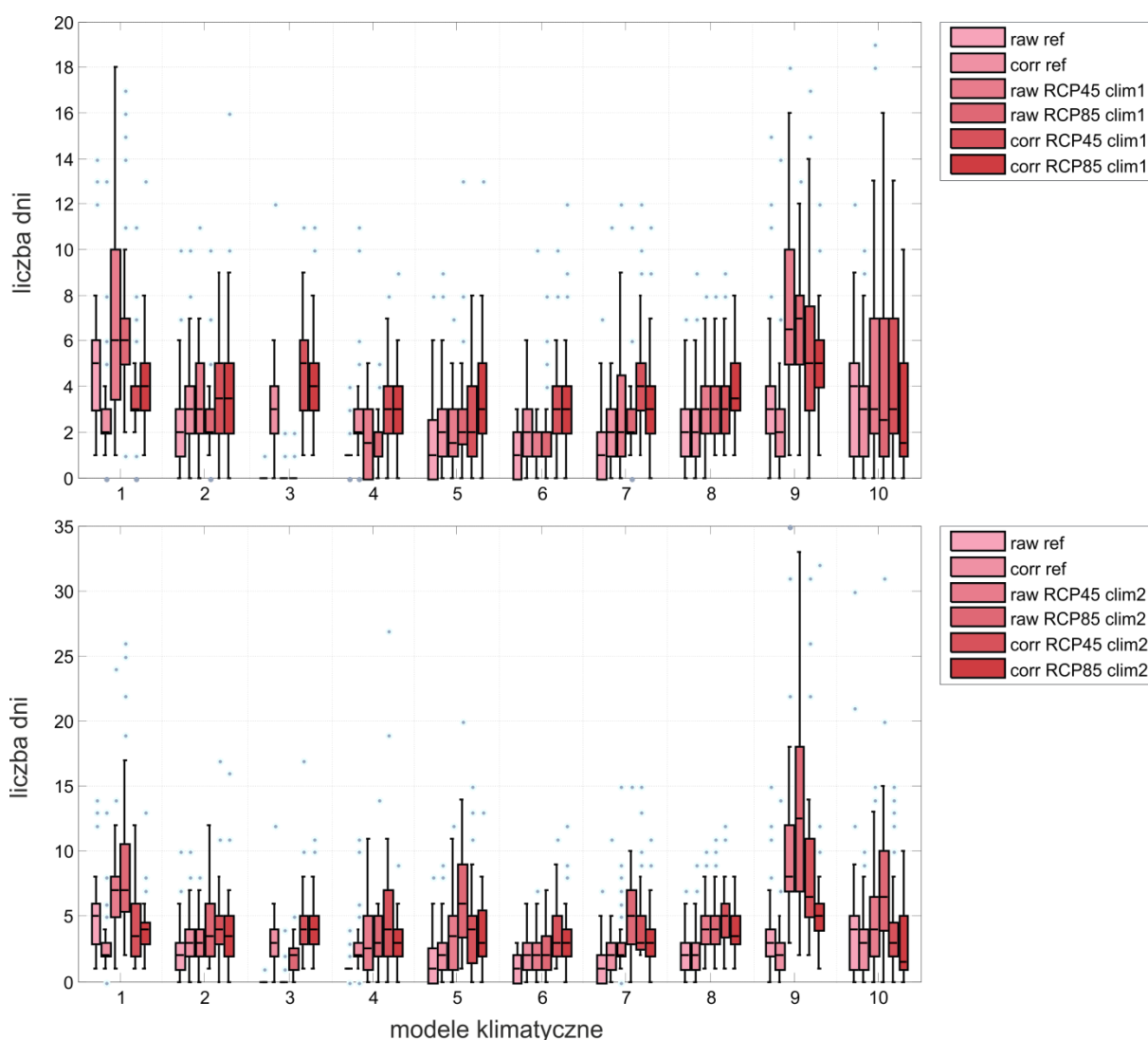
RYСУNEK 13 OSZACOWANIA ZMIAN LICZBY DNI Z TEMPERATURĄ MAKSYMALNĄ DOBOWĄ WYŻSZĄ NIŻ 30°C. ANALIZA ROZRZUTU OTRZYMANYCH WYNIKÓW W ZALEŻNOŚCI OD ANALIZOWANEGO OKRESU, SCENARIUSZA EMISJI, KOREKCJI DANYCH ORAZ MODELU KLIMATYCZNEGO.

PODSUMOWANIE

Wyniki modeli klimatycznych wskazują na zwiększenie liczby dni z temperaturą maksymalną większą niż 30°C o 4.2 i 7.7 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100. Porównanie zmian pomiędzy scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5 wskazuje, że większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP8.5 (zmiany o 6.2 dnia) niż dla RCP4.5 (zmiany o 5.7 dnia). Porównanie otrzymanych wyników dla danych surowych oraz skorygowanych wskazuje, że większe zmiany otrzymano dla danych surowych (6.3 dnia) niż dla danych skorygowanych (5.7 dnia). Oszacowania te dla wszystkich analizowanych modeli klimatycznych wskazują na wzrost liczby dni z temperaturą maksymalną większą niż 30°C, lecz w zależności od modelu różnią się intensywnością zmian.

Najdłuższy okres z temperaturą maksymalną większą niż 30 °C

Drugim analizowanym indeksem jest liczba dni najdłuższego okresu w ciągu roku kalendarzowego z maksymalną dobową temperaturą powietrza wyższą niż 30°C. Wartości tego indeksu zostały wyznaczone dla trzech analizowanych okresów 1971-2000, 2021-2050, 2071-2100 dla skorygowanych i nieskorygowanych symulacji dziesięciu modeli klimatycznych. Zmienność tego indeksu w ciągu trzydziestolecia przedstawiona jest na poniższym wykresie w postaci wykresu pudełkowego (Rysunek 14). Wykres przedstawia medianę (środek pudełka), kwartyle (dolna i górna granica pudełka), obserwacje odstające (zaznaczane kropkami) oraz maksimum i minimum po usunięciu obserwacji odstających. Widoczne są różnice w oszacowaniach w zależności od modelu klimatycznego, scenariusza emisji oraz korekcji błędów systematycznych.



RYСУNEK 14 ZMIENNOŚĆ DŁUGOŚCI NAJDŁUŻSZEGO OKRESU W CIĄGU ROKU KALENDARZOWEGO Z TEMPERATURĄ MAKSYMALNĄ WYŻSZĄ NIŻ 30°C W CIĄGU TRZYDZIESTOLECIA. WYKRES PRZEDSTAWIA MEDIANĘ (ŚRODEK PUDEŁKA), KWARTYLE (DOLNA I GÓRNA GRANICA PUDEŁKA), OBSERWACJE ODSTAJĄCE (ZAZNACZANE KROPKAMI) ORAZ MAKSYMUM I MINIMUM PO USUNIĘCIU OBSERWACJI ODSTAJĄCYCH.

TABELA 8 OSZACOWANIA NAJDŁUŻSZEGO OKRESU W CIĄGU ROKU KALENDARZOWEGO Z TEMPERATURĄ MAKSYMALNĄ WYŻSZĄ NIŻ 30°C. WARTOŚCI ŚREDNIE DLA 30-LECIA 1971-2000 NA PODSTAWIE WIĄZKI SUROWYCH ORAZ SKORYGOWANYCH SYMULACJI DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

	Dane surowe [liczba dni]	Dane skorygowane [liczba dni]
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	5.5	3.4
EC-EARTH-CCLM4-8-17	2.9	3.3
EC-EARTH-HIRHAM5	0.0	2.8
EC-EARTH-RACMO22E	1.1	3.1
EC-EARTH-RCA4	2.1	2.4
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	0.9	2.4
MPI-ESM-LR-RCA4	1.3	2.3
MPI-ESM-LR-REMO2009	2.5	2.9
IPSL-WRF331F	4.0	2.7
CNRM-CM5-RCA4	5.1	2.9
Średnia z wiązki	2.6	2.8
Wartość maksymalna z wiązki	5.5	3.4
Wartość minimalna z wiązki	0.0	2.3

Na podstawie wyznaczonych średnich z trzydziestolecia obliczono zmiany pomiędzy dwoma przyszłymi okresami, 2021-2050 i 2071-2100 a okresem referencyjnym 1971-2000. Wyniki obliczeń przedstawione są w Tabeli 9 dla danych surowych oraz danych skorygowanych.

TABELA 9 ZMIANY CZASU TRWANIA NAJDŁUŻSZEGO OKRESU Z TEMPERATURĄ MAKSYMALNĄ WYŻSZĄ NIŻ 30°C NA PODSTAWIE DANYCH SUROWYCH ORAZ SKORYGOWANYCH Z DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

	Dane surowe				Dane skorygowane			
	clim1-ref		clim2-ref		clim1-ref		clim2-ref	
	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	1.7	1.3	1.6	4.0	0.5	0.8	0.8	0.6
EC-EARTH-CCLM4-8-17	0.5	0.3	0.3	1.6	0.6	0.7	0.9	1.0
EC-EARTH-HIRHAM5	0.2	0.2	0.5	1.8	1.9	1.4	1.9	1.4
EC-EARTH-RACMO22E	0.5	0.8	2.1	2.7	0.3	0.3	2.7	0.3
EC-EARTH-RCA4	0.0	1.1	1.5	4.7	0.4	1.6	2.0	1.6
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	0.9	1.1	1.3	1.9	1.1	1.3	1.7	1.3

MPI-ESM-LR-RCA4	2.7	1.3	2.0	3.8	2.7	1.5	2.5	1.5
MPI-ESM-LR-REMO2009	0.8	1.0	1.7	2.0	0.6	1.1	2.0	1.1
IPSL-WRF331F	4.0	4.0	7.3	11.0	3.5	3.0	6.0	3.0
CNRM-CM5-RCA4	0.1	-1.1	0.1	2.7	1.0	0.2	1.9	0.2
Średnia z wiązki	1.1	1.0	1.9	3.6	1.3	1.2	2.2	1.2
Wartość minimalna z wiązki	0.0	-1.1	0.1	1.6	0.3	0.2	0.8	0.2
Wartość maksymalna z wiązki	4.0	4.0	7.3	11.0	3.5	3.0	6.0	3.0

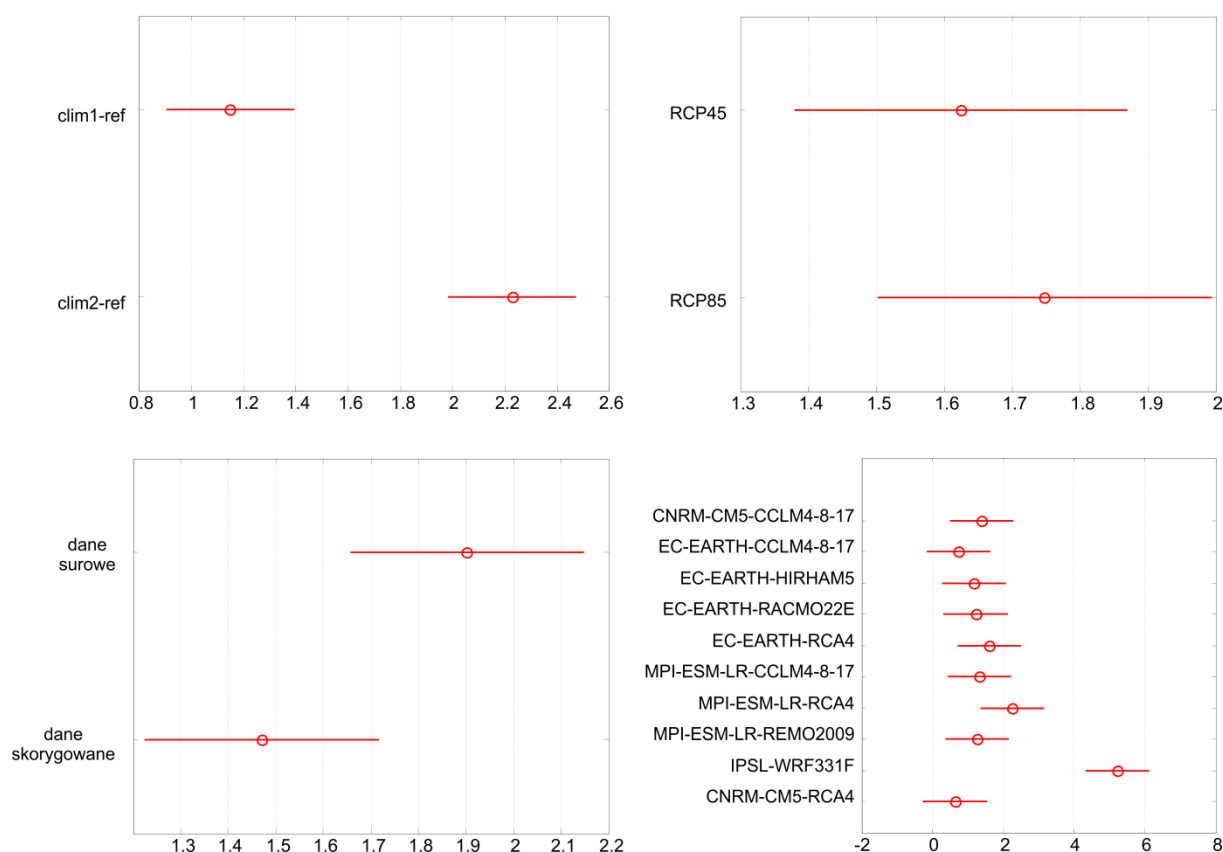
W kolejnym kroku oszacowano rozrzut w otrzymywanych wynikach (zmiany długości najdłuższego okresu w roku z temperaturą maksymalną większą niż 30 °C) w zależności od analizowanego okresu, scenariusza emisji, korekcji danych oraz modelu klimatycznego. Wyniki przedstawione są na Rysunku 15.

Wykres w górnym rzędzie po lewej stronie przedstawia oszacowania zmian dla dwóch przyszłych okresów clim1 (2021-2050) i clim2 (2071-2100) w stosunku do okresu referencyjnego (1971-2000). Otrzymane wyniki wskazują na wzrost wartości średniej o 1.2 i 2.2 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100.

Porównanie zmian najdłuższego okresu w roku z temperaturą maksymalną wyższą niż 30°C pomiędzy scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5 (wykres w górnym rzędzie po prawej stronie) wskazuje, że większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP 8.5 (1.8 dnia) niż dla RCP4.5 (1.6 dnia). Różnice pomiędzy wynikami dla obu scenariuszy emisji nie są statystycznie istotne.

W dolnym rzędzie po lewej stronie przedstawione jest porównanie otrzymanych wyników dla danych surowych oraz skorygowanych. Większe zmiany otrzymano dla danych surowych (1.9 dnia) niż dla danych skorygowanych (1.5 dnia). Różnice te nie są istotne statystycznie.

Porównanie szacowanych zmian w długości najdłuższego okresu w roku z temperaturą maksymalną wyższą niż 30°C pomiędzy dziesięcioma modelami klimatycznymi pokazane jest na wykresie w dolnym rzędzie po prawej stronie. Oszacowanie te we wszystkich przypadkach wskazują na wydłużenie okresu z $T_{max} > 30^{\circ}C$, lecz w zależności od modelu różnią się intensywnością zmian. Najmniejsze zmiany otrzymano dla wyników modelu CNRM-CM-RCA4 (zmiana o 0.6 dnia) natomiast największe dla modelu IPSL-WRF331F (średnia zmiana o 5.2 dnia).



RYSUNEK 15 OSZACOWANIA ZMIAN NAJDŁUŻSZEGO OKRESU Z TEMPERATURĄ MAKSYMALNĄ DOBOWĄ WYŻSZĄ NIŻ 30°C. ANALIZA ROZRZUTU OTRZYMANYCH WYNIKÓW W ZALEŻNOŚCI OD ANALIZOWANEGO OKRESU, SCENARIUSZA EMISJI, KOREKCJI DANYCH ORAZ MODELU KLIMATYCZNEGO.

PODSUMOWANIE

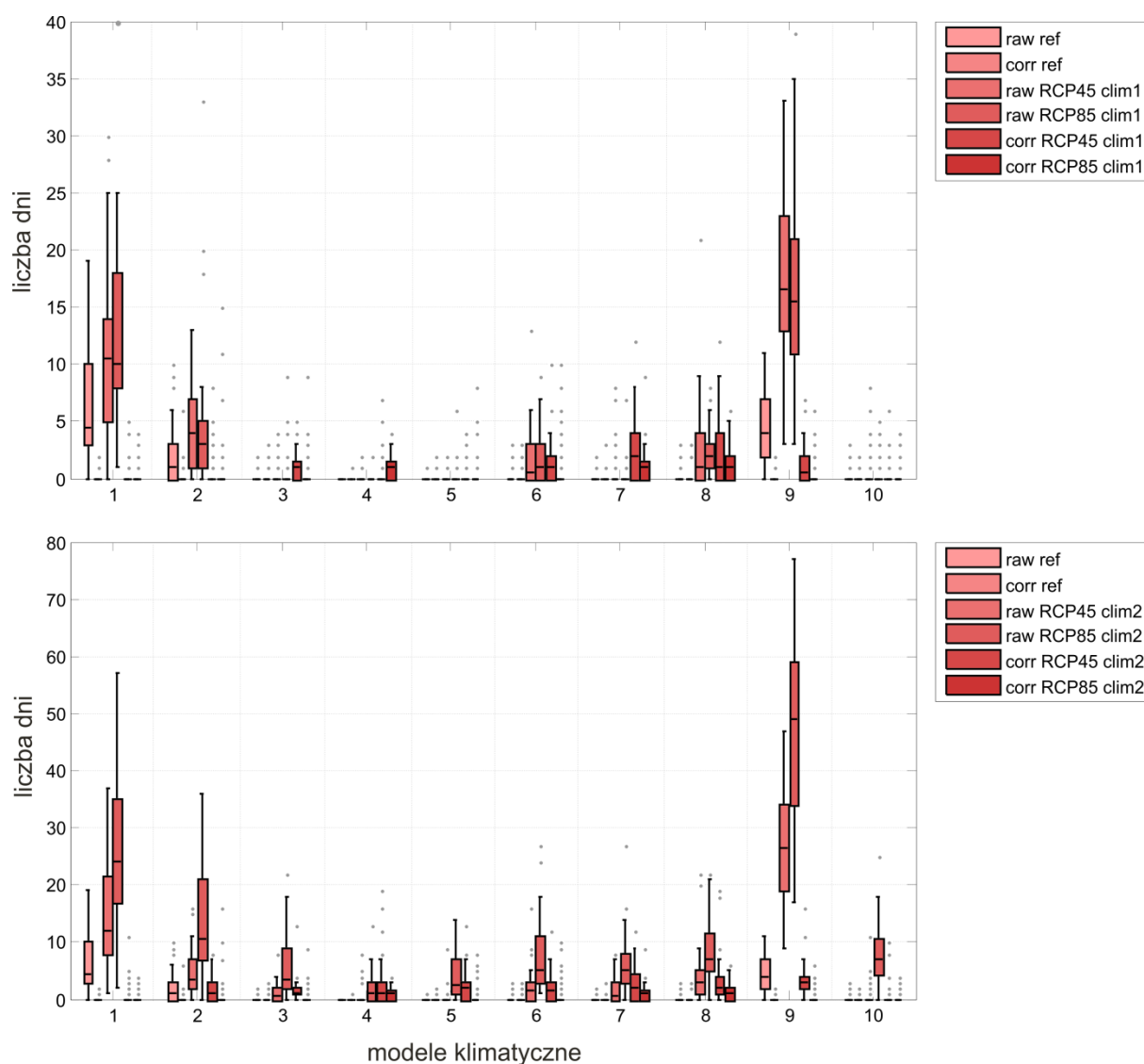
Wyniki dziesięciu analizowanych modeli klimatycznych wskazują na wydłużenie najdłuższego okresu w roku z temperaturą maksymalną większą niż 30°C o 1.2 i 2.2 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100.

Porównanie zmian długości najdłuższego okresu w roku z temperaturą maksymalną wyższą niż 30°C pomiędzy scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5 wskazuje, że większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP 8.5 (1.8 dnia) niż dla RCP4.5 (1.6 dnia).

Większe zmiany otrzymano dla danych surowych (1.9 dnia) niż dla danych skorygowanych (1.5 dnia). Porównanie szacowanych zmian pomiędzy dziesięcioma modelami klimatycznymi wskazuje na wydłużenie okresu z $T_{max} > 30^{\circ}\text{C}$, lecz w zależności od modelu różnią się intensywnością zmian.

Liczba dni w ciągu roku z temperaturą minimalną wyższą niż 20°C

Kolejnym analizowanym indeksem jest liczba dni w ciągu roku kalendarzowego z minimalną dobową temperaturą powietrza wyższą niż 20°C. Indeks ten opisuje liczbę tak zwanych upalnych nocy. Wartości tego indeksu zostały wyznaczone dla trzech okresów: 1971-2000, 2021-2050 i 2071-2100. Na Rysunku 16 przedstawione jest porównanie wyznaczonych wartości tego indeksu dla danych surowych oraz skorygowanych oraz dla dwóch scenariuszy emisji RCP4.5 oraz RCP8.5 w postaci wykresu pudełkowego. Wykres przedstawia medianę (środek pudełka), kwartyle (dolna i górna granica pudełka), obserwacje odstające (zaznaczane kropkami) oraz maksimum i minimum po usunięciu obserwacji odstających. Widoczne są znaczne różnice w oszacowaniach w zależności od modelu klimatycznego, scenariusza emisji, korekcji błędów systematycznych oraz analizowanego okresu.



RYСУNEK 16 ZMIENNOŚĆ LICZBY DNI Z TEMPERATURĄ MINIMALNĄ WYŻSZĄ NIŻ 20°C W CIĄGU ROKU KALENDARZOWEGO DLA TRZYDZIESTOLECIA. WYKRES PRZEDSTAWIA MEDIANĘ (ŚRODEK PUDEŁKA), KWARTYLE (DOLNA I GÓRNA GRANICA PUDEŁKA), OBSERWACJE ODSTAJĄCE (ZAZNACZANE KROPKAMI) ORAZ MAKSYMUM I MINIMUM PO USUNIĘCIU OBSERWACJI ODSTAJĄCYCH.

TABELA 10 OSZACOWANIA LICZBY DNI Z TEMPERATURĄ MINIMALNĄ DOBOWĄ NIŻSZĄ NIŻ 20°C W CIĄGU ROKU KALENDARZOWEGO. WARTOŚCI ŚREDNIE DLA 30-LECIA 1971-2000 NA PODSTAWIE WIĄZKI SUROWYCH ORAZ SKORYGOWANYCH SYMULACJI DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

	Dane surowe [liczba dni]	Dane skorygowane [liczba dni]
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	6.6	0.2
EC-EARTH-CCLM4-8-17	2.1	0.4
EC-EARTH-HIRHAM5	0.2	0.3
EC-EARTH-RACMO22E	0.0	0.1
EC-EARTH-RCA4	0.1	0.2
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	0.4	0.3
MPI-ESM-LR-RCA4	0.1	0.2
MPI-ESM-LR-REMO2009	0.4	0.2
IPSL-WRF331F	4.7	0.1
CNRM-CM5-RCA4	0.3	0.2
Średnia z wiązki	1.5	0.2
Wartość maksymalna z wiązki	6.6	0.4
Wartość minimalna z wiązki	0.0	0.1

Na podstawie wyznaczonych wartości liczby dni w ciągu roku kalendarzowego z temperaturą minimalną wyższą niż 20°C dla trzech trzydziestoleci obliczono zmiany wartości średniej z wielolecia. Wyniki obliczeń dla dziesięciu modeli klimatycznych dla danych surowych oraz skorygowanych przedstawione są w Tabeli 11.

TABELA 11 ZMIANY LICZBY DNI Z TEMPERATURĄ MINIMALNĄ WYŻSZĄ NIŻ 20°C NA PODSTAWIE DANYCH SUROWYCH ORAZ SKORYGOWANYCH DLA DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

	Dane surowe				Dane skorygowane			
	clim1-ref		clim2-ref		clim1-ref		clim2-ref	
	RCP45	RCP85	RCP45	RCP85	RCP45	RCP85	RCP45	RCP85
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	4.4	5.7	8.2	19.4	0.6	0.4	1.1	0.4
EC-EARTH-CCLM4-8-17	2.2	2.6	2.5	10.7	0.8	1.4	1.5	1.4
EC-EARTH-HIRHAM5	0.5	0.7	0.9	5.6	0.8	0.8	1.6	0.8
EC-EARTH-RACMO22E	0.2	0.1	0.8	2.1	1.0	1.0	3.3	1.0
EC-EARTH-RCA4	0.1	0.4	0.5	4.4	0.5	1.0	2.1	1.1
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	1.6	1.7	2.0	7.4	1.1	1.6	1.8	1.6

MPI-ESM-LR-RCA4	1.2	0.5	1.5	6.2	2.4	1.2	2.9	1.2
MPI-ESM-LR-REMO2009	2.4	1.7	4.0	8.2	2.0	1.6	3.3	1.6
IPSL-WRF331F	12.5	13.4	21.9	43.0	1.2	0.8	3.5	0.8
CNRM-CM5-RCA4	0.7	0.6	1.5	7.1	0.4	0.5	1.3	0.5
Średnia z wiązki	2.6	2.7	4.4	11.4	1.1	1.0	2.2	1.0
Wartość minimalna z wiązki	0.1	0.1	0.5	2.1	0.4	0.4	1.1	0.4
Wartość maksymalna z wiązki	12.5	13.4	21.9	43.0	2.4	1.6	3.5	1.6

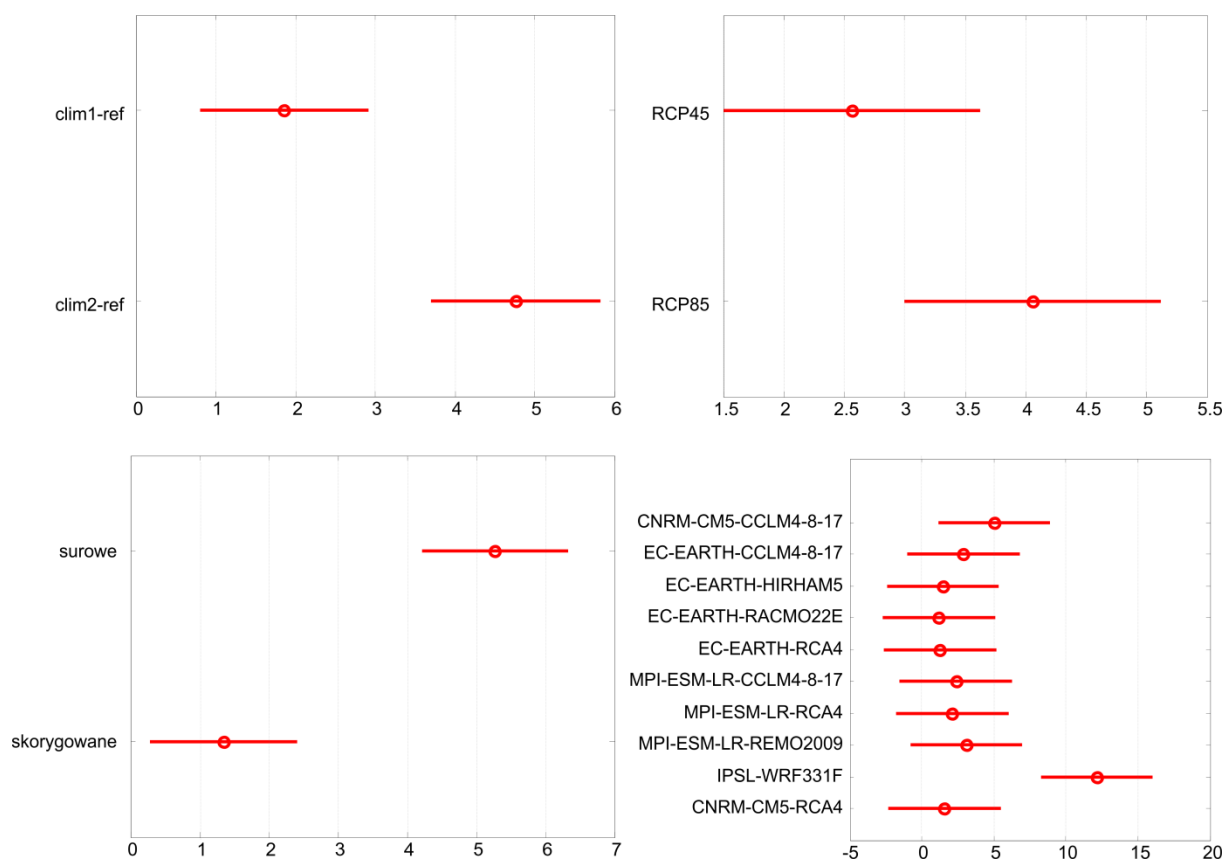
W kolejnym kroku, oszacowano rozrzut w otrzymywanych wynikach w zależności od analizowanego okresu czasu, scenariusza emisji, korekcji danych oraz modeli klimatycznych. Oszacowania zmian liczby dni z temperatura minimalną wyższą niż 20 °C przedstawione są na Rysunku 17.

Na wykresie w górnym rzędzie po lewej stronie przedstawiono oszacowania zmian dla dwóch przyszłych okresów clim1 (2021-2050) i clim2 (2071-2100) w stosunku do okresu referencyjnego (1971-2000). Otrzymane wyniki wskazują na wzrost wartości średniej o 1.9 i 4.8 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100.

Porównanie zmian liczby dni w roku z temperaturą minimalną dobową wyższą niż 20°C pomiędzy scenariuszami emisji RCP 4.5 i RCP 8.5 (wykres w górnym rzędzie po prawej stronie) wskazuje, że większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP 8.5 (4.1 dnia) niż dla RCP 4.5 (2.6 dnia). Różnice pomiędzy wynikami dla obu scenariuszy emisji nie są statystycznie istotne.

Na wykresie w dolnym rzędzie po lewej stronie przedstawione jest porównanie otrzymanych wyników dla danych surowych oraz skorygowanych. Większe zmiany otrzymano dla danych surowych (5.3 dnia) niż dla danych skorygowanych (1.4 dnia).

Porównanie szacowanych zmian liczby dni w roku z temperaturą minimalną wyższą niż 20°C pomiędzy dziesięcioma modelami klimatycznymi przedstawione jest na wykresie w dolnym rzędzie po prawej stronie. Oszacowania, we wszystkich przypadkach wskazują na wydłużenie okresu z $T_{min} > 20^{\circ}\text{C}$, lecz w zależności od modelu różnią się intensywnością zmian. Najmniejsze zmiany otrzymano dla wyników modelu EC-EARTH-RACMO22E (średnia z wielolecia zmiana o 1.2 dnia) natomiast największe dla modelu IPSL-WRF331F (średnia zmian o 12.2 dnia).



RYSUNEK 17 OSZACOWANIA ZMIAN LICZBY DNI Z TEMPERATURĄ MINIMALNĄ DOBOWĄ WYŻSZĄ NIŻ 20°C W CIĄGU ROKU KALENDARZOWEGO. ANALIZA ROZRZUTU OTRZYMANYCH WYNIKÓW W ZALEŻNOŚCI OD ANALIZOWANEGO OKRESU, SCENARIUSZA EMISJI, KOREKCJI DANYCH ORAZ MODELU KLIMATYCZNEGO.

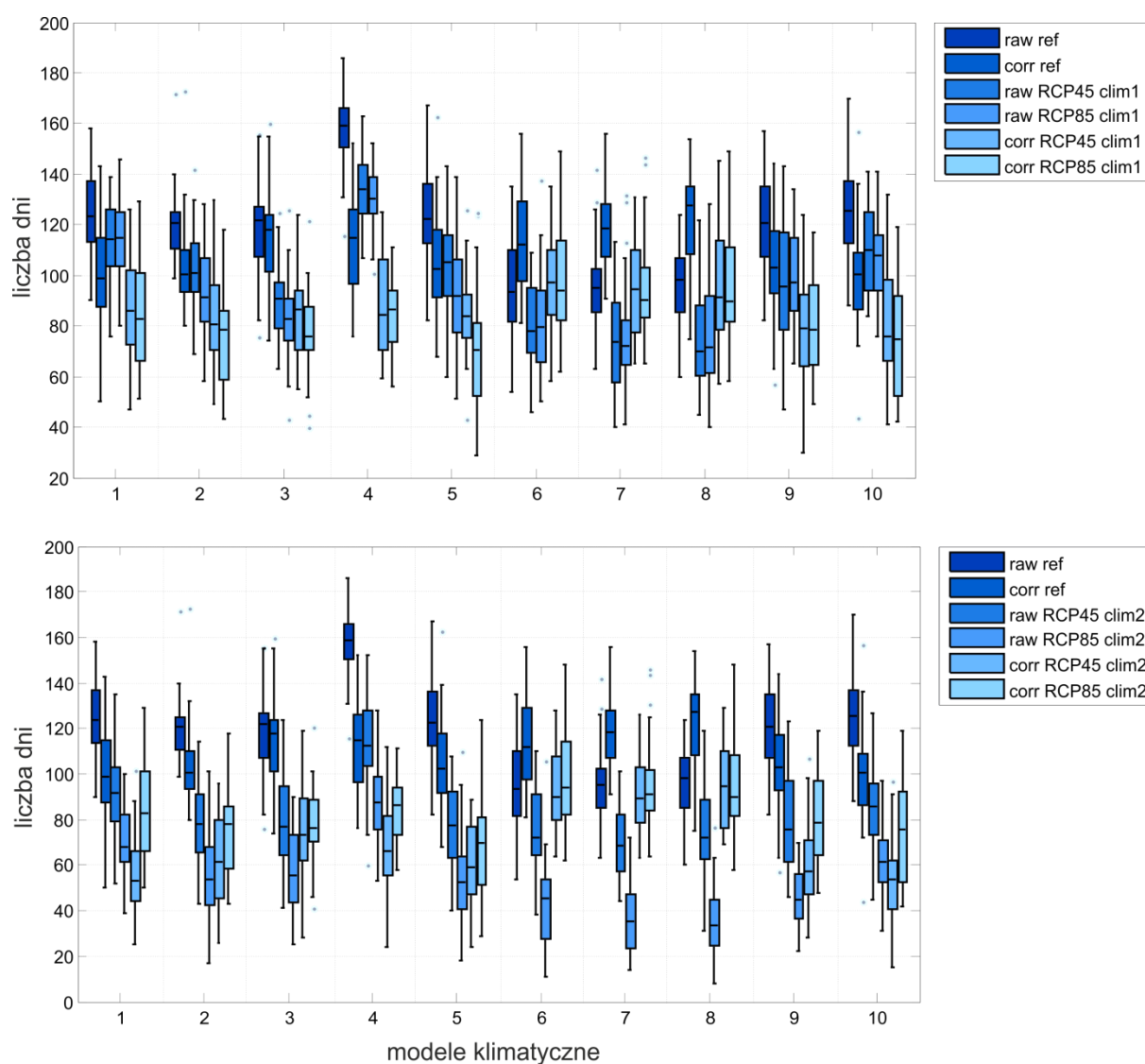
PODSUMOWANIE

Wyniki dziesięciu analizowanych modeli klimatycznych odnośnie liczby dni w roku z temperaturą minimalną dobową wyższą niż 20°C wskazują na wzrost liczby dni średnio o 1.9 i 4.8 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100.

Porównanie wyników pomiędzy scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5 wskazuje, że większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP8.5 (4.1 dnia) niż dla RCP4.5 (2.6 dnia). Porównanie otrzymanych wyników dla danych surowych oraz skorygowanych wskazuje na większe zmiany dla danych surowych (5.3 dnia) niż dla danych skorygowanych (1.4 dnia). Porównanie wyników pomiędzy dziesięcioma modelami klimatycznymi wskazuje na zgodność odnośnie kierunku zmian, we wszystkich przypadkach wskazują na wydłużenie okresu z $T_{min} > 20^{\circ}\text{C}$, lecz w zależności od modelu różnią się intensywnością zmian.

Liczba dni w roku z temperaturą minimalną dobową niższą niż 0°C

W oszacowaniach liczby dni z temperaturą minimalną dobową niższą niż 0°C wykorzystano wyniki symulacji dziesięciu modeli klimatycznych dla dwóch scenariuszy emisji RCP4.5 i RCP8.5. Opracowanie wykonano dla danych nieskorygowanych (surowych) oraz dla danych skorygowanych. Wartości tego indeksu zostały wyznaczone dla trzech okresów: 1971-2000, 2021-2050 i 2071-2100. Na Rysunku 18 przedstawione jest porównanie wyznaczonych wartości tego indeksu dla danych surowych oraz skorygowanych oraz dla dwóch scenariuszy emisji RCP 4.5 oraz RCP 8.5. Na górnym wykresie pokazano wyniki dla okresu referencyjnego (1971-2000) oraz dla okresu clim1 (2021-2050). Wykres przedstawia medianę (środek pudełka), kwartyle (dolna i górna granica pudełka), obserwacje odstające (zaznaczane kropkami) oraz maksimum i minimum po usunięciu obserwacji odstających. Widoczne jest zróżnicowanie otrzymanych wyników w zależności od modelu klimatycznego, scenariusza emisji oraz zastosowania korekcji błędów systematycznych.



RYСУNEK 18 ZMIENNOŚĆ W TRZYDZIESTOLECIU LICZBY DNI Z TEMPERATURĄ MINIMALNĄ NIŻSZĄ NIŻ 0°C W CIĄGU ROKU. WYKRES PRZEDSTAWIA MEDIANĘ (ŚRODEK PUDEŁKA), KWARTYLE (DOLNA I GÓRNA GRANICA PUDEŁKA), OBSERWACJE ODSTAJĄCE (ZAZNACZANE KROPKAMI) ORAZ MAKSYMUM I MINIMUM PO USUNIĘCIU OBSERWACJI ODSTAJĄCYCH.

TABELA 12 OSZACOWANIA LICZBY DNI Z TEMPERATURĄ MINIMALNĄ DOBOWĄ NIŻSZĄ NIŻ 0°C W CIĄGU ROKU KALENDARZOWEGO. WARTOŚCI ŚREDNIE DLA 30-LECIA 1971-2000 NA PODSTAWIE SUROWYCH ORAZ SKORYGOWANYCH SYMULACJI DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

	Dane surowe [liczba dni]	Dane skorygowane [liczba dni]
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	126.1	99.8
EC-EARTH-CCLM4-8-17	120.3	104.0
EC-EARTH-HIRHAM5	116.3	113.6
EC-EARTH-RACMO22E	157.6	113.2
EC-EARTH-RCA4	125.1	105.6
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	94.9	114.3
MPI-ESM-LR-RCA4	95.2	119.1
MPI-ESM-LR-REMO2009	95.1	120.7
IPSL-WRF331F	120.8	103.4
CNRM-CM5-RCA4	125.9	100.3
Średnia z wiązki	117.7	109.4
Wartość maksymalna z wiązki	157.6	120.7
Wartość minimalna z wiązki	94.9	99.8

Na podstawie wyznaczonej liczbie dni w ciągu roku kalendarzowego z temperaturą minimalną dobową niższą niż 0°C dla trzech trzydziestolec obliczono zmiany wartości średniej z wielolecia. Wyniki obliczeń dla dziesięciu modeli klimatycznych oraz średnia, wartość minimalna i maksymalna z wiązki symulacji przedstawione są w Tabeli 13.

TABELA 13 ZMIANY LICZBY DNI Z TEMPERATURĄ MINIMALNĄ DOBOWĄ NIŻSZĄ NIŻ 0°C. OSZACOWANIA DLA DANYCH SUROWYCH ORAZ SKORYGOWANYCH.

	Dane surowe				Dane skorygowane			
	clim1-ref		clim2-ref		clim1-ref		clim2-ref	
	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	-12.0	-12.3	-34.6	-56.1	-13.0	-15.2	-43.7	-15.2
EC-EARTH-CCLM4-8-17	-18.5	-27.3	-42.0	-63.9	-20.1	-29.3	-41.8	-29.4
EC-EARTH-HIRHAM5	-26.3	-32.9	-38.0	-58.4	-29.1	-35.9	-40.2	-35.9
EC-EARTH-RACMO22E	-23.1	-28.0	-43.2	-71.5	-25.9	-29.1	-43.8	-29.0
EC-EARTH-RCA4	-21.4	-32.9	-47.5	-70.5	-21.0	-33.3	-45.7	-33.4
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	-14.7	-13.7	-17.3	-51.3	-16.3	-16.9	-21.0	-16.9

MPI-ESM-LR-RCA4	-19.9	-18.4	-24.4	-59.0	-22.6	-22.8	-28.0	-22.9
MPI-ESM-LR-REMO2009	-19.0	-18.4	-19.3	-59.2	-24.0	-24.5	-26.6	-24.4
IPSL-WRF331F	-23.9	-21.5	-41.5	-74.8	-24.8	-23.6	-41.8	-23.6
CNRM-CM5-RCA4	-15.1	-19.1	-38.9	-64.6	-18.8	-24.2	-46.3	-24.1
Średnia z wiązki	-19.4	-22.5	-34.7	-62.9	-21.6	-25.5	-37.9	-25.5
Wartość minimalna z wiązki	-26.3	-32.9	-47.5	-74.8	-29.1	-35.9	-46.3	-35.9
Wartość maksymalna z wiązki	-12.0	-12.3	-17.3	-51.3	-13.0	-15.2	-21.0	-15.2

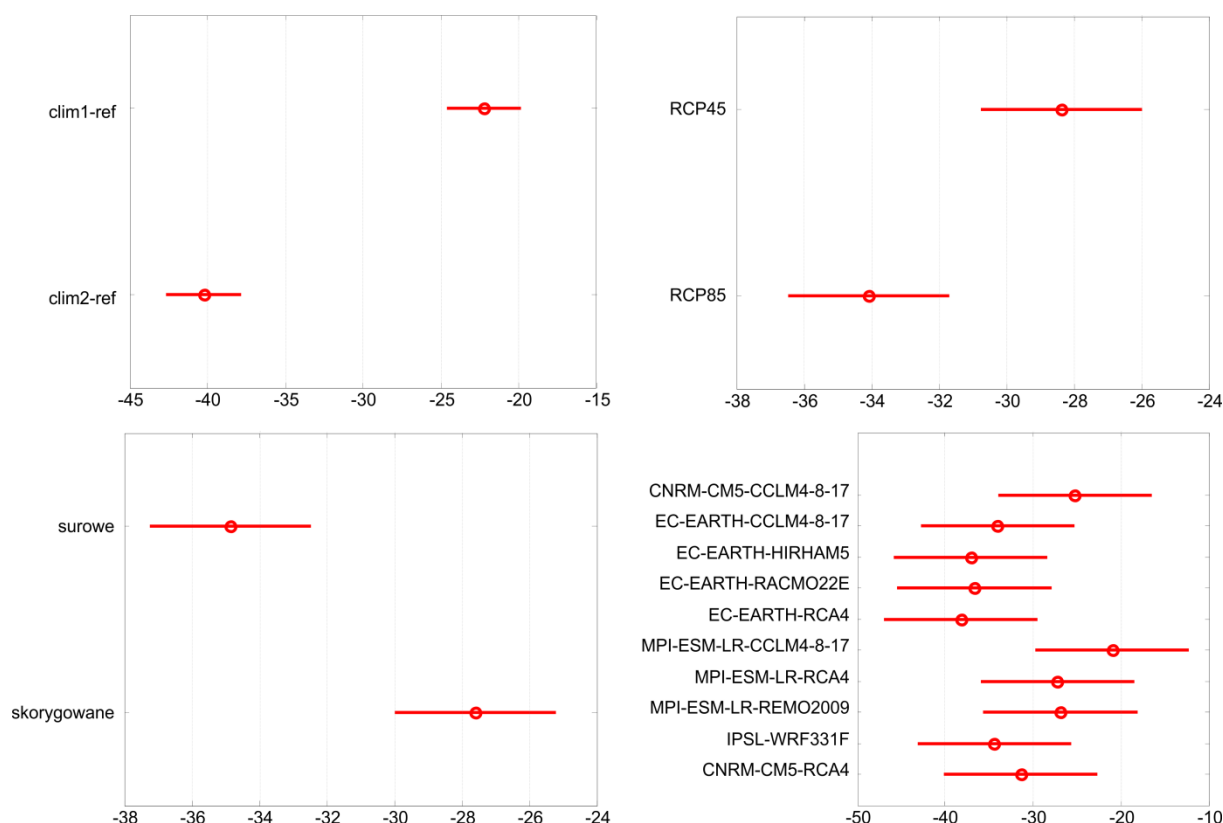
W kolejnym kroku, oszacowano rozrzut w otrzymywanych wynikach w zależności od analizowanego okresu czasu, scenariusza emisji, korekcji danych oraz modeli klimatycznych. Oszacowania zmian liczby dni z temperaturą minimalną dobową niższą niż 0 °C przedstawione są na Rysunku 19.

Na wykresie w górnym rzędzie po lewej stronie przedstawiono oszacowania zmian dla dwóch przyszłych okresów clim1 (2021-2050) i clim2 (2071-2100) w stosunku do okresu referencyjnego (1971-2000). Otrzymane wyniki wskazują na spadek wartości średniej o 22.2 i 40.2 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100.

Porównanie zmian liczby dni w roku z temperaturą minimalną niższą niż 0°C pomiędzy scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5 wskazuje, że większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP8.5 (-34.1 dnia) niż dla RCP4.5 (-28.4 dnia).

Na wykresie w dolnym rzędzie po lewej stronie przedstawione jest porównanie otrzymanych wyników dla danych surowych oraz skorygowanych. Większe zmiany otrzymano dla danych surowych (-34.9 dnia) niż dla danych skorygowanych (-27.6 dnia). Różnice te są istotne statystycznie.

Porównanie szacowanych zmian liczby dni w roku z temperaturą minimalną wyższą niż 0°C pomiędzy dziesięcioma modelami klimatycznymi przedstawione jest na wykresie w dolnym rzędzie po prawej stronie. Oszacowania, we wszystkich przypadkach wskazują na skrócenie okresu z $T_{min} < 0^{\circ}C$, lecz w zależności od modelu różnią się intensywnością zmian. Najmniejsze zmiany otrzymano dla wyników modelu EC-EARTH-RCA4 (zmiana o -21.0 dnia) natomiast największe dla modelu MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17 (zmiana o -38.2 dnia).



RYСУNEK 19 OSZACOWANIA ZMIAN LICZBY DNI Z TEMPERATURĄ MINIMALNĄ DOBOWĄ NIŻSZĄ NIŻ 0°C W CIĄGU ROKU KALENDARZOWEGO. ANALIZA ROZRZUTU OTRZYMANYCH WYNIKÓW W ZALEŻNOŚCI OD ANALIZOWANEGO OKRESU, SCENARIUSZA EMISJI, KOREKCJI DANYCH ORAZ MODELU KLIMATYCZNEGO.

PODSUMOWANIE

Wyniki dziesięciu analizowanych modeli klimatycznych wskazują na spadek liczby dni w ciągu roku z temperaturą minimalną dobową niższą niż 0°C o 22.2 i 40.2 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100.

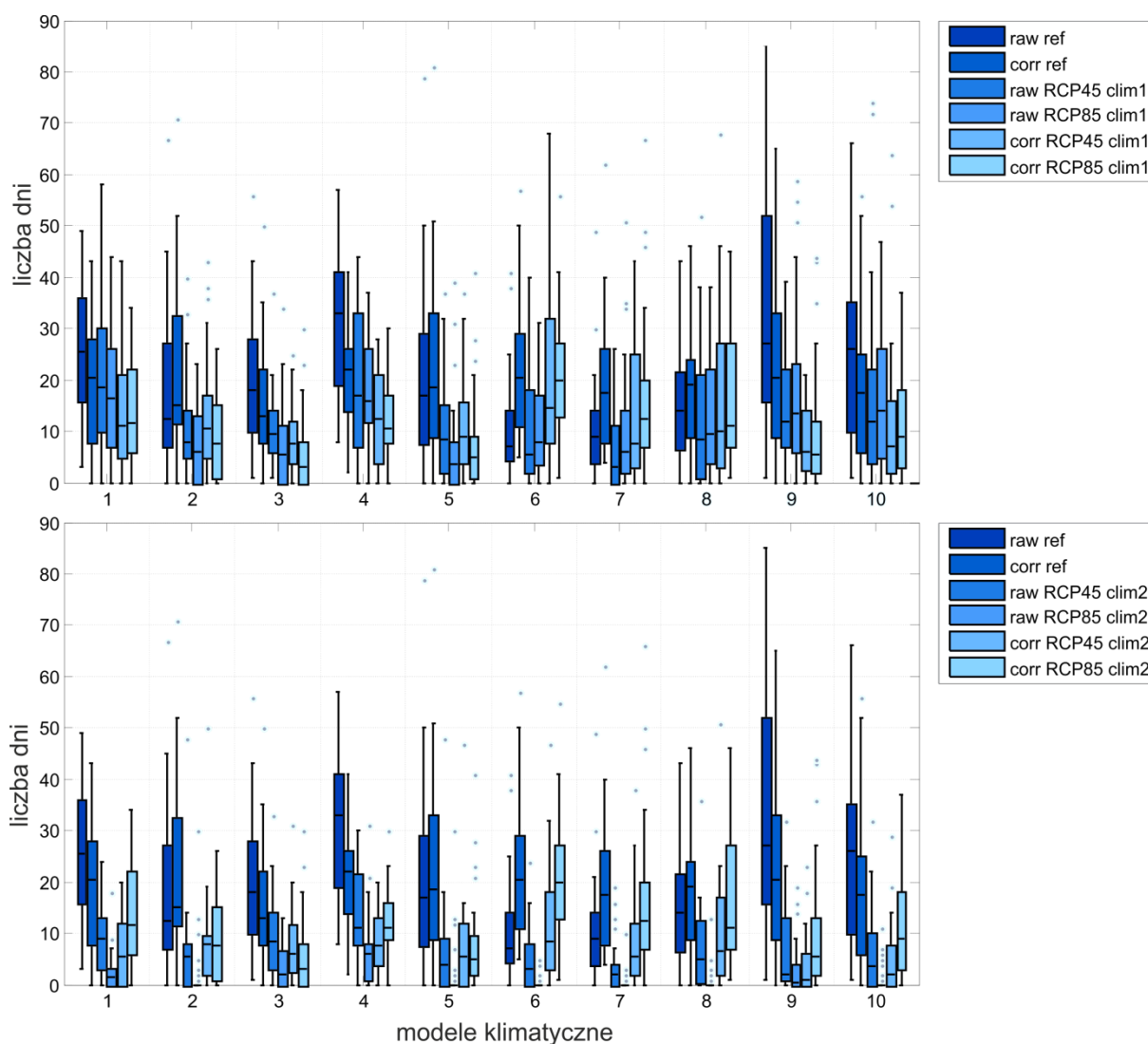
Porównanie zmian liczby dni w roku z temperaturą minimalną niższą niż 0°C pomiędzy scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5 wskazuje, że większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP8.5 (-34.1 dnia) niż dla RCP4.5 (-28.4 dnia).

Porównanie otrzymanych wyników dla danych surowych oraz skorygowanych wskazuje, że większe zmiany otrzymano dla danych surowych (-34.9 dnia) niż dla danych skorygowanych (-27.6 dnia).

Porównanie wyników pomiędzy dziesięcioma modelami klimatycznymi, wskazują na zgodność wyników modeli odnośnie kierunku zmian, we wszystkich przypadkach wskazują na skrócenie okresu z $T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$, lecz w zależności od modelu różnią się intensywnością zmian.

Liczba dni w ciągu roku z temperaturą minimalną dobową niższą niż -10°C

W oszacowaniach liczby dni temperaturą minimalną dobową niższą niż -10°C wykorzystano wyniki symulacji dziesięciu modeli klimatycznych dla dwóch scenariuszy emisji RCP4.5 i RCP8.5. Analizy wykonano dla danych nieskorygowanych (surowych) oraz dla danych skorygowanych. Wartości tego indeksu zostały wyznaczone dla trzech okresów: 1971-2000, 2021-2050 i 2071-2100. Na Rysunku 20 przedstawione jest porównanie wyznaczonych wartości tego indeksu dla danych surowych oraz skorygowanych oraz dla dwóch scenariuszy emisji RCP4.5 oraz RCP8.5. Na górnym wykresie pokazano wyniki dla okresu referencyjnego (1971-2000) oraz dla okresu clim1 (2021-2050). Wykres przedstawia medianę (środek pudełka), kwartyle (dolna i górna granica pudełka), obserwacje odstające (zaznaczane kropkami) oraz maksimum i minimum po usunięciu obserwacji odstających. Widoczne jest zróżnicowanie otrzymanych wyników w zależności od modelu klimatycznego, scenariusza emisji oraz zastosowania korekcji błędów systematycznych.



RYСУNEK 20 ZMIENNOŚĆ W TRZYDZIESTOLECIU LICZBY DNI Z TEMPERATURĄ MINIMALNĄ DOBOWĄ NIŻSZĄ NIŻ -10°C W CIĄGU ROKU. WYKRES PRZEDSTAWIA MEDIANĘ (ŚRODEK PUDEŁKA), KWARTYLE (DOLNA I GÓRNA GRANICA PUDEŁKA), OBSERWACJE ODSTAJĄCE (ZAZNACZANE KROPKAMI) ORAZ MAKSYMUM I MINIMUM PO USUNIĘCIU OBSERWACJI ODSTAJĄCYCH.

TABELA 14 OSZACOWANIA LICZBY DNI Z TEMPERATURĄ MINIMALNĄ DOBOWĄ NIŻSZĄ NIŻ -10°C W CIĄGU ROKU KALENDARZOWEGO. WARTOŚCI ŚREDNIE DLA 30-LECIA 1971-2000 NA PODSTAWIE WIĄZKI SUROWYCH ORAZ SKORYGOWANYCH SYMULACJI DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

	Dane surowe [liczba dni]	Dane skorygowane [liczba dni]
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	25.2	19.0
EC-EARTH-CCLM4-8-17	17.3	20.4
EC-EARTH-HIRHAM5	20.5	16.5
EC-EARTH-RACMO22E	31.8	21.2
EC-EARTH-RCA4	20.5	21.4
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	11.0	20.6
MPI-ESM-LR-RCA4	10.8	19.1
MPI-ESM-LR-REMO2009	15.7	19.2
IPSL-WRF331F	32.9	22.0
CNRM-CM5-RCA4	25.0	18.6
Średnia z wiązki	21.1	19.8
Wartość maksymalna z wiązki	32.9	22.0
Wartość minimalna z wiązki	10.8	16.5

Na podstawie wyznaczonych liczby dni w ciągu roku kalendarzowego z temperaturą minimalną dobową niższą niż -10°C dla trzech trzydziestolecí obliczono zmiany wartości średniej z wielolecia. Wyniki obliczeń dla dziesięciu modeli klimatycznych oraz średnia, wartość minimalna i maksymalna z wiązki symulacji przedstawione są w Tabeli 15.

TABELA 15 ZMIANY LICZBY DNI Z TEMPERATURĄ MINIMALNĄ NIŻSZĄ NIŻ -10°C W CIĄGU ROKU KALENDARZOWEGO. OSZACOWANIA DLA DANYCH SUROWYCH ORAZ SKORYGOWANYCH.

	Dane surowe				Dane skorygowane			
	clim1-ref		clim2-ref		clim1-ref		clim2-ref	
	RCP45	RCP85	RCP45	RCP85	RCP45	RCP85	RCP45	RCP85
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	-4.4	-7.1	-16.5	-22.7	-4.7	-5.6	-12.7	-5.5
EC-EARTH-CCLM4-8-17	-6.5	-10.0	-11.2	-14.8	-7.1	-11.2	-12.2	-11.2
EC-EARTH-HIRHAM5	-10.3	-13.0	-10.7	-16.9	-8.2	-10.1	-8.6	-10.1
EC-EARTH-RACMO22E	-12.1	-14.7	-17.8	-25.0	-8.0	-9.1	-12.5	-9.0
EC-EARTH-RCA4	-9.9	-13.4	-14.0	-17.6	-10.1	-13.8	-14.1	-13.8
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	0.2	-0.4	-5.7	-10.2	-0.8	0.1	-8.4	0.1

MPI-ESM-LR-RCA4	-3.3	-0.3	-7.3	-10.1	-6.6	-2.5	-10.3	-2.5
MPI-ESM-LR-REMO2009	-3.2	-2.3	-8.5	-14.7	-3.2	-1.9	-9.1	-1.9
IPSL-WRF331F	-17.1	-15.6	-24.9	-29.8	-14.2	-12.0	-17.9	-12.0
CNRM-CM5-RCA4	-7.9	-9.1	-18.0	-23.5	-6.2	-7.2	-13.6	-7.1
Średnia z wiązki	-7.4	-8.6	-13.5	-18.5	-6.9	-7.3	-11.9	-7.3
Wartość minimalna z wiązki	-17.1	-15.6	-24.9	-29.8	-14.2	-13.8	-17.9	-13.8
Wartość maksymalna z wiązki	0.2	-0.3	-5.7	-10.1	-0.8	0.1	-8.4	0.1

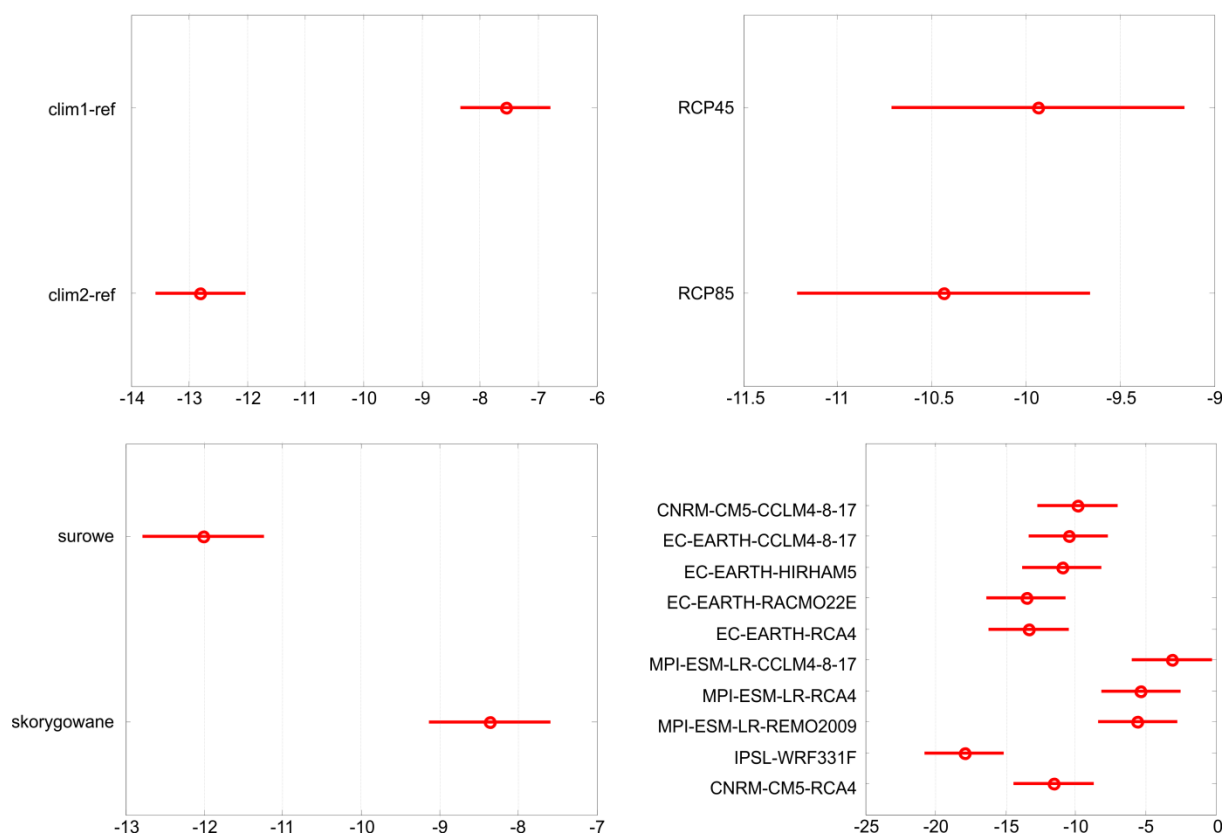
W kolejnym kroku, oszacowano rozrzut w otrzymywanych wynikach w zależności od analizowanego okresu czasu, scenariusza emisji, korekcji danych oraz modelu klimatycznego. Oszacowania zmian liczby dni z temperaturą minimalną dobową niższą niż -10°C przedstawione są na Rysunku 21.

Na wykresie w górnym rzędzie po lewej stronie przedstawiono oszacowania zmian dla dwóch przyszłych okresów clim1 (2021-2050) i clim2 (2071-2100) w stosunku do okresu referencyjnego (1971-2000). Otrzymane wyniki wskazują na spadek wartości średniej o 7.6 i 12.8 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100. Różnice te są istotne statystycznie.

Porównanie zmian liczby dni w roku z temperaturą minimalną niższą niż -10°C pomiędzy scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5 wskazuje, że w przypadku średniej większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP8.5 (-10.4 dnia) niż dla RCP4.5 (-9.9 dnia). Różnice te nie są istotne statystycznie.

Na wykresie w dolnym rzędzie po lewej stronie przedstawione jest porównanie otrzymanych wyników dla danych surowych oraz skorygowanych. Większe zmiany otrzymano dla danych surowych (-12.0 dnia) niż dla danych skorygowanych (-8.4 dnia). Różnice te są istotne statystycznie.

Porównanie szacowanych zmian liczby dni w roku z temperaturą minimalną wyższą niż -10°C pomiędzy dziesięcioma modelami klimatycznymi przedstawione jest na wykresie w dolnym rzędzie po prawej stronie. Oszacowania, we wszystkich przypadkach wskazują na skrócenie okresu z $T_{\min} < -10^{\circ}\text{C}$, lecz w zależności od modelu różnią się intensywnością zmian. Najmniejsze zmiany otrzymano dla wyników modelu MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17 (zmiana o -3.1 dnia) natomiast największe dla modelu IPSL-WRF331F (zmiana o -17.9 dnia).



RYSUNEK 21 OSZACOWANIA ZMIAN LICZBY DNI Z TEMPERATURĄ MINIMALNĄ DOBOWĄ NIŻSZĄ NIŻ -10°C W CIĄGU ROKU KALENDARZOWEGO. ANALIZA ROZRZUTU OTRZYMANYCH WYNIKÓW W ZALEŻNOŚCI OD ANALIZOWANEGO OKRESU, SCENARIUSZA EMISJI, KOREKCJI DANYCH ORAZ MODELU KLIMATYCZNEGO.

PODSUMOWANIE

Wyniki symulacji dziesięciu modeli klimatycznych odnośnie liczby dni w ciągu roku z temperaturą minimalną dobową niższą niż -10°C wskazuje na spadek liczby dni o 7.6 i 12.8 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100.

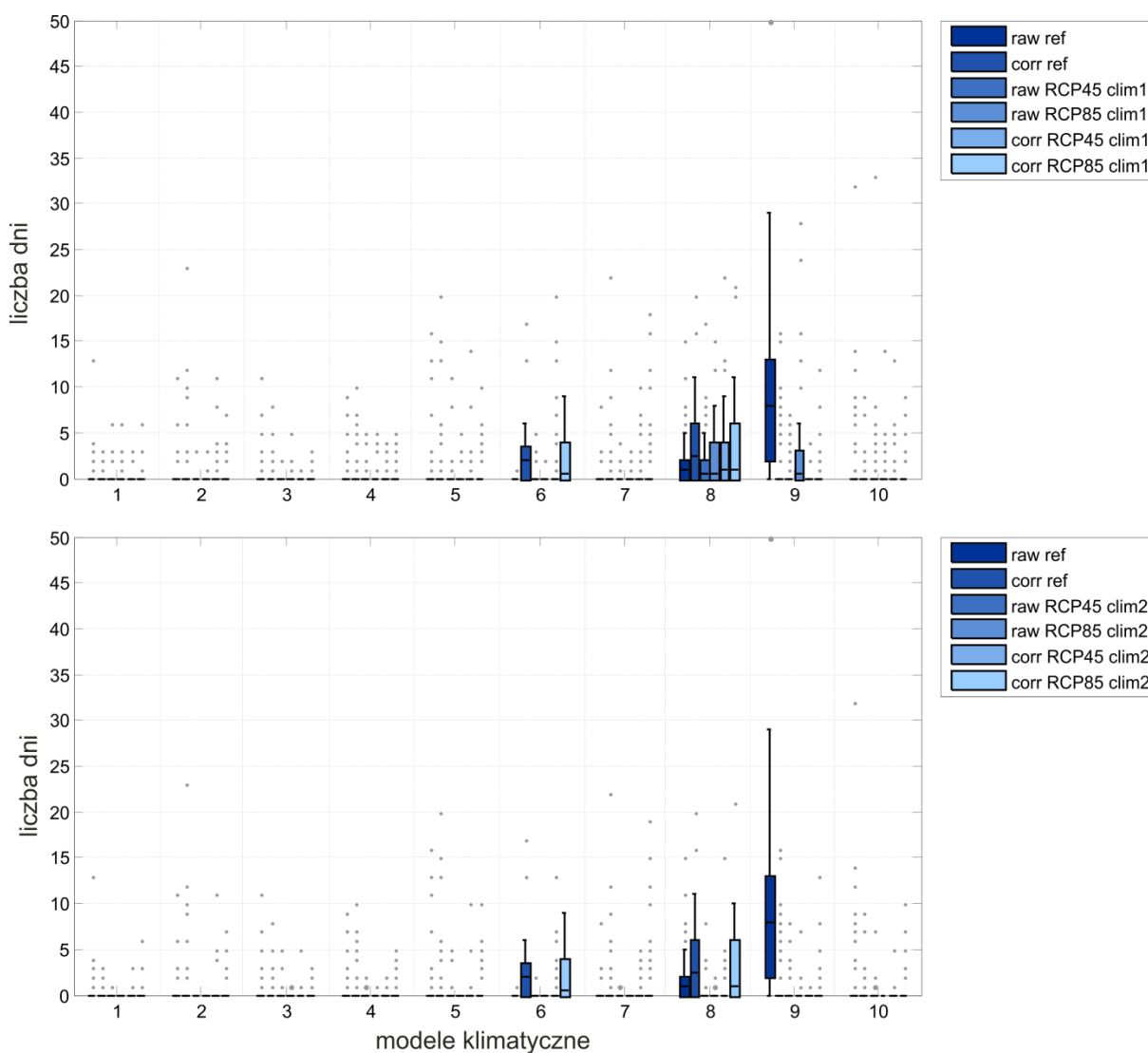
Porównanie zmian liczby dni w roku z temperaturą minimalną dobową niższą niż -10°C pomiędzy scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5 wskazuje, że większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP8.5 (-10.4 dnia) niż dla RCP4.5 (-9.9 dnia).

Porównanie otrzymanych wyników dla danych surowych oraz skorygowanych wskazuje, że większe zmiany otrzymano dla danych surowych (-12.0 dnia) niż dla danych skorygowanych (-8.4 dnia).

Porównanie wyników pomiędzy dziesięcioma modelami klimatycznymi wskazuje na zgodność wyników odnośnie kierunku zmian. We wszystkich przypadkach symulacje wskazują na skrócenie okresu z $T_{\min} < -10^{\circ}\text{C}$, lecz w zależności od modelu różnią się intensywnością zmian.

Liczba dni w ciągu roku z temperaturą minimalną dobową niższą niż -20°C

W oszacowaniach liczby dni temperaturą minimalną dobową niższą niż -20°C wykorzystano wyniki symulacji dziesięciu modeli klimatycznych dla dwóch scenariuszy emisji RCP45 i RCP85. Opracowanie wykonano dla danych nieskorygowanych (surowych) oraz dla danych skorygowanych. Wartości tego indeksu zostały wyznaczone dla trzech okresów: 1971-2000, 2021-2050 i 2071-2100. Na Rysunku 22 przedstawione jest porównanie wyznaczonych wartości tego indeksu dla danych surowych oraz skorygowanych oraz dla dwóch scenariuszy emisji RCP45 oraz RCP85. Na górnym wykresie pokazano wyniki dla okresu referencyjnego (1971-2000) oraz dla okresu clim1 (2021-2050). Wykres przedstawia medianę (środek pudełka), kwartyle (dolna i górna granica pudełka), obserwacje odstające (zaznaczane kropkami) oraz maksimum i minimum po usunięciu obserwacji odstających. Widoczne jest zróżnicowanie otrzymanych wyników w zależności od modelu klimatycznego, scenariusza emisji oraz zastosowania korekcji błędów systematycznych.



RYСУNEK 22 ZMIENNOŚĆ W TRZYDZIESTOLECIU LICZBY DNI Z TEMPERATURĄ MINIMALNĄ DOBOWĄ NIŻSZĄ NIŻ -20°C W CIĄGU ROKU. WYKRES PRZEDSTAWIA MEDIANĘ (ŚRODEK PUDEŁKA), KWARTYLE (DOLNA I GÓRNA GRANICA PUDEŁKA), OBSERWACJE ODSTAJĄCE (ZAZNACZANE KROPKAMI) ORAZ MAKSYMUM I MINIMUM PO USUNIĘCIU OBSERWACJI ODSTAJĄCYCH.

TABELA 16 OSZACOWANIA LICZBY DNI Z TEMPERATURĄ MINIMALNĄ DOBOWĄ NIŻSZĄ NIŻ -20°C W CIĄGU ROKU KALENDARZOWEGO. WARTOŚCI ŚREDNIE DLA 30-LECIA 1971-2000 NA PODSTAWIE WIĄZKI SUROWYCH ORAZ SKORYGOWANYCH SYMULACJI DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

	Dane surowe [liczba dni]	Dane skorygowane [liczba dni]
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	1.1	0.5
EC-EARTH-CCLM4-8-17	0.8	2.7
EC-EARTH-HIRHAM5	1.4	0.8
EC-EARTH-RACMO22E	1.2	1.6
EC-EARTH-RCA4	1.8	2.7
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	0.0	2.6
MPI-ESM-LR-RCA4	0.4	2.3
MPI-ESM-LR-REMO2009	2.5	4.0
IPSL-WRF331F	10.4	3.2
CNRM-CM5-RCA4	3.5	1.5
Średnia z wiązki	2.3	2.2
Wartość maksymalna z wiązki	10.4	4.0
Wartość minimalna z wiązki	0.0	0.5

Na podstawie wyznaczonych liczby dni w ciągu roku kalendarzowego z temperaturą minimalną dobową niższą niż -10°C dla trzech trzydziestoleci obliczono zmiany wartości średniej z wielolecia. Wyniki obliczeń dla dziesięciu modeli klimatycznych oraz średnia, wartość minimalna i maksymalna z wiązki symulacji przedstawione są w Tabeli 17.

TABELA 17 ZMIANY LICZBY DNI Z TEMPERATURĄ MINIMALNĄ DOBOWĄ NIŻSZĄ NIŻ -20°C W CIĄGU ROKU KALENDARZOWEGO. OSZACOWANIA DLA DANYCH SUROWYCH ORAZ SKORYGOWANYCH.

	Dane surowe				Dane skorygowane			
	clim1-ref		clim2-ref		clim1-ref		clim2-ref	
	RCP45	RCP85	RCP45	RCP85	RCP45	RCP85	RCP45	RCP85
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	-0.3	-0.5	-1.0	-1.1	-0.1	0.0	-0.4	0.0
EC-EARTH-CCLM4-8-17	-0.7	-0.7	-0.8	-0.8	-1.4	-1.9	-2.0	-1.9
EC-EARTH-HIRHAM5	-1.3	-0.9	-1.1	-1.4	-0.7	-0.5	-0.5	-0.5
EC-EARTH-RACMO22E	-0.6	-0.7	-1.1	-1.2	-0.9	-0.6	-1.4	-0.6
EC-EARTH-RCA4	-1.0	-1.2	-1.5	-1.8	-1.5	-1.6	-2.1	-1.6

MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	0.3	0.0	0.0	0.0	0.5	-0.4	-1.1	-0.4
MPI-ESM-LR-RCA4	0.0	-0.1	-0.4	-0.4	-0.6	0.7	-1.5	0.7
MPI-ESM-LR-REMO2009	-0.4	0.0	-1.8	-2.4	-0.6	-0.2	-2.4	-0.2
IPSL-WRF331F	-8.8	-6.3	-9.5	-10.0	-2.9	-2.0	-3.1	-2.0
CNRM-CM5-RCA4	-1.2	-2.2	-3.1	-3.5	-0.3	-0.6	-1.3	-0.6
Średnia z wiązki	-1.4	-1.3	-2.0	-2.3	-0.8	-0.7	-1.6	-0.7
Wartość minimalna z wiązki	-8.8	-6.3	-9.5	-10.0	-2.9	-2.0	-3.1	-2.0
Wartość maksymalna z wiązki	0.3	0.0	0.0	0.0	0.5	0.7	-0.4	0.7

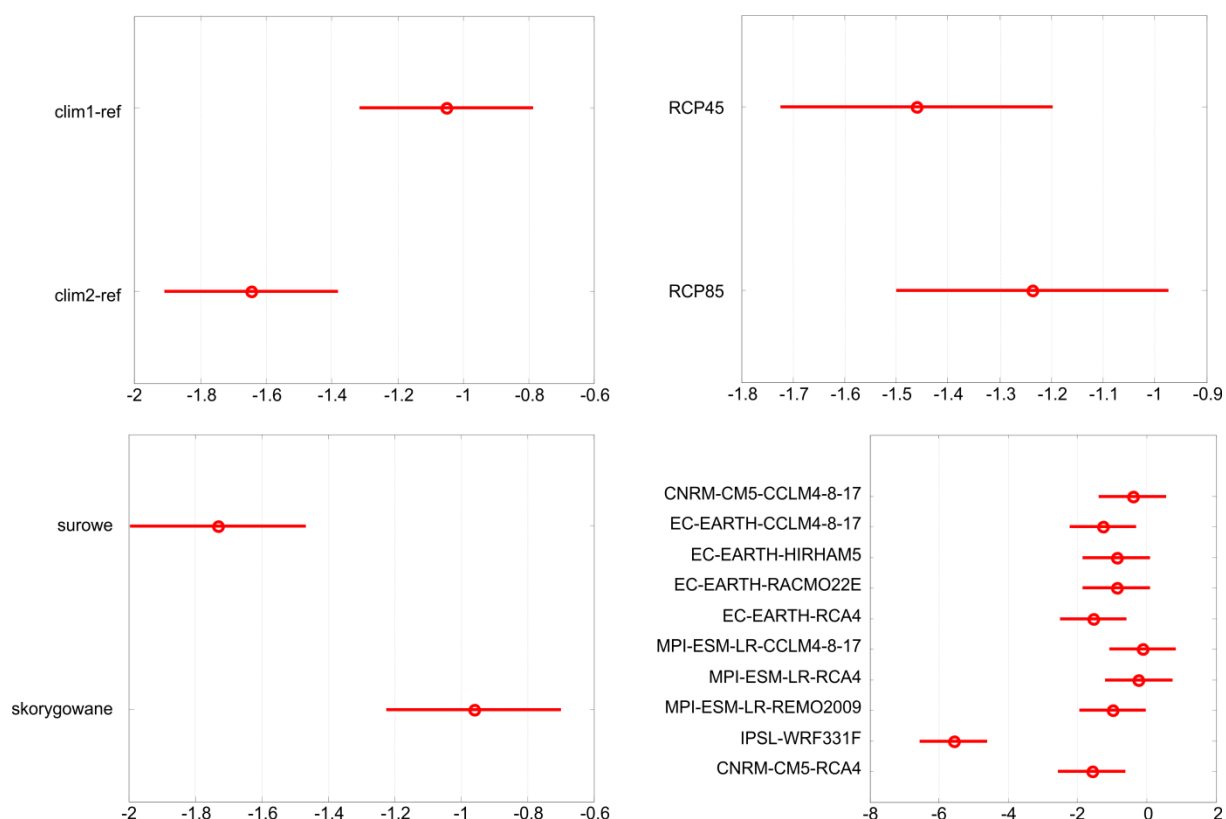
W kolejnym kroku, oszacowano rozrzut w otrzymywanych wynikach w zależności od analizowanego okresu czasu, scenariusza emisji, korekcji danych oraz modeli klimatycznych. Oszacowania zmian liczby dni z temperatura minimalną niższą niż -20°C przedstawione są na Rysunku 23.

Na wykresie w górnym rzędzie po lewej stronie przedstawiono oszacowania zmian dla dwóch przyszłych okresów clim1 (2021-2050) i clim2 (2071-2100) w stosunku do okresu referencyjnego (1971-2000). Otrzymane wyniki wskazują na spadek wartości średniej o 1.1 i 1.7 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100.

Porównanie zmian liczby dni w roku z temperaturą minimalną wyższą niż -20°C pomiędzy scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5 (wykres w górnym rzędzie po prawej stronie) wskazuje, że w przypadku średniej większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP4.5 (-1.4 dnia) niż dla RCP5.5 (-1.2 dnia). Różnice te nie są istotne statystycznie.

Na wykresie w dolnym rzędzie po lewej stronie przedstawione jest porównanie otrzymanych wyników dla danych surowych oraz skorygowanych. Większe zmiany otrzymano dla danych surowych (-1.7 dnia) niż dla danych skorygowanych (-1.0 dzień). Różnice te są istotne statystycznie dla zmian średniej.

Porównanie szacowanych zmian liczby dni w roku z temperaturą minimalną niższą niż -20°C pomiędzy dziesięcioma modelami klimatycznymi przedstawione jest na wykresie w dolnym rzędzie po prawej stronie. Oszacowania, we wszystkich przypadkach wskazują na skrócenie okresu z $T_{\min} < -20^{\circ}\text{C}$, lecz w zależności od modelu różnią się intensywnością zmian. Najmniejsze zmiany otrzymano dla wyników modelu MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17 (średnia z wielolecia zmiana o -0.1 dnia) natomiast największe dla modelu IPSL-WRF331F (średnia zmian o -5.6 dnia).



RYSUNEK 23 OSZACOWANIA ZMIAN LICZBY DNI Z TEMPERATURĄ MINIMALNĄ DOBOWĄ NIŻSZĄ NIŻ -20°C W CIĄGU ROKU KALENDARZOWEGO. ANALIZA ROZRZUTU OTRZYMANYCH WYNIKÓW W ZALEŻNOŚCI OD ANALIZOWANEGO OKRESU, SCENARIUSZA EMISJI, KOREKCJI DANYCH ORAZ MODELU KLIMATYCZNEGO.

PODSUMOWANIE

Otrzymane wyniki wskazują na spadek liczby dni z temperaturą minimalną dobową niższą niż -20°C o 1.1 i 1.7 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100.

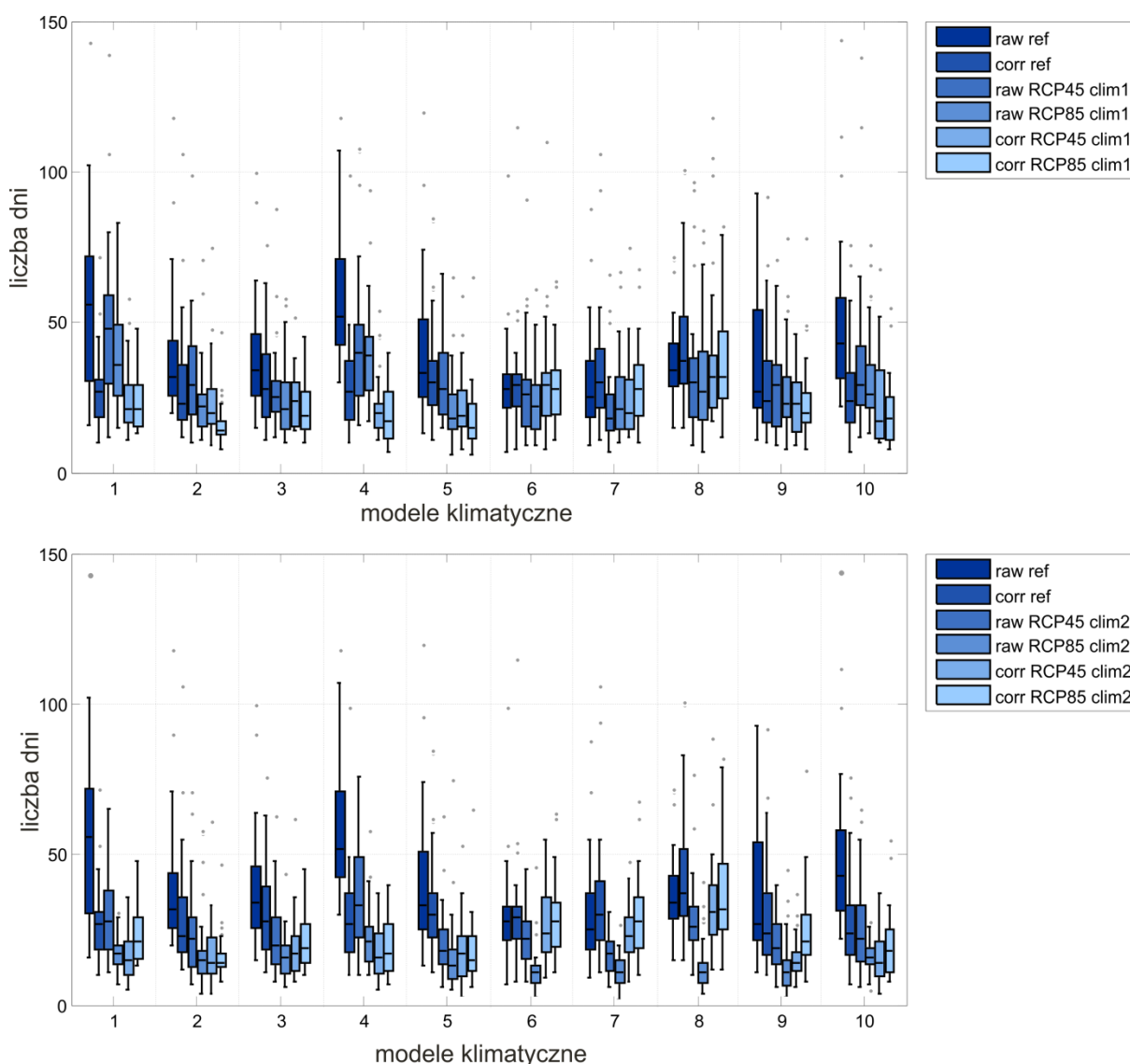
Porównanie zmian liczby dni w roku z temperaturą minimalną wyższą niż pomiędzy scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5 wskazuje, że większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP4.5 (-1.4 dnia) niż dla RCP8.5 (-1.2 dnia).

Porównanie otrzymanych wyników dla danych surowych oraz skorygowanych wskazuje, że większe zmiany otrzymano dla danych surowych (-1.7 dnia) niż dla danych skorygowanych (-1.0 dzień).

Porównanie szacowanych zmian liczby dni w roku z temperaturą minimalną niższą niż -20°C pomiędzy dziesięcioma modelami klimatycznymi wskazują na skrócenie okresu z $T_{\min} < -20^{\circ}\text{C}$. Wyniki wszystkich modeli wskazują na taki sam kierunek zmian, lecz w zależności od modelu różnią się intensywnością zmian.

Najdłuższy okres z temperaturą minimalną niższą niż 0°C

Kolejnym indeksem wyznaczanym na podstawie symulacji temperatury minimalnej dobowej jest długość najdłuższego okresu z temperaturą niższą niż 0°C. W tym przypadku, indeks wyznaczano dla okresu od początku lipca do końca czerwca kolejnego roku. Takie przyjęcie okresu obliczeniowego nie rozбивa jednej zimy na dwa lata kalendarzowe. Wyniki obliczeń przedstawione są na Rysunku 24. Na górnym wykresie pokazano wyniki dla okresu referencyjnego (1971-2000) oraz dla okresu clim1 (2021-2050). Wykres przedstawia medianę (środek pudełka), kwartyle (dolna i górna granica pudełka), obserwacje odstające (zaznaczane kropkami) oraz maksimum i minimum po usunięciu obserwacji odstających. Widoczne jest zróżnicowanie otrzymanych wyników w zależności od modelu klimatycznego, scenariusza emisji oraz zastosowania korekcji błędów systematycznych.



RYСУNEK 24 ZMIENNOŚĆ W WIELOLECIU NAJDŁUŻSZEGO OKRESU Z TEMPERATURĄ MINIMALNĄ NIŻSZĄ NIŻ 0°C W CIĄGU ROKU. WYKRES PRZEDSTAWIA MEDIANĘ (ŚRODEK PUDEŁKA), KWARTYLE (DOLNA I GÓRNA GRANICA PUDEŁKA), OBSERWACJE ODSTAJĄCE (ZAZNACZANE KROPKAMI) ORAZ MAKSYMUM I MINIMUM PO USUNIĘCIU OBSERWACJI ODSTAJĄCYCH.

TABELA 18 OSZACOWANIA LICZBY DNI NAJDŁUŻSZEGO OKRESU Z TEMPERATURĄ MINIMALNĄ DOBOWĄ NIŻSZĄ NIŻ - 0°C. WARTOŚCI ŚREDNIE DLA 30-LECIA 1971-2000 NA PODSTAWIE WIĄZKI SUROWYCH ORAZ SKORYGOWANYCH SYMULACJI DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

Dane surowe		Dane skorygowane
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	54.4	27.0
EC-EARTH-CCLM4-8-17	39.3	29.8
EC-EARTH-HIRHAM5	38.7	32.1
EC-EARTH-RACMO22E	59.6	28.9
EC-EARTH-RCA4	41.2	34.2
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	29.5	30.8
MPI-ESM-LR-RCA4	29.9	34.6
MPI-ESM-LR-REMO2009	37.7	44.5
IPSL-WRF331F	38.7	30.7
CNRM-CM5-RCA4	50.3	28.6
Średnia z wiązki	41.9	32.1
Wartość maksymalna z wiązki	59.6	44.5
Wartość minimalna z wiązki	29.5	27.0

Na podstawie wyznaczonych wartości indeksu dla trzech okresów 29 letnich obliczono zmiany wartości średniej z wielolecia. Wyniki obliczeń dla dziesięciu modeli klimatycznych oraz średnia, wartość minimalna i maksymalna z wiązki symulacji przedstawione są w Tabeli 19.

TABELA 19 ZMIANY DŁUGOŚCI NAJDŁUŻSZEGO OKRESU Z TEMPERATURĄ MINIMALNĄ NIŻSZĄ NIŻ 0°C NA PODSTAWIE SUROWYCH ORAZ SKORYGOWANYCH WYNIKÓW Z DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

	Dane surowe				Dane skorygowane			
	clim1-ref		clim2-ref		clim1-ref		clim2-ref	
	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	-4.7	-15.7	-25.3	-36.5	-2.4	-4.0	-10.3	-4.0
EC-EARTH-CCLM4-8-17	-5.8	-14.0	-14.7	-20.5	-4.8	-13.1	-11.4	-13.1
EC-EARTH-HIRHAM5	-9.9	-13.9	-15.2	-21.7	-7.6	-10.8	-12.4	-10.9
EC-EARTH-RACMO22E	-15.5	-20.3	-23.7	-36.5	-6.6	-7.9	-10.9	-7.9
EC-EARTH-RCA4	-10.5	-18.8	-20.4	-24.2	-9.9	-16.2	-16.1	-16.2
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	-0.3	-4.6	-7.8	-17.1	1.6	-2.1	-2.9	-2.1
MPI-ESM-LR-RCA4	-7.9	-4.9	-12.5	-18.5	-9.6	-5.4	-11.0	-5.3

MPI-ESM-LR-REMO2009	-3.2	-5.2	-9.7	-23.7	-5.3	-6.6	-11.2	-6.6
IPSL-WRF331F	-10.0	-9.6	-17.9	-25.2	-6.9	-6.5	-14.8	-5.3
CNRM-CM5-RCA4	-11.4	-17.8	-23.5	-34.0	-5.6	-8.1	-12.7	-8.1
Średnia z wiązki	-7.9	-12.5	-17.1	-25.8	-5.7	-8.1	-11.4	-7.9
Wartość minimalna z wiązki	-15.5	-20.3	-25.3	-36.5	-9.9	-16.2	-16.1	-16.2
Wartość maksymalna z wiązki	-0.3	-4.6	-7.8	-17.1	1.6	-2.1	-2.9	-2.1

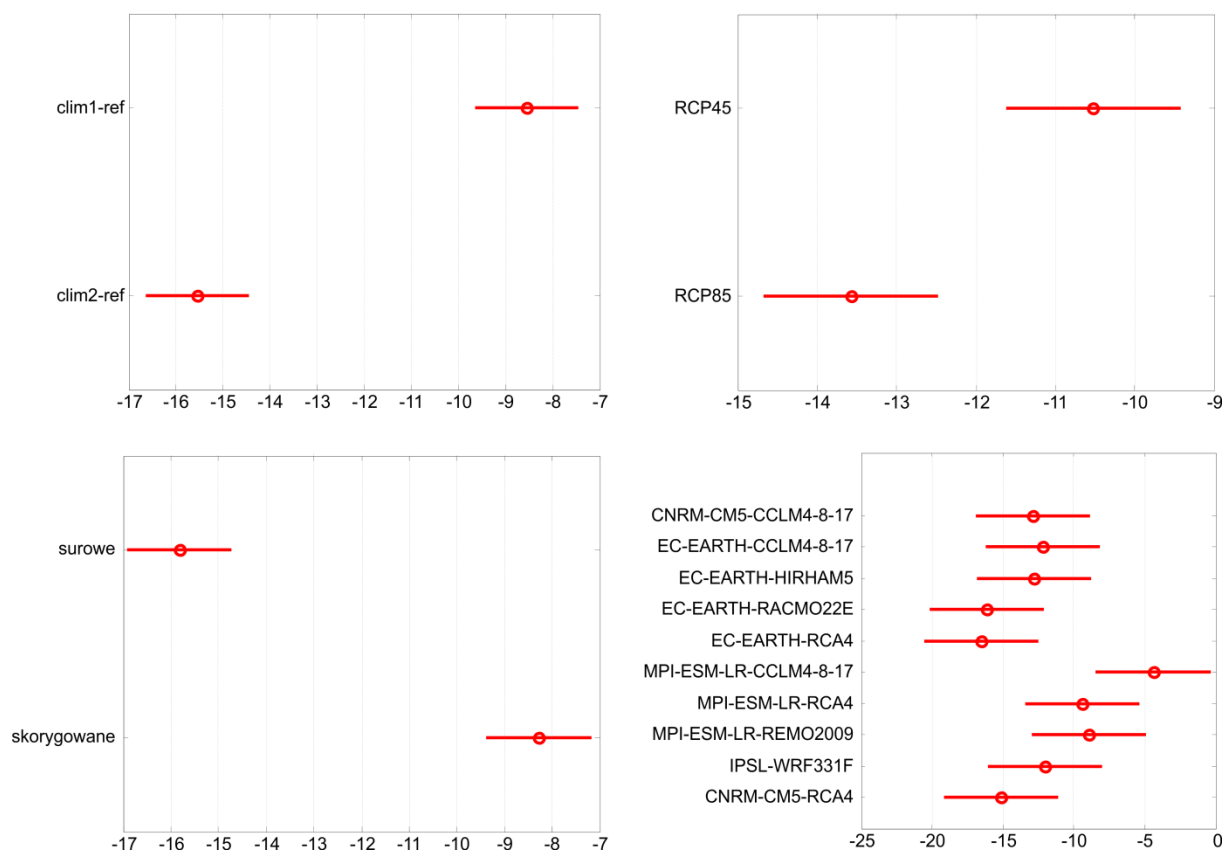
W kolejnym kroku dokonano oszacowania rozrzutu w otrzymanych wynikach ze względu na różnice pomiędzy analizowanymi okresami czasu (clim1 2021-2050 i clim2 2071-2100), scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5, korekcją błędów systematycznych oraz modelami klimatycznymi. Wyniki opracowania są przedstawione na Rysunku 25.

Na wykresie w górnym rzędzie po lewej stronie przedstawiono oszacowania zmian dla dwóch przyszłych okresów clim1 (2021-2050) i clim2 (2071-2100) w stosunku do okresu referencyjnego (1971-2000). Otrzymane wyniki wskazują na spadek wartości średniej o 8.5 i 15.6 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100. Różnice te są istotne statystycznie.

Porównanie zmian długości okresu z temperaturą minimalną dobową niższą niż 0°C pomiędzy scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5 (wykres w górnym rzędzie po prawej stronie) wskazuje, że większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP8.5 (zmiana o -13.6 dnia) niż dla RCP4.5 (zmiana o -10.5 dnia). Różnice w estymowanych zmianach są statystycznie istotne.

Na wykresie w dolnym rzędzie po lewej stronie przedstawione jest porównanie otrzymanych wyników dla danych surowych oraz skorygowanych. Większe zmiany otrzymano dla danych surowych (-15.8 dnia) niż dla danych skorygowanych (-8.3 dnia). Różnice te są istotne statystycznie.

Porównanie szacowanych zmian w długości najdłuższego okresu w ciągu roku z temperaturą minimalną niższą niż 0°C pomiędzy dziesięcioma modelami klimatycznymi pokazane jest na wykresie w dolnym rzędzie po prawej stronie. Oszacowanie te we wszystkich przypadkach wskazują na skrócenie czasu trwania okresu z temperaturą minimalną mniejszą niż 0°C, lecz w zależności od modelu różnią się intensywnością zmian. Najmniejsze zmiany otrzymano dla wyników modelu MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17 (zmiana o -4.4 dnia) natomiast największe dla modelu EC-EARTH-RCA4 (zmiana o -16.5 dni).



RYSUNEK 25 OSZACOWANIA ZMIAN DŁUGOŚCI NAJDŁUŻSZEGO OKRESU W ROKU Z TEMPERATURĄ MINIMALNĄ DOBOWĄ NIŻSZĄ NIŻ 0°C. ANALIZA ROZRZUTU OTRZYMANYCH WYNIKÓW W ZALEŻNOŚCI OD ANALIZOWANEGO OKRESU, SCENARIUSZA EMISJI, KOREKCJI DANYCH ORAZ MODELU KLIMATYCZNEGO.

PODSUMOWANIE

Wyniki symulacji dziesięciu modeli klimatycznych odnośnie długości najdłuższego okresu w roku z temperaturą minimalną dobową niższą niż 0°C wskazują na spadek liczby dni o 8.5 i 15.6 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100.

Porównanie zmian długości okresu z temperaturą minimalną dobową niższą niż 0°C pomiędzy scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5 wskazuje, że większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP8.5 (zmiana o -13.6 dnia) niż dla RCP4.5 (zmiana o -10.5 dnia).

Porównanie otrzymanych wyników dla danych surowych oraz skorygowanych wskazuje, że większe zmiany otrzymano dla danych surowych (-15.8 dnia) niż dla danych skorygowanych (-8.3 dnia).

Porównanie wyników pomiędzy dziesięcioma modelami klimatycznymi: we wszystkich przypadkach skrócenie czasu trwania okresu z temperaturą minimalną mniejszą niż 0°C, lecz w zależności od modelu różna intensywność zmian.

Liczba stopniodni grzania, temperatura bazowa 17°C

Kolejnym analizowanym indeksem jest liczba stopniodni grzania. Indeks opisuje zapotrzebowanie na energię na ogrzewanie budynków w zależności od temperatury powietrza. Zakłada się że ogrzewanie jest wyłączone w dniach, kiedy średnia dobową temperatura jest większa od założonej temperatury bazowej (17°C lub 20°C), wskaźnik stosowany w ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020.

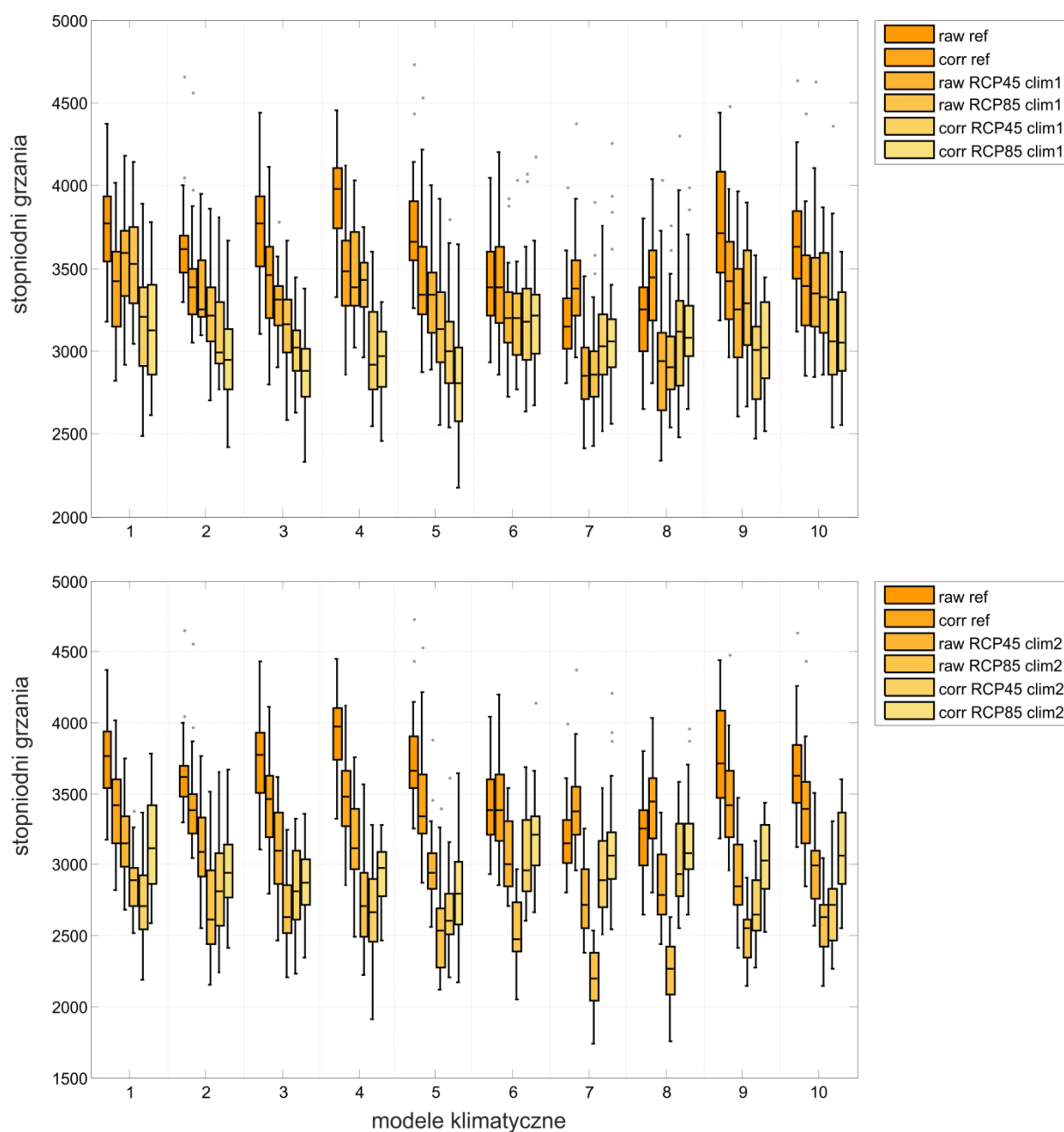
Indeks ten jest obliczany na podstawie średnich dobowych temperatur powietrza. Liczbę stopniodni grzania wyznacza się na podstawie następującej zależności:

$$SD(t_b) = \begin{cases} \sum_{i=1}^n [t_b - t_{sr}(i)] & \text{dla } t_{sr}(i) \leq t_b \\ 0 & \text{dla } t_{sr}(i) > t_b \end{cases}$$

Gdzie t_b to założona temperatura bazowa, t_{sr} – średnia dobową temperatura powietrza.

W tym opracowaniu liczbę stopniodni grzania wyznaczono dla dwóch temperatur bazowych (17°C lub 20°C). W tej sekcji przedstawione są wyniki opracowania dla temperatury bazowej 17°C.

W oszacowaniach liczby stopniodni grzania wykorzystano wyniki symulacji dziesięciu modeli klimatycznych dla dwóch scenariuszy emisji RCP 45 i RCP 85. Opracowanie wykonano dla danych nieskorygowanych (surowych) oraz dla danych skorygowanych. Wartości tego indeksu zostały wyznaczone dla trzech okresów: 1971-2000, 2021-2050 i 2071-2100. Na Rysunku 26 przedstawione jest porównanie wyznaczonych wartości tego indeksu dla danych surowych oraz skorygowanych oraz dla dwóch scenariuszy emisji RCP45 oraz RCP85. Na górnym wykresie pokazano wyniki dla okresu referencyjnego (1971-2000) oraz dla okresu clim1 (2021-2050). Wykres przedstawia medianę (środek pudełka), kwartyle (dolna i górna granica pudełka), obserwacje odstające (zaznaczane kropkami) oraz maksimum i minimum po usunięciu obserwacji odstających. Widoczne jest zróżnicowanie otrzymanych wyników w zależności od modelu klimatycznego, scenariusza emisji oraz zastosowania korekcji błędów systematycznych.



RYСУNEK 26 ZMIENNOŚĆ W WIELOLECIEU LICZBY STOPNIODNI GRZANIA WYZNACZONEJ DLA TEMPERATURY BAZOWEJ 17°C. WYKRES PRZEDSTAWIA MEDIANĘ (ŚRODEK PUDEŁKA), KWARTYLE (DOLNA I GÓRNA GRANICA PUDEŁKA), OBSERWACJE ODSTAJĄCE (ZAZNACZANE KROPKAMI) ORAZ MAKSYMUM I MINIMUM PO USUNIĘCIU OBSERWACJI ODSTAJĄCYCH.

TABELA 20 OSZACOWANIA LICZBY STOPNIODNI GRZANIA WYZNACZONEJ DLA TEMPERATURY BAZOWEJ 17°C. WARTOŚCI ŚREDNIE DLA 30-LECIA 1971-2000 NA PODSTAWIE WIĄZKI SUROWYCH ORAZ SKORYGOWANYCH SYMULACJI DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

	Dane surowe [stopniodni grzania]	Dane skorygowane [stopniodni grzania]
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	3735.5	3385.3
EC-EARTH-CCLM4-8-17	3653.2	3431.1
EC-EARTH-HIRHAM5	3746.7	3442.7

EC-EARTH-RACMO22E	3946.7	3495.6
EC-EARTH-RCA4	3756.6	3454.5
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	3418.7	3425.5
MPI-ESM-LR-RCA4	3204.8	3444.9
MPI-ESM-LR-REMO2009	3222.1	3433.7
IPSL-WRF331F	3788.4	3460.2
CNRM-CM5-RCA4	3657.7	3400.2
Średnia z wiązki	3613.0	3437.4
Wartość maksymalna z wiązki	3946.7	3495.6
Wartość minimalna z wiązki	3204.8	3385.3

Na podstawie wyznaczonych wartości indeksu dla trzech okresów 30 letnich obliczono zmiany wartości średniej z wielolecia. Wyniki obliczeń dla dziesięciu modeli klimatycznych oraz średnia, wartość minimalna i maksymalna z wiązki symulacji przedstawione są w Tabeli 21.

TABELA 21 ZMIANY LICZBY STOPNIODNI GRZANIA NA PODSTAWIE SUROWYCH ORAZ SKORYGOWANYCH WYNIKÓW Z DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

	Dane surowe				Dane skorygowane			
	clim1-ref		clim2-ref		clim1-ref		clim2-ref	
	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	-	-	-	-	-	-	-	-
	186.4	216.9	574.1	-860.1	207.4	244.3	646.2	243.8
EC-EARTH-CCLM4-8-17	-	-	-	-	-	-	-	-
	290.8	412.6	569.1	-963.5	318.7	455.6	622.6	454.9
EC-EARTH-HIRHAM5	-	-	-	-	-	-	-	-
	464.6	588.1	639.0	1071.5	446.6	562.3	605.8	562.3
EC-EARTH-RACMO22E	-	-	-	-	-	-	-	-
	464.0	544.7	767.0	1230.6	469.9	547.7	788.2	546.5
EC-EARTH-RCA4	-	-	-	-	-	-	-	-
	423.5	605.3	774.5	1200.1	434.4	625.3	800.2	625.1
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	-	-	-	-	-	-	-	-
	206.8	223.1	357.2	-887.1	217.7	230.6	392.1	231.3
MPI-ESM-LR-RCA4	-	-	-	-	-	-	-	-
	314.9	290.2	442.1	1003.6	359.2	322.1	506.3	323.2

MPI-ESM-LR-REMO2009	-	-	-	-	-	-	-	-
	270.8	260.9	380.5	-959.8	295.5	279.6	421.8	280.2
IPSL-WRF331F	-	-	-	-	-	-	-	-
	520.2	470.4	871.4	1280.1	466.3	418.8	759.1	418.2
CNRM-CM5-RCA4	-	-	-	-	-	-	-	-
	260.7	312.1	687.1	1073.1	279.0	324.6	722.9	323.8
Średnia z wiązki	-	-	-	-	-	-	-	-
	340.3	392.4	606.2	1052.9	349.5	401.1	626.5	400.9
Wartość minimalna z wiązki	-	-	-	-	-	-	-	-
	520.2	605.3	871.4	1280.1	469.9	625.3	800.2	625.1
Wartość maksymalna z wiązki	-	-	-	-	-	-	-	-
	186.4	216.9	357.2	-860.1	207.4	230.6	392.1	231.3

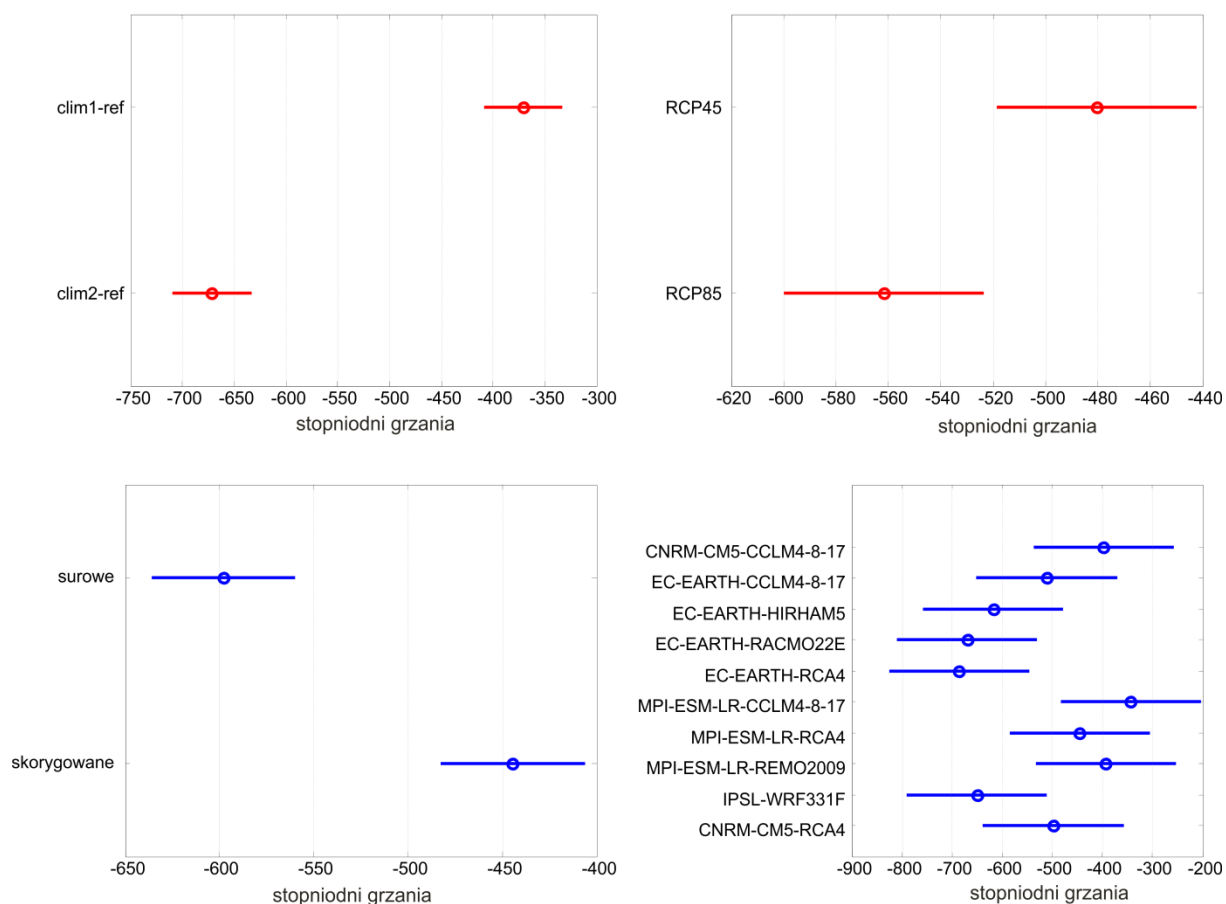
W kolejnym kroku dokonano oszacowania rozrzutu w otrzymanych wynikach ze względu na różnice pomiędzy analizowanymi okresami czasu (clim1 2021-2050 i clim2 2071-2100), scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5, korekcją błędów systematycznych oraz modelami klimatycznymi. Wyniki opracowania są przedstawione na Rysunku 27.

Na wykresie w górnym rzędzie po lewej stronie przedstawiono oszacowania zmian dla dwóch przyszłych okresów clim1 (2021-2050) i clim2 (2071-2100) w stosunku do okresu referencyjnego (1971-2000). Otrzymane wyniki wskazują na spadek wartości średniej o 370.8 i 671.6 stopniociepnoty grzania odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100. Różnice te są istotne statystycznie.

Porównanie zmian pomiędzy scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5 (wykres w górnym rzędzie po prawej stronie) wskazuje, że większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP8.5 (zmiana o -561.8 stopniociepnoty grzania) niż dla RCP4.5 (zmiana o -480.6 stopniociepnoty grzania). Różnice w estymowanych zmianach są statystycznie istotne.

Na wykresie w dolnym rzędzie po lewej stronie przedstawione jest porównanie otrzymanych wyników dla danych surowych oraz skorygowanych. Większe zmiany otrzymano dla danych surowych (-597.9 stopniociepnoty grzania) niż dla danych skorygowanych (-444.5 stopniociepnoty grzania). Różnice te są istotne statystycznie.

Porównanie szacowanych zmian liczby stopniociepnoty grzania pomiędzy dziesięcioma modelami klimatycznymi pokazane jest na wykresie w dolnym rzędzie po prawej stronie. Oszacowanie te we wszystkich przypadkach wskazują na zmniejszenie liczby stopniociepnoty grzania dla przyszłych warunków klimatycznych, lecz w zależności od modelu różnią się intensywnością zmian. Najmniejsze zmiany otrzymano dla wyników modelu MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17 (zmiana o -343.2 stopniociepnoty grzania) natomiast największe dla modelu EC-EARTH-RCA4 (zmiana o -686.0 stopniociepnoty grzania).



RYSUNEK 27 OSZACOWANIA ZMIAN LICZBY STOPNIODNI GRZANIA Z TEMPERATURĄ BAZOWĄ 17°C. ANALIZA ROZSZCZEPIONOŚCI OTRZYMANYCH WYNIKÓW W ZALEŻNOŚCI OD ANALIZOWANEGO OKRESU, SCENARIUSZA EMISJI, KOREKCJI DANYCH ORAZ MODELU KLIMATYCZNEGO.

PODSUMOWANIE

Wyniki symulacji dziesięciu modeli klimatycznych odnośnie liczby stopniodni grzania wskazują na spadek wartości średniej stopniodni grzania o 370.8 i 671.6 odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100.

Porównanie zmian pomiędzy scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5 wskazuje, że większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP8.5 (zmiana o -561.8 stopniodnia grzania) niż dla RCP4.5 (zmiana o -480.6 stopniodnia grzania).

Porównanie otrzymanych wyników dla danych surowych oraz skorygowanych wskazuje, że większe zmiany otrzymano dla danych surowych (-597.9 stopniodnia grzania) niż dla danych skorygowanych (-444.5 stopniodnia grzania).

Porównanie szacowanych zmian liczby stopniodni grzania pomiędzy dziesięcioma modelami klimatycznymi. We wszystkich przypadkach otrzymane wyniki wskazują na zmniejszenie liczby stopniodni grzania dla przyszłych warunków klimatycznych, lecz w zależności od modelu różnią się intensywnością zmian.

Liczba stopniodni grzania, temperatura bazowa 20°C

Kolejnym analizowanym indeksem jest liczba stopniodni grzania z temperaturą bazową 20°C. Indeks opisuje zapotrzebowanie na energię na ogrzewanie budynków w zależności od temperatury powietrza. Zakłada się, że ogrzewanie jest wyłączone w dniach, kiedy średnia dobową temperatura jest większa od założonej temperatury bazowej (20°C), wskaźnik stosowany w ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020.

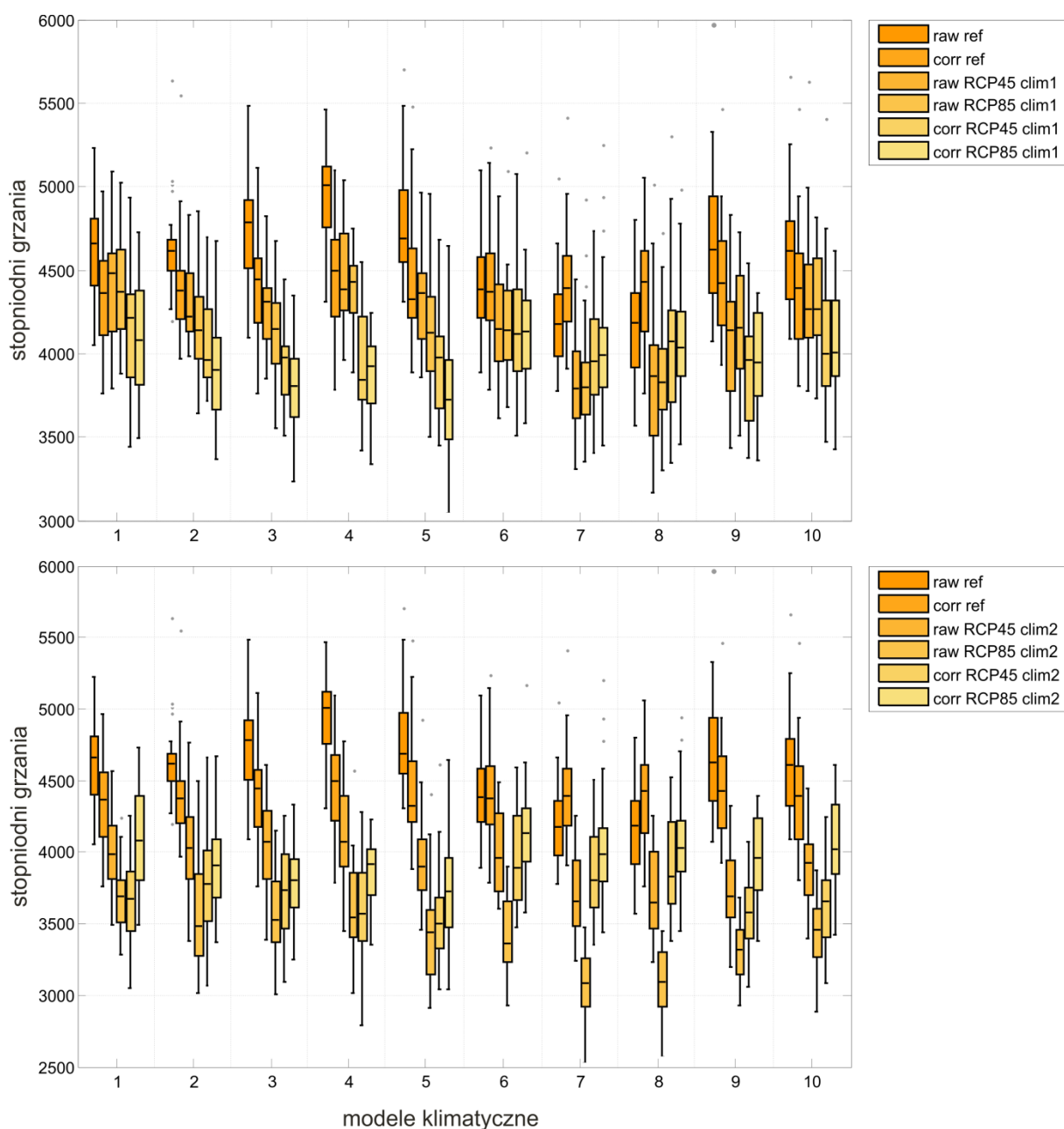
Indeks ten jest obliczany na podstawie średnich dobowych temperatur powietrza. Liczbę stopniodni grzania wyznacza się na podstawie następującej zależności:

$$SD(t_b) = \begin{cases} \sum_{i=1}^n [t_b - t_{sr}(i)] & \text{dla } t_{sr}(i) \leq t_b \\ 0 & \text{dla } t_{sr}(i) > t_b \end{cases}$$

Gdzie t_b to założona temperatura bazowa, t_{sr} – średnia dobową temperatura powietrza.

W tym opracowaniu liczbę stopniodni grzania wyznaczono dla dwóch temperatur bazowych (17°C lub 20°C). W tej sekcji przedstawione są wyniki opracowania dla temperatury bazowej 20°C.

W oszacowaniach liczby stopniodni grzania wykorzystano wyniki symulacji dziesięciu modeli klimatycznych dla dwóch scenariuszy emisji RCP45 i RCP85. Opracowanie wykonano dla danych nieskorygowanych (surowych) oraz dla danych skorygowanych. Wartości tego indeksu zostały wyznaczone dla trzech okresów: 1971-2000, 2021-2050 i 2071-2100. Na Rysunku 28 przedstawione jest porównanie wyznaczonych wartości tego indeksu dla danych surowych oraz skorygowanych oraz dla dwóch scenariuszy emisji RCP45 oraz RCP85. Na górnym wykresie pokazano wyniki dla okresu referencyjnego (1971-2000) oraz dla okresu clim1 (2021-2050). Wykres przedstawia medianę (środek pudełka), kwartyle (dolna i górna granica pudełka), obserwacje odstające (zaznaczane kropkami) oraz maksimum i minimum po usunięciu obserwacji odstających. Widoczne jest zróżnicowanie otrzymanych wyników w zależności od modelu klimatycznego, scenariusza emisji oraz zastosowania korekcji błędów systematycznych.



RYСУNEK 28 ZMIENNOŚĆ W WIELOLECIE LICZBY STOPNIODNI GRZANIA WYZNACZONEJ DLA TEMPERATURY BAZOWEJ 20°C. WYKRES PRZEDSTAWIA MEDIANĘ (ŚRODEK PUDEŁKA), KWARTYLE (DOLNA I GÓRNA GRANICA PUDEŁKA), OBSERWACJE ODSTAJĄCE (ZAZNACZANE KROPKAMI) ORAZ MAKSYMUM I MINIMUM PO USUNIĘCIU OBSERWACJI ODSTAJĄCYCH.

TABELA 22 OSZACOWANIA LICZBY STOPNIODNI GRZANIA WYZNACZONEJ DLA TEMPERATURY BAZOWEJ 20°C. WARTOŚCI ŚREDNIE DLA 30-LECIA 1971-2000 NA PODSTAWIE WIĄZKI SUROWYCH ORAZ SKORYGOWANYCH SYMULACJI DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

	Dane surowe	Dane skorygowane
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	4621.7	4362.1
EC-EARTH-CCLM4-8-17	4625.9	4415.4
EC-EARTH-HIRHAM5	4767.5	4420.8

EC-EARTH-RACMO22E	4969.0	4478.0
EC-EARTH-RCA4	4784.8	4443.3
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	4422.4	4406.2
MPI-ESM-LR-RCA4	4203.2	4426.7
MPI-ESM-LR-REMO2009	4176.4	4412.7
IPSL-WRF331F	4688.2	4432.0
CNRM-CM5-RCA4	4622.7	4385.6
Średnia z wiązki	4588.2	4418.3
Wartość maksymalna z wiązki	4969.0	4478.0
Wartość minimalna z wiązki	4176.4	4362.1

Na podstawie wyznaczonych wartości indeksu dla trzech okresów 30 letnich obliczono zmiany wartości średniej z wielolecia. Wyniki obliczeń dla dziesięciu modeli klimatycznych oraz średnia, wartość minimalna i maksymalna z wiązki symulacji przedstawione są w Tabeli 23.

TABELA 23 ZMIANY LICZBY STOPNIODNI GRZANIA DLA TEMPERATURY BAZOWEJ 20°C NA PODSTAWIE SUROWYCH ORAZ SKORYGOWANYCH WYNIKÓW Z DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

	Dane surowe				Dane skorygowane			
	clim1-ref		clim2-ref		clim1-ref		clim2-ref	
	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	-	-	-	-	-	-	-	-
	200.7	236.8	612.3	-930.6	229.0	271.2	692.6	271.0
EC-EARTH-CCLM4-8-17	-	-	-	-	-	-	-	-
	333.8	454.6	619.9	1085.3	361.8	496.6	672.1	495.9
EC-EARTH-HIRHAM5	-	-	-	-	-	-	-	-
	498.3	637.6	699.5	1202.0	494.6	627.1	687.6	627.0
EC-EARTH-RACMO22E	-	-	-	-	-	-	-	-
	499.4	578.2	827.1	1354.9	521.4	600.5	869.3	599.4
EC-EARTH-RCA4	-	-	-	-	-	-	-	-
	458.7	654.3	841.2	1338.5	489.1	696.4	891.0	696.6
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	-	-	-	-	-	-	-	-
	243.7	258.7	414.3	-990.5	255.9	270.2	453.3	271.0
MPI-ESM-LR-RCA4	-	-	-	-	-	-	-	-
	366.4	333.5	510.6	1139.6	412.4	372.7	579.8	374.3

MPI-ESM-LR-REMO2009	-	-	-	-	-	-	-	-
	322.6	310.2	455.0	1079.1	343.2	325.4	491.8	326.2
IPSL-WRF331F	-	-	-	-	-	-	-	-
	569.7	517.1	936.3	1390.6	525.8	480.8	841.9	480.8
CNRM-CM5-RCA4	-	-	-	-	-	-	-	-
	285.9	330.1	744.6	1193.8	300.8	343.7	785.3	343.5
Średnia z wiązki modeli	-	-	-	-	-	-	-	-
	377.9	431.1	666.1	1170.5	393.4	448.5	696.5	448.6
Wartość minimalna z wiązki	-	-	-	-	-	-	-	-
	569.7	654.3	936.3	1390.6	525.8	696.4	891.0	696.6
Wartość maksymalna z wiązki	-	-	-	-	-	-	-	-
	200.7	236.8	414.3	-930.6	229.0	270.2	453.3	271.0

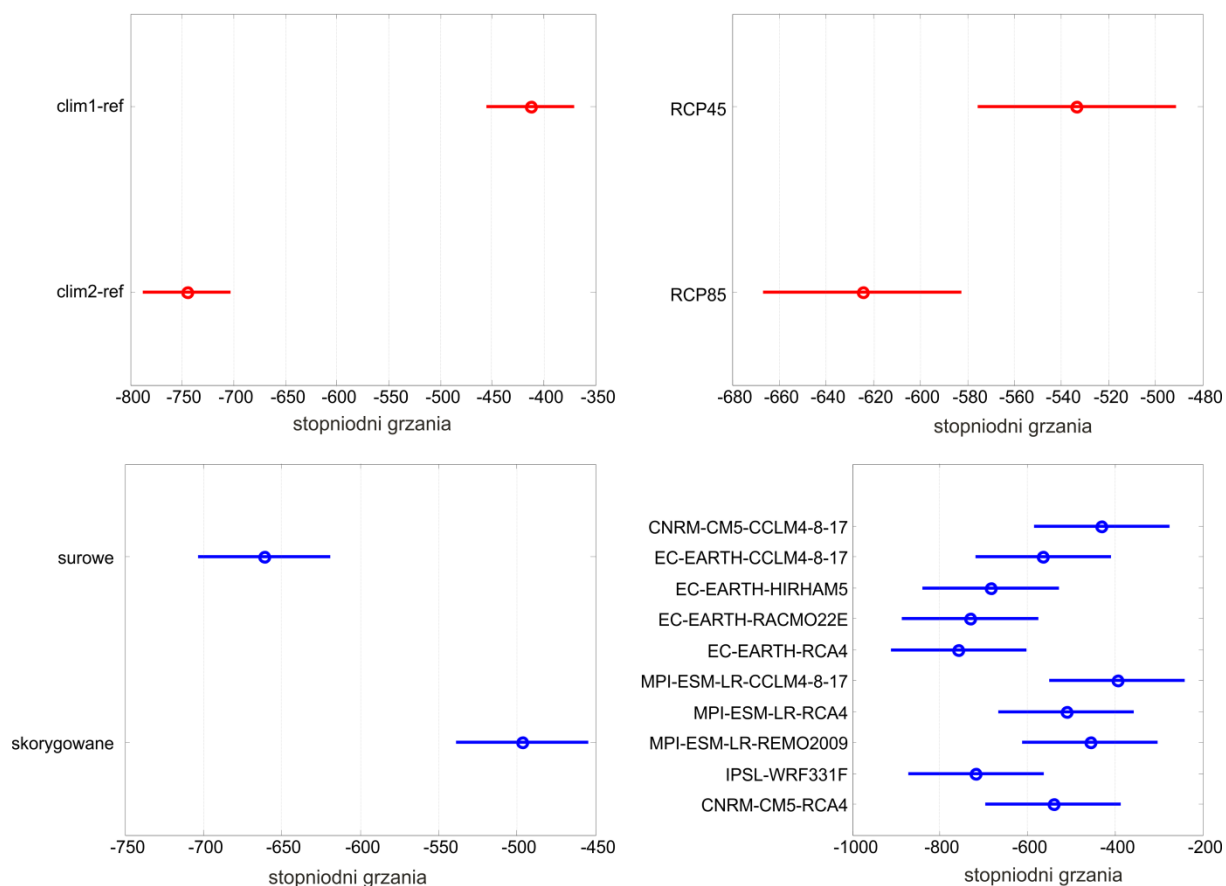
W kolejnym kroku dokonano oszacowania rozrzutu w otrzymanych wynikach ze względu na różnice pomiędzy analizowanymi okresami czasu (clim1 2021-2050 i clim2 2071-2100), scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5, korekcją błędów systematycznych oraz modelami klimatycznymi. Wyniki opracowania są przedstawione na Rysunku 29.

Na wykresie w górnym rzędzie po lewej stronie przedstawiono oszacowania zmian dla dwóch przyszłych okresów clim1 (2021-2050) i clim2 (2071-2100) w stosunku do okresu referencyjnego (1971-2000). Otrzymane wyniki wskazują na spadek wartości średniej o 412.7 i 745.4 stopniódnia grzania odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100. Różnice te są istotne statystycznie.

Porównanie zmian pomiędzy scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5 (wykres w górnym rzędzie po prawej stronie) wskazuje, że większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP8.5 (zmiana o -533.5 stopniódnia grzania) niż dla RCP4.5 (zmiana o -624.7 stopniódnia grzania). Różnice w estymowanych zmianach są statystycznie istotne.

Na wykresie w dolnym rzędzie po lewej stronie przedstawione jest porównanie otrzymanych wyników dla danych surowych oraz skorygowanych. Większe zmiany otrzymano dla danych surowych (-661.4 stopniódnia grzania) niż dla danych skorygowanych (-496.7 stopniódnia grzania). Różnice te są istotne statystycznie.

Porównanie szacowanych zmian liczby stopniódni grzania pomiędzy dziesięcioma modelami klimatycznymi pokazane jest na wykresie w dolnym rzędzie po prawej stronie. Oszacowanie te we wszystkich przypadkach wskazują na zmniejszenie liczby stopniódni grzania dla przyszłych warunków klimatycznych, lecz w zależności od modelu różnią się intensywnością zmian. Najmniejsze zmiany otrzymano dla wyników modelu MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17 (zmiana o -394.7 stopniódni grzania) natomiast największe dla modelu EC-EARTH-RCA4 (zmiana o -758.2 stopniódni grzania).



RYСУNEK 29 OSZACOWANIA ZMIAN LICZBY STOPNIODNI GRZANIA Z TEMPERATURĄ BAZOWĄ 20°C. ANALIZA ROZRZUTU OTRZYMANYCH WYNIKÓW W ZALEŻNOŚCI OD ANALIZOWANEGO OKRESU, SCENARIUSZA EMISJI, KOREKCJI DANYCH ORAZ MODELU KLIMATYCZNEGO.

PODSUMOWANIE

Oszacowania dziesięciu modeli klimatycznych odnośnie liczby stopniodni grzania wskazują na spadek wartości średniej stopniodni grzania o 412.7 i 745.4 odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100.

Porównanie zmian pomiędzy scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5 wskazuje, że większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP8.5 (zmiana o -533.5 stopniodnia grzania) niż dla RCP4.5 (zmiana o -624.7 stopniodnia grzania).

Porównanie otrzymanych wyników dla danych surowych oraz skorygowanych wskazuje, że większe zmiany otrzymano dla danych surowych (-661.4 stopniodnia grzania) niż dla danych skorygowanych (-496.7 stopniodnia grzania).

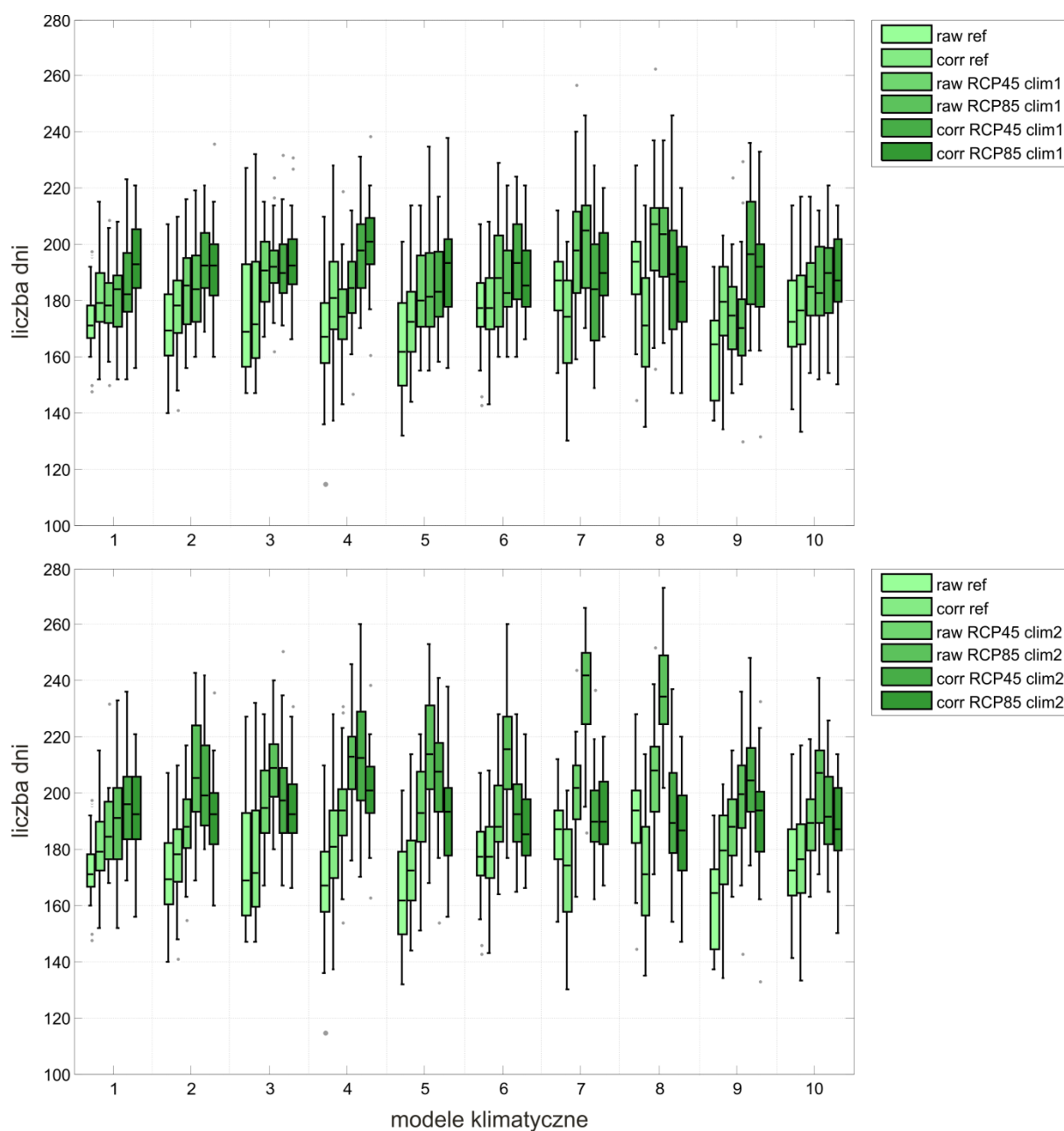
Porównanie szacowanych zmian liczby stopniodni grzania pomiędzy dziesięcioma modelami klimatycznymi. We wszystkich przypadkach wyniki wskazują na zmniejszenie liczby stopniodni grzania dla przyszłych warunków klimatycznych, lecz w zależności od modelu różnią się intensywnością zmian.

Długość okresu wegetacyjnego 5°C

W opracowaniach przez okres wegetacyjny rozumie się zwykle część roku od rozwoju pączków do opadnięcia liści. Przeważnie identyfikuje się go po prostu z okresem bezprzymrozkowym, a w praktyce określa najczęściej długością pory roku, w której średnia, dzienna temperatura powietrza wynosi powyżej 5° C. Jest to względny okres wegetacyjny.

Wyznaczenie dokładnej długości okresu wegetacyjnego jest utrudnione ze względu na zmienność temperatury powietrza. Z tego powodu długość okresu wegetacyjnego może być wyznaczona na wiele sposobów. W pierwszym z możliwych sposobów okres wegetacyjny może być zdefiniowany jako okres od pierwszego do ostatniego w ciągu roku wystąpienia średniej dobowej temperatury powietrza wyższej niż temperatura progowa. W tym podejściu nie uwzględnia się, że po początkowym okresie z temperaturą powietrza wyższą niż wartość progowa następują okresy chłodniejsze. W kolejnym z możliwych podejść długość okresu wegetacyjnego wyznaczana jest, jako czas trwania najdłuższego okresu w ciągu roku z średnią dobową temperaturą powietrza wyższą niż temperatura progowa. W tym opracowaniu zastosowano to drugie podejście bazujące na długości najdłuższego okresu z temperatura powietrza wyższą niż wartość graniczna (5° C).

W oszacowaniach wykorzystano wyniki symulacji dziesięciu modeli klimatycznych dla dwóch scenariuszy emisji RCP45 i RCP85. Opracowanie wykonano dla danych nieskorygowanych (surowych) oraz dla danych skorygowanych. Wartości tego indeksu zostały wyznaczone dla trzech okresów: 1971-2000, 2021-2050 i 2071-2100. Na Rysunku 30 przedstawione jest porównanie wyznaczonych wartości tego indeksu dla danych surowych oraz skorygowanych oraz dla dwóch scenariuszy emisji RCP45 oraz RCP85. Na górnym wykresie pokazano wyniki dla okresu referencyjnego (1971-2000) oraz dla okresu clim1 (2021-2050). Wykres przedstawia medianę (środek pudełka), kwartyle (dolna i górna granica pudełka), obserwacje odstające (zaznaczane kropkami) oraz maksimum i minimum po usunięciu obserwacji odstających. Widoczne jest zróżnicowanie otrzymanych wyników w zależności od modelu klimatycznego, scenariusza emisji oraz zastosowania korekcji błędów systematycznych.



RYSUNEK 30 ZMIENNOŚĆ W WIELOLECIU DŁUGOŚCI NAJDŁUŻSZEGO OKRESU Z TEMPERATURĄ ŚRĘDNĄ DOBOWĄ WYŻSZĄ NIŻ 5°C W CIĄGU ROKU. WYKRES PRZEDSTAWIA MEDIANĘ (ŚRODEK PUDEŁKA), KWARTYLE (DOLNA I GÓRNA GRANICA PUDEŁKA), OBSERWACJE ODSTAJĄCE (ZAZNACZANE KROPKAMI) ORAZ MAKSYMUM I MINIMUM PO USUNIĘCIU OBSERWACJI ODSTAJĄCYCH.

TABELA 24 OSZACOWANIA DŁUGOŚCI OKRESU WEGETACYJNEGO WYZNACZONEGO DLA TEMPERATURY BAZOWEJ 5°C. WARTOŚCI ŚRĘDNE DLA 30-LECIA 1971-2000 NA PODSTAWIE WIĄZKI SUROWYCH ORAZ SKORYGOWANYCH SYMULACJI DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

	Dane surowe	Dane skorygowane
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	174.0	180.7
EC-EARTH-CCLM4-8-17	170.6	176.4
EC-EARTH-HIRHAM5	174.0	176.5

EC-EARTH-RACMO22E	166.7	182.6
EC-EARTH-RCA4	165.1	173.0
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	176.6	177.3
MPI-ESM-LR-RCA4	186.0	171.9
MPI-ESM-LR-REMO2009	192.5	174.0
IPSL-WRF331F	162.4	177.2
CNRM-CM5-RCA4	174.4	176.8
Średnia z wiązki	174.2	176.6
Wartość maksymalna z wiązki	192.5	182.6
Wartość minimalna z wiązki	162.4	171.9

Na podstawie wyznaczonych wartości indeksu dla trzech okresów 30 letnich obliczono zmiany wartości średniej z wielolecia. Wyniki obliczeń dla dziesięciu modeli klimatycznych oraz średnia, wartość minimalna i maksymalna z wiązki symulacji przedstawione są w Tabeli 25.

TABELA 25 ZMIANY DŁUGOŚCI OKRESU WEGETACYJNEGO (NAJDŁUŻSZEGO OKRESU W ROKU Z TEMPERATURĄ ŚREDNIA DOBOWĄ WYŻSZĄ NIŻ 5°C NA PODSTAWIE WYNIKÓW Z DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

	Dane surowe				Dane skorygowane			
	clim1-ref		clim2-ref		clim1-ref		clim2-ref	
	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	7.0	7.3	13.5	17.9	5.5	13.1	17.4	11.9
EC-EARTH-CCLM4-8-17	14.3	13.5	19.1	37.9	17.4	15.8	27.3	15.8
EC-EARTH-HIRHAM5	16.7	18.1	20.6	33.9	15.9	17.6	22.8	18.1
EC-EARTH-RACMO22E	8.3	17.5	26.7	43.8	14.2	18.6	31.6	18.6
EC-EARTH-RCA4	15.9	20.0	29.6	49.1	12.7	20.6	31.7	20.6
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	12.9	12.2	15.2	38.9	15.2	12.4	15.3	12.4
MPI-ESM-LR-RCA4	11.5	16.1	16.0	49.1	12.7	20.0	19.7	20.0
MPI-ESM-LR-REMO2009	12.9	8.8	14.0	44.1	15.2	12.2	17.4	12.2
IPSL-WRF331F	12.8	10.2	26.6	36.0	18.9	13.0	29.0	13.4
CNRM-CM5-RCA4	8.7	7.3	14.4	28.4	10.2	12.9	17.2	12.9
Średnia z wiązki	12.1	13.1	19.6	37.9	13.8	15.6	22.9	15.6
Wartość minimalna z wiązki	7.0	7.3	13.5	17.9	5.5	12.2	15.3	11.9
Wartość maksymalna z wiązki	16.7	20.0	29.6	49.1	18.9	20.6	31.7	20.6

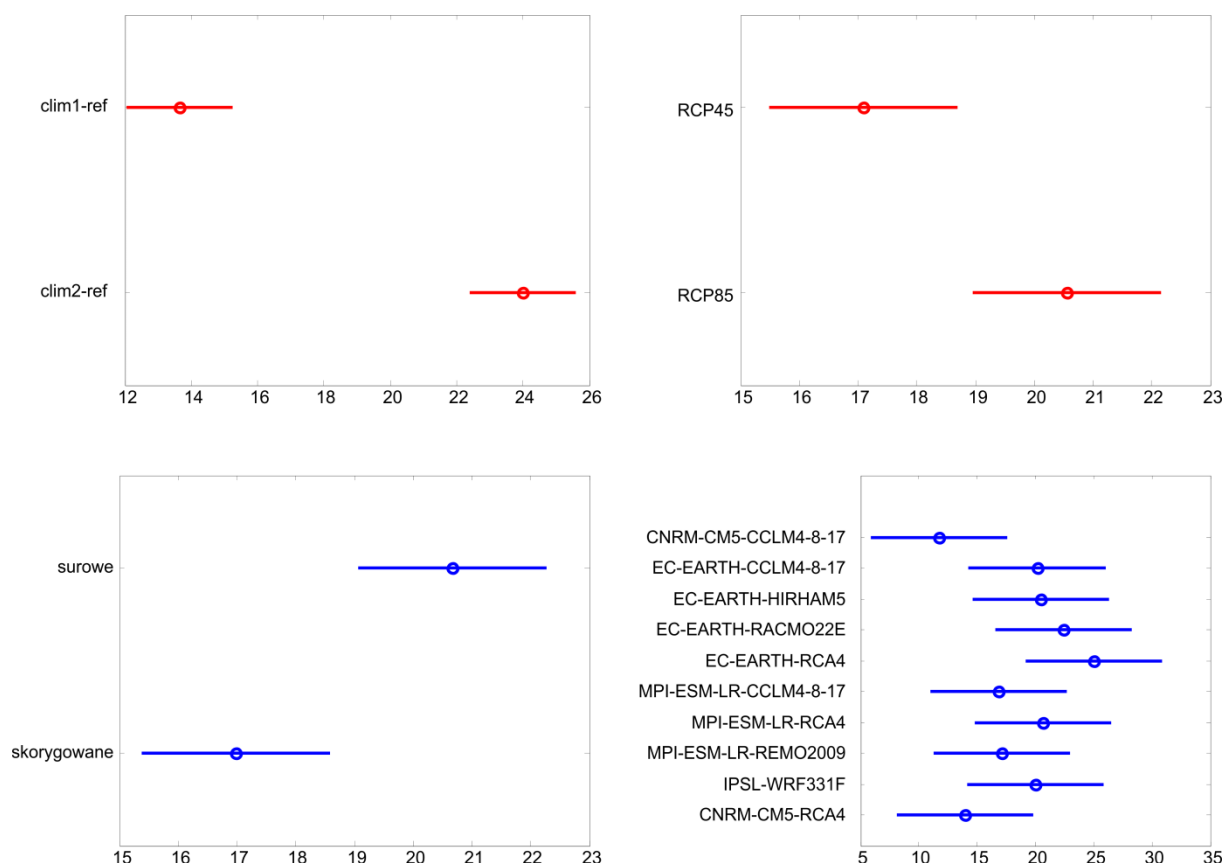
W kolejnym kroku dokonano oszacowania rozrzutu w otrzymanych wynikach ze względu na różnice pomiędzy analizowanymi okresami czasu (clim1 2021-2050 i clim2 2071-2100), scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5, korekcją błędów systematycznych oraz modelami klimatycznymi. Wyniki opracowania są przedstawione na Rysunku 31.

Na wykresie w górnym rzędzie po lewej stronie przedstawiono oszacowania zmian dla dwóch przyszłych okresów clim1 (2021-2050) i clim2 (2071-2100) w stosunku do okresu referencyjnego (1971-2000). Otrzymane wyniki wskazują na wzrost wartości średniej o 13.7 i 24.0 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100. Różnice pomiędzy okresami są istotne statystycznie.

Porównanie zmian długości okresu wegetacyjnego pomiędzy scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5 (wykres w górnym rzędzie po prawej stronie) wskazuje, że większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP8.5 (zmiana o 20.6 dnia) niż dla RCP4.5 (zmiana o 17.1 dnia). Różnice w estymowanych zmianach są statystycznie istotne.

Na wykresie w dolnym rzędzie po lewej stronie przedstawione jest porównanie otrzymanych wyników dla danych surowych oraz skorygowanych. Większe zmiany otrzymano dla danych surowych (20.7 dnia) niż dla danych skorygowanych (17.0 dnia). Różnice te są istotne statystycznie.

Porównanie szacowanych zmian w długości najdłuższego okresu w ciągu roku z temperaturą średnią dobową wyższą niż 5°C pomiędzy dziesięcioma modelami klimatycznymi pokazane jest na wykresie w dolnym rzędzie po prawej stronie. Oszacowanie te we wszystkich przypadkach wskazują na wydłużenie czasu trwania okresu wegetacji, lecz w zależności od modelu różnią się intensywnością zmian. Najmniejsze zmiany otrzymano dla wyników modelu CNRM-CM5-CCLM4-8-17 (zmiana o 11.7 dnia) natomiast największe dla modelu EC-EARTH-RCA4 (zmiana o 25.0 dni).



RYSUNEK 31 WYNIKI ANOVA. ZMIANY CZASU TRWANIA NAJDŁUŻSZEGO OKRESU W ROKU Z TEMPERATURĄ ŚREDNIĄ DOBOWĄ WYŻSZĄ NIŻ 5°C. ANALIZA ROZRZUTU OTRZYMANYCH WYNIKÓW W ZALEŻNOŚCI OD ANALIZOWANEGO OKRESU, SCENARIUSZA EMISJI, KOREKCJI DANYCH ORAZ MODELU KLIMATYCZNEGO.

PODSUMOWANIE

Oszacowania dziesięciu modeli klimatycznych odnośnie zmian długości okresu wegetacyjnego wskazują na wydłużenie czasu jego trwania średnio o 13.7 i 24.0 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100.

Porównanie zmian długości okresu wegetacyjnego pomiędzy scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5 wskazuje, że większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP8.5 (zmiana o 20.6 dnia) niż dla RCP4.5 (zmiana o 17.1 dnia).

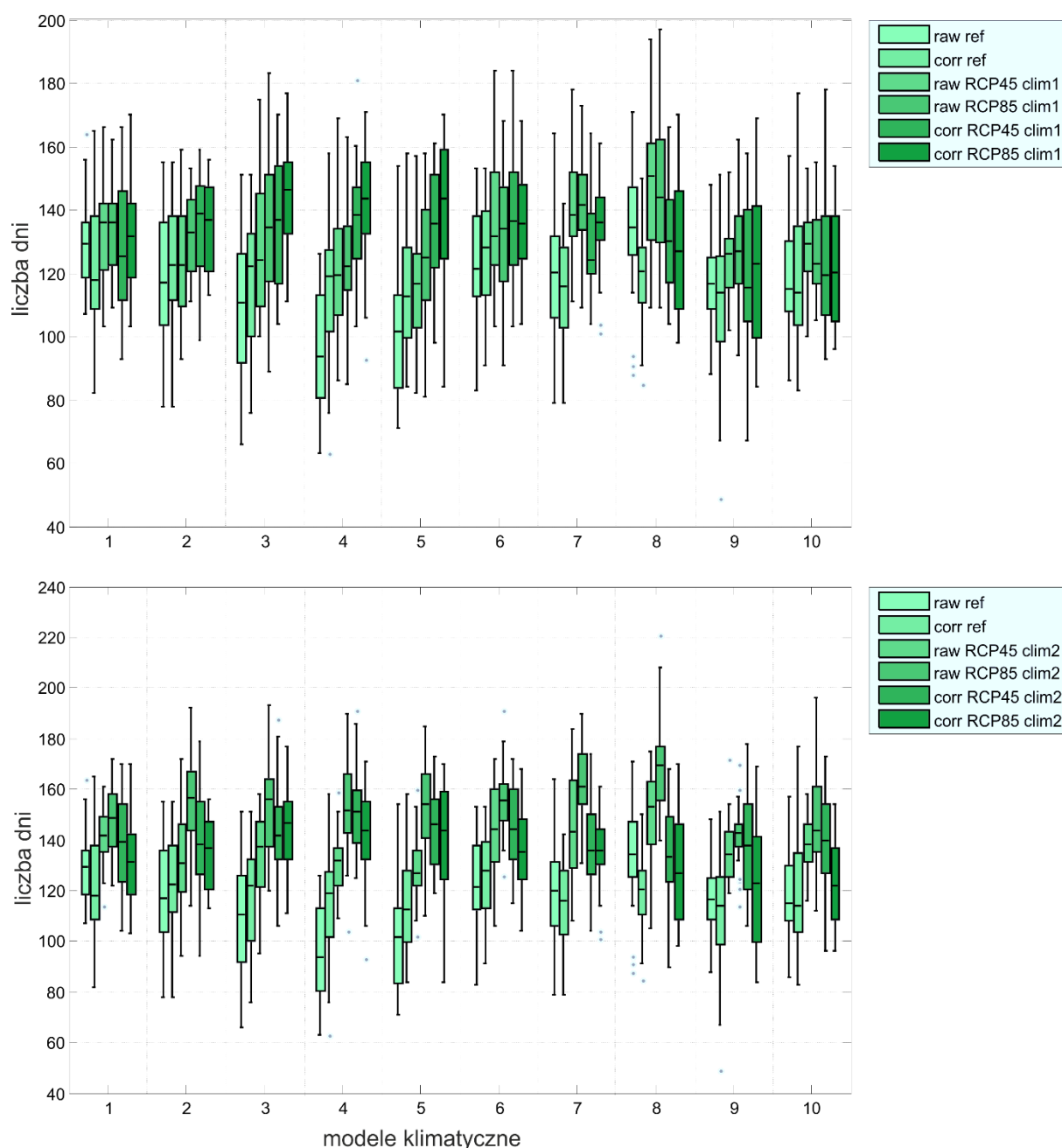
Porównanie otrzymanych wyników dla danych surowych oraz skorygowanych wskazuje, że większe zmiany otrzymano dla danych surowych (20.7 dnia) niż dla danych skorygowanych (17.0 dnia).

Porównanie wyników pomiędzy dziesięcioma modelami. We wszystkich przypadkach wyniki wskazują na wydłużenie czasu trwania okresu wegetacji, lecz w zależności od modelu różnią się intensywnością zmian. Najmniejsze zmiany otrzymano dla wyników modelu CNRM-CM5-CCLM4-8-17 (zmiana o 11.7 dnia) natomiast największe dla modelu EC-EARTH-RCA4 (zmiana o 25.0 dni).

Długość okresu wegetacyjnego 10°C

W opracowaniach stosuje się również inną wartość progową (10° C), od której liczony jest początek okresu wegetacyjnego. W takim przypadku, za główny okres wegetacyjny w strefie umiarkowanej uważa liczbę dni ze średnimi dziennymi powyżej 10° C (ciepły okres), gdyż dopiero po osiągnięciu tej wartości granicznej zaczyna się wyraźnie zielenienie roślin drzewiastych i produkcja asymilatów. Przy zmniejszających się temperaturach w jesieni żółknienie liści, a wraz z nim zakończenie procesu asymilacji następuje także przy średniej ciepłocie dziennej równej 10° C. W tym opracowaniu długość wegetacji wyznaczono, jako długość najdłuższego okresu z temperatura powietrza wyższą niż wartość graniczna (10° C).

W oszacowaniach wykorzystano wyniki symulacji dziesięciu modeli klimatycznych dla dwóch scenariuszy emisji RCP45 i RCP85. Opracowanie wykonano dla danych nieskorygowanych (surowych) oraz dla danych skorygowanych. Wartości tego indeksu zostały wyznaczone dla trzech okresów: 1971-2000, 2021-2050 i 2071-2100. Na Rysunku 32 przedstawione jest porównanie wyznaczonych wartości tego indeksu dla danych surowych oraz skorygowanych oraz dla dwóch scenariuszy emisji RCP45 oraz RCP85. Na górnym wykresie pokazano wyniki dla okresu referencyjnego (1971-2000) oraz dla okresu clim1 (2021-2050). Wykres przedstawia medianę (środek pudełka), kwartyle (dolna i górna granica pudełka), obserwacje odstające (zaznaczane kropkami) oraz maksimum i minimum po usunięciu obserwacji odstających. Widoczne jest zróżnicowanie otrzymanych wyników w zależności od modelu klimatycznego, scenariusza emisji oraz zastosowania korekcji błędów systematycznych.



RYСУNEK 32 ZMIENNOŚĆ W WIELOLECIU DŁUGOŚCI NAJDŁUŻSZEGO OKRESU Z TEMPERATURĄ ŚRĘDNĄ DOBOWĄ WYŻSZĄ NIŻ 10°C W CIĄGU ROKU. WYKRES PRZEDSTAWIA MEDIANĘ (ŚRODEK PUDEŁKA), KWARTYLE (DOLNA I GÓRNA GRANICA PUDEŁKA), OBSERWACJE ODSTAJĄCE (ZAZNACZANE KROPKAMI) ORAZ MAKSYMUM I MINIMUM PO USUNIĘCIU OBSERWACJI ODSTAJĄCYCH.

TABELA 26 OSZACOWANIA DŁUGOŚCI OKRESU WEGETACYJNEGO WYZNACZONEGO DLA TEMPERATURY PROGOWEJ 10°C. WARTOŚCI ŚREDNIE DLA 30-LECIA 1971-2000 NA PODSTAWIE WIĄZKI SUROWYCH ORAZ SKORYGOWANYCH SYMULACJI DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

	Dane surowe	Dane skorygowane
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	128.1	123.0
EC-EARTH-CCLM4-8-17	117.8	122.6
EC-EARTH-HIRHAM5	108.7	116.5

EC-EARTH-RACMO22E	96.2	113.0
EC-EARTH-RCA4	102.8	115.2
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	123.4	125.7
MPI-ESM-LR-RCA4	120.1	114.3
MPI-ESM-LR-REMO2009	133.6	119.2
IPSL-WRF331F	116.7	110.1
CNRM-CM5-RCA4	118.4	120.3
Średnia z wiązki	116.6	118.0
Wartość maksymalna z wiązki	133.6	125.7
Wartość minimalna z wiązki	96.2	110.1

Na podstawie wyznaczonych wartości indeksu dla trzech okresów 30 letnich obliczono zmiany wartości średniej z wielolecia. Wyniki obliczeń dla dziesięciu modeli klimatycznych oraz średnia, wartość minimalna i maksymalna z wiązki symulacji przedstawione są w Tabeli 27.

TABELA 27 ZMIANY DŁUGOŚCI OKRESU WEGETACYJNEGO (NAJDŁUŻSZEGO OKRESU W ROKU Z TEMPERATURĄ ŚREDNIA DOBOWĄ WYŻSZĄ NIŻ 10°C NA PODSTAWIE WYNIKÓW Z DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

	Dane surowe				Dane skorygowane			
	clim1-ref		clim2-ref		clim1-ref		clim2-ref	
	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	5.7	6.1	14.0	18.5	4.9	9.3	15.6	9.3
EC-EARTH-CCLM4-8-17	6.0	14.0	14.2	37.6	12.2	12.9	15.9	12.9
EC-EARTH-HIRHAM5	20.6	25.5	24.8	45.1	20.6	28.1	27.0	28.1
EC-EARTH-RACMO22E	23.1	28.0	35.8	56.0	23.8	29.3	39.5	29.3
EC-EARTH-RCA4	14.0	21.6	26.0	48.7	19.4	25.3	29.1	25.3
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	12.5	8.6	19.6	32.7	11.0	9.0	19.2	9.0
MPI-ESM-LR-RCA4	20.6	22.3	25.7	42.9	15.7	20.9	23.2	20.9
MPI-ESM-LR-REMO2009	14.3	13.7	15.7	35.6	10.9	9.7	15.0	9.7
IPSL-WRF331F	9.0	10.2	19.3	25.1	9.3	11.0	28.2	11.0
CNRM-CM5-RCA4	9.5	9.3	19.2	29.9	4.2	1.9	18.5	2.6
Średnia z wiązki	13.5	15.9	21.4	37.2	13.2	15.7	23.1	15.8
Wartość minimalna z wiązki	5.7	6.1	14.0	18.5	4.2	1.9	15.0	2.6

Wartość maksymalna z wiązki	23.1	28.0	35.8	56.0	23.8	29.3	39.5	29.3
------------------------------------	------	------	------	------	------	------	------	------

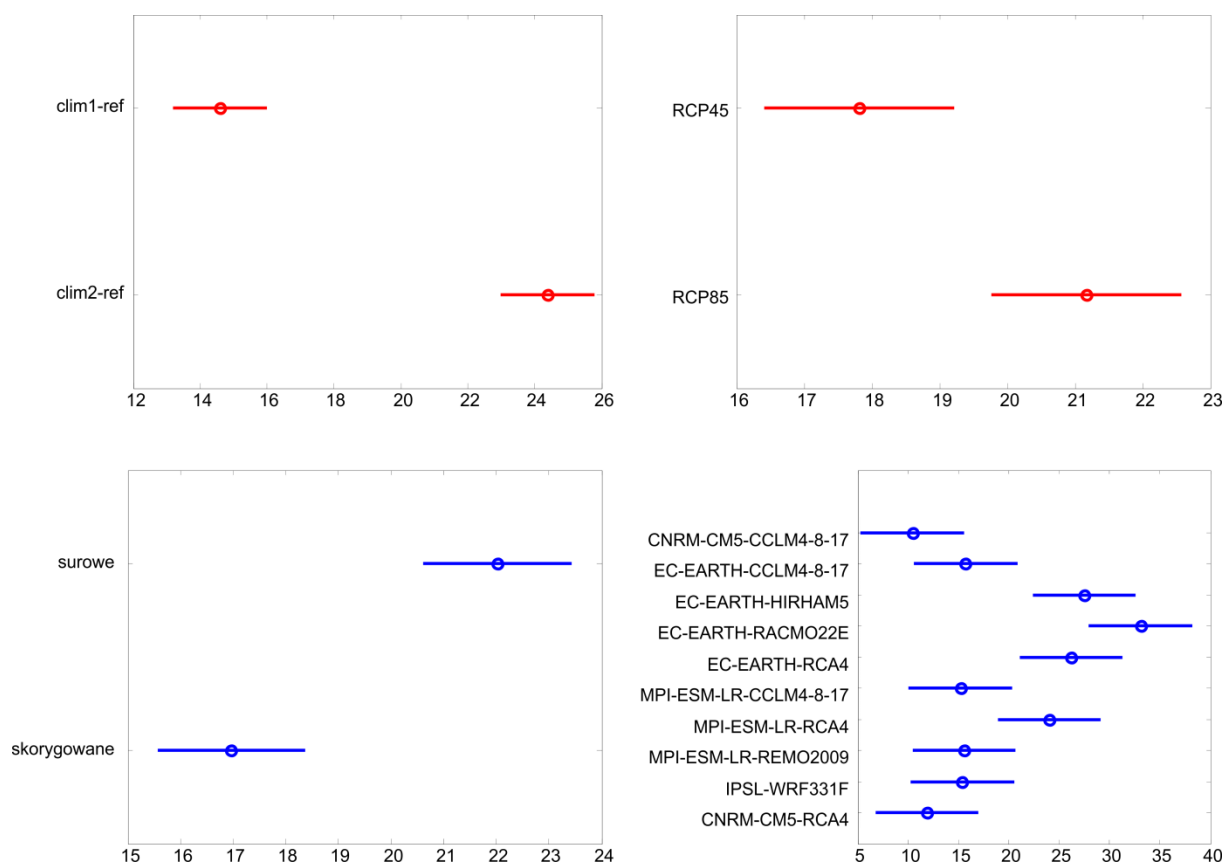
W kolejnym kroku dokonano oszacowania rozrzutu w otrzymanych wynikach ze względu na różnice pomiędzy analizowanymi okresami czasu (clim1 2021-2050 i clim2 2071-2100), scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5, korekcją błędów systematycznych oraz modelami klimatycznymi. Wyniki opracowania są przedstawione na Rysunku 33.

Na wykresie w górnym rzędzie po lewej stronie przedstawiono oszacowania zmian dla dwóch przyszłych okresów clim1 (2021-2050) i clim2 (2071-2100) w stosunku do okresu referencyjnego (1971-2000). Otrzymane wyniki wskazują na wzrost wartości średniej o 14.6 i 24.4 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100. Różnice pomiędzy okresami są istotne statystycznie.

Porównanie zmian długości okresu wegetacyjnego pomiędzy scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5 (wykres w górnym rzędzie po prawej stronie) wskazuje, że większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP8.5 (zmiana o 21.2 dnia) niż dla RCP4.5 (zmiana o 17.8 dnia). Różnice w estymowanych zmianach są statystycznie istotne.

Na wykresie w dolnym rzędzie po lewej stronie przedstawione jest porównanie otrzymanych wyników dla danych surowych oraz skorygowanych. Większe zmiany otrzymano dla danych surowych (22.0 dnia) niż dla danych skorygowanych (17.0 dnia). Różnice te są istotne statystycznie.

Porównanie szacowanych zmian w długości najdłuższego okresu w ciągu roku z temperaturą średnią dobową wyższą niż 10°C pomiędzy dziesięcioma modelami klimatycznymi pokazane jest na wykresie w dolnym rzędzie po prawej stronie. Oszacowanie te we wszystkich przypadkach wskazują na wydłużenie czasu trwania okresu wegetacji, lecz w zależności od modelu różnią się intensywnością zmian. Najmniejsze zmiany otrzymano dla wyników modelu CNRM-CM5-CCLM4-8-17 (zmiana o 10.4 dnia) natomiast największe dla modelu EC-EARTH-RACMO22E (zmiana o 33.1 dni).



RYSUNEK 33 WYNIKI ANOVA. ZMIANY CZASU TRWANIA NAJDŁUŻSZEGO OKRESU W ROKU Z TEMPERATURĄ ŚREDNIĄ DOBOWĄ WYŻSZĄ NIŻ 10°C. ANALIZA ROZRZUTU OTRZYMANYCH WYNIKÓW W ZALEŻNOŚCI OD ANALIZOWANEGO OKRESU, SCENARIUSZA EMISJI, KOREKCJI DANYCH ORAZ MODELU KLIMATYCZNEGO.

PODSUMOWANIE

Oszacowania dziesięciu modeli klimatycznych odnośnie zmian długości okresu wegetacyjnego wskazują na wydłużenie średniego czasu trwania o 14.6 i 24.4 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100.

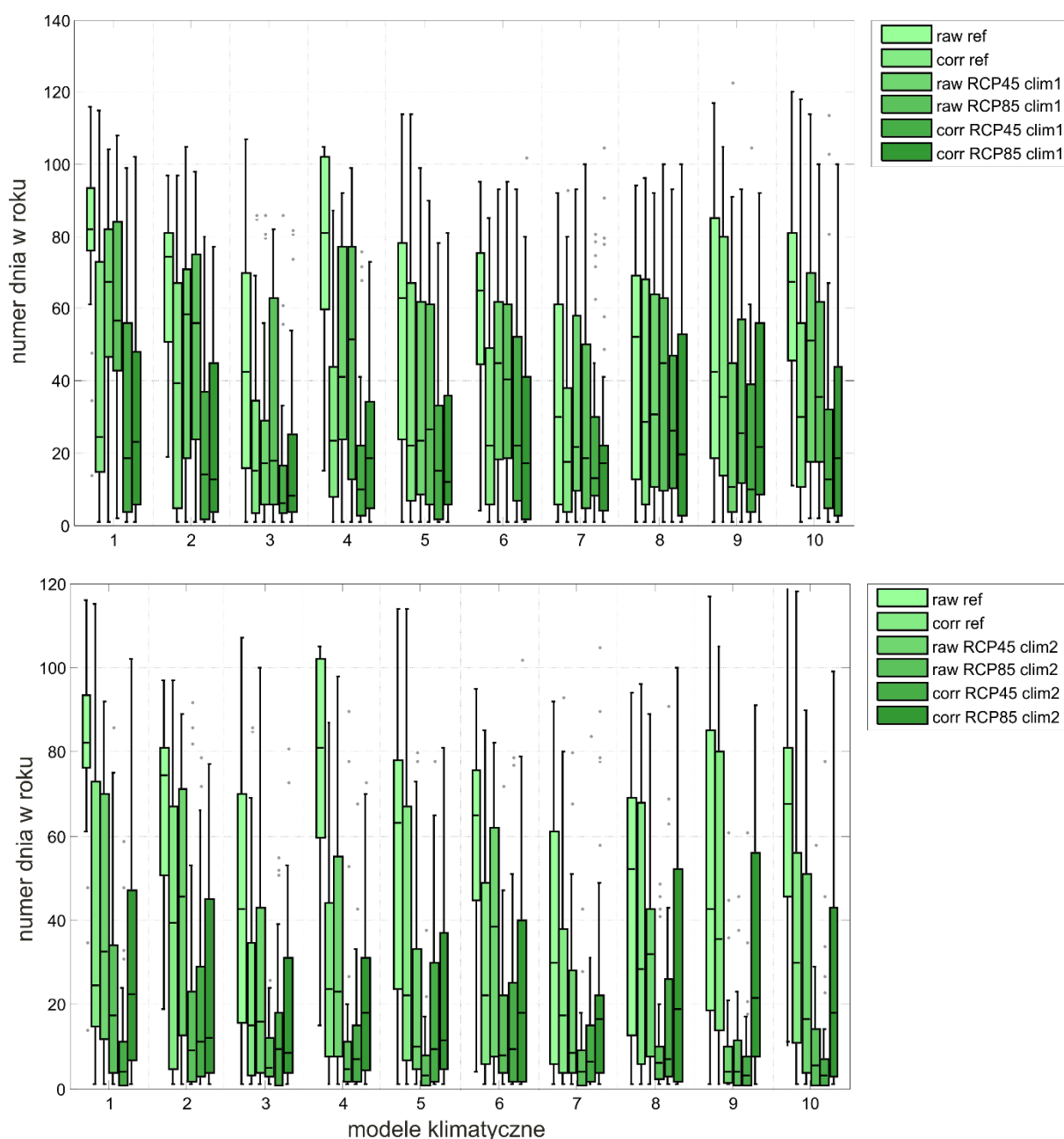
Porównanie zmian długości okresu wegetacyjnego pomiędzy scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5 wskazuje, że większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP8.5 (zmiana o 21.2 dnia) niż dla RCP4.5 (zmiana o 17.8 dnia).

Porównanie otrzymanych wyników dla danych surowych oraz skorygowanych wskazuje, że większe zmiany otrzymano dla danych surowych (22.0 dnia) niż dla danych skorygowanych (17.0 dnia).

Porównanie szacowanych zmian pomiędzy dziesięcioma modelami klimatycznymi. We wszystkich przypadkach otrzymane wyniki wskazują na wydłużenie czasu trwania okresu wegetacji, lecz w zależności od modelu różnią się intensywnością zmian. Najmniejsze zmiany otrzymano dla wyników modelu CNRM-CM5-CCLM4-8-17 (zmiana o 10.4 dnia) natomiast największe dla modelu EC-EARTH-RACMO22E (zmiana o 33.1 dnia).

Start okresu wegetacyjnego, z wartością progową 5°C

Start okresu wegetacyjnego wyznaczany jest jako data początku okresu ze średnią dobową temperaturą powietrza większą niż 5°C lub 10°C. W tym opracowaniu przeprowadzono analizy dla dwóch wartości granicznych. W oszacowaniach wykorzystano wyniki symulacji dziesięciu modeli klimatycznych dla dwóch scenariuszy emisji RCP45 i RCP85. Opracowanie wykonano dla danych nieskorygowanych (surowych) oraz dla danych skorygowanych. Wartości tego indeksu zostały wyznaczone dla trzech okresów: 1971-2000, 2021-2050 i 2071-2100. Na Rysunku 34 przedstawione jest porównanie wyznaczonych wartości tego indeksu dla danych surowych oraz skorygowanych oraz dla dwóch scenariuszy emisji RCP45 oraz RCP85. Na górnym wykresie pokazano wyniki dla okresu referencyjnego (1971-2000) oraz dla okresu clim1 (2021-2050). Wykres przedstawia medianę (środek pudełka), kwartyle (dolna i górna granica pudełka), obserwacje odstające (zaznaczane kropkami) oraz maksimum i minimum po usunięciu obserwacji odstających. Widoczne jest zróżnicowanie otrzymanych wyników w zależności od modelu klimatycznego, scenariusza emisji oraz zastosowania korekcji błędów systematycznych.



RYСУNEK 34 ZMIENNOŚĆ W WIELOLECIU STARTU OKRESU WEGETACYJNEGO Z TEMPERATURĄ ŚREDNIĄ DOBOWĄ WYŻSZĄ NIŻ 5°C. WYKRES PRZEDSTAWIA MEDIANĘ (ŚRODEK PUDEŁKA), KWARTYLE (DOLNA I GÓRNA GRANICA PUDEŁKA), OBSERWACJE ODSTAJĄCE (ZAZNACZANE KROPKAMI) ORAZ MAKSYMUM I MINIMUM PO USUNIĘCIU OBSERWACJI ODSTAJĄCYCH.

TABELA 28 OSZACOWANIA DATY STARTU OKRESU WEGETACYJNEGO WYZNACZONEGO DLA TEMPERATURY BAZOWEJ 5°C. WARTOŚCI ŚREDNIE DLA 30-LECIA 1971-2000 NA PODSTAWIE WIĄZKI SUROWYCH ORAZ SKORYGOWANYCH SYMULACJI DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

Dane surowe	Dane skorygowane	
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	80.3	39.9
EC-EARTH-CCLM4-8-17	66.4	38.8
EC-EARTH-HIRHAM5	43.6	24.6

EC-EARTH-RACMO22E	77.1	29.6
EC-EARTH-RCA4	54.2	36.2
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	58.3	29.4
MPI-ESM-LR-RCA4	36.9	26.5
MPI-ESM-LR-REMO2009	44.6	35.9
IPSL-WRF331F	50.3	43.8
CNRM-CM5-RCA4	63.3	37.7
Średnia z wiązki	57.5	34.2
Wartość maksymalna z wiązki	80.3	43.8
Wartość minimalna z wiązki	36.9	24.6

Na podstawie wyznaczonych wartości indeksu dla trzech okresów 30 letnich obliczono zmiany wartości średniej z wielolecia. Wyniki obliczeń dla dziesięciu modeli klimatycznych oraz średnia, wartość minimalna i maksymalna z wiązki symulacji przedstawione są w Tabeli 29.

TABELA 29 ZMIANY DATY POCZĄTKU OKRESU WEGETACYJNEGO (TEMPERATURA ŚREDNIA DOBOWA WYŻSZA NIŻ 5°C NA PODSTAWIE WYNIKÓW Z DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

	Dane surowe				Dane skorygowane			
	clim1-ref		clim2-ref		clim1-ref		clim2-ref	
	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	-19.2	-21.5	-39.6	-56.8	-7.7	-9.6	-27.8	-9.6
EC-EARTH-CCLM4-8-17	-16.4	-14.1	-23.2	-46.3	-15.9	-14.6	-18.6	-15.0
EC-EARTH-HIRHAM5	-20.1	-11.5	-18.9	-35.4	-9.3	-4.7	-9.9	-4.8
EC-EARTH-RACMO22E	-32.3	-27.7	-42.8	-64.1	-11.7	-7.3	-17.5	-7.7
EC-EARTH-RCA4	-21.2	-20.6	-32.1	-47.6	-14.3	-12.3	-18.5	-12.7
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	-14.0	-18.6	-20.2	-42.2	3.2	-3.6	-11.6	-3.0
MPI-ESM-LR-RCA4	-4.6	-7.2	-18.8	-30.0	-0.9	-1.2	-14.8	-1.5
MPI-ESM-LR-REMO2009	-5.8	-5.5	-13.5	-33.3	-2.0	-4.6	-18.1	-5.0
IPSL-WRF331F	-24.1	-15.9	-40.6	-41.4	-21.5	-12.1	-35.8	-12.5
CNRM-CM5-RCA4	-13.6	-22.3	-35.9	-53.2	-12.4	-12.2	-27.7	-12.6
Średnia z wiązki	-17.1	-16.5	-28.6	-45.0	-9.2	-8.2	-20.0	-8.4
Wartość minimalna z wiązki	-32.3	-27.7	-42.8	-64.1	-21.5	-14.6	-35.8	-15.0

Wartość maksymalna z wiązki	-4.6	-5.5	-13.5	-30.0	3.2	-1.2	-9.9	-1.5
------------------------------------	------	------	-------	-------	-----	------	------	------

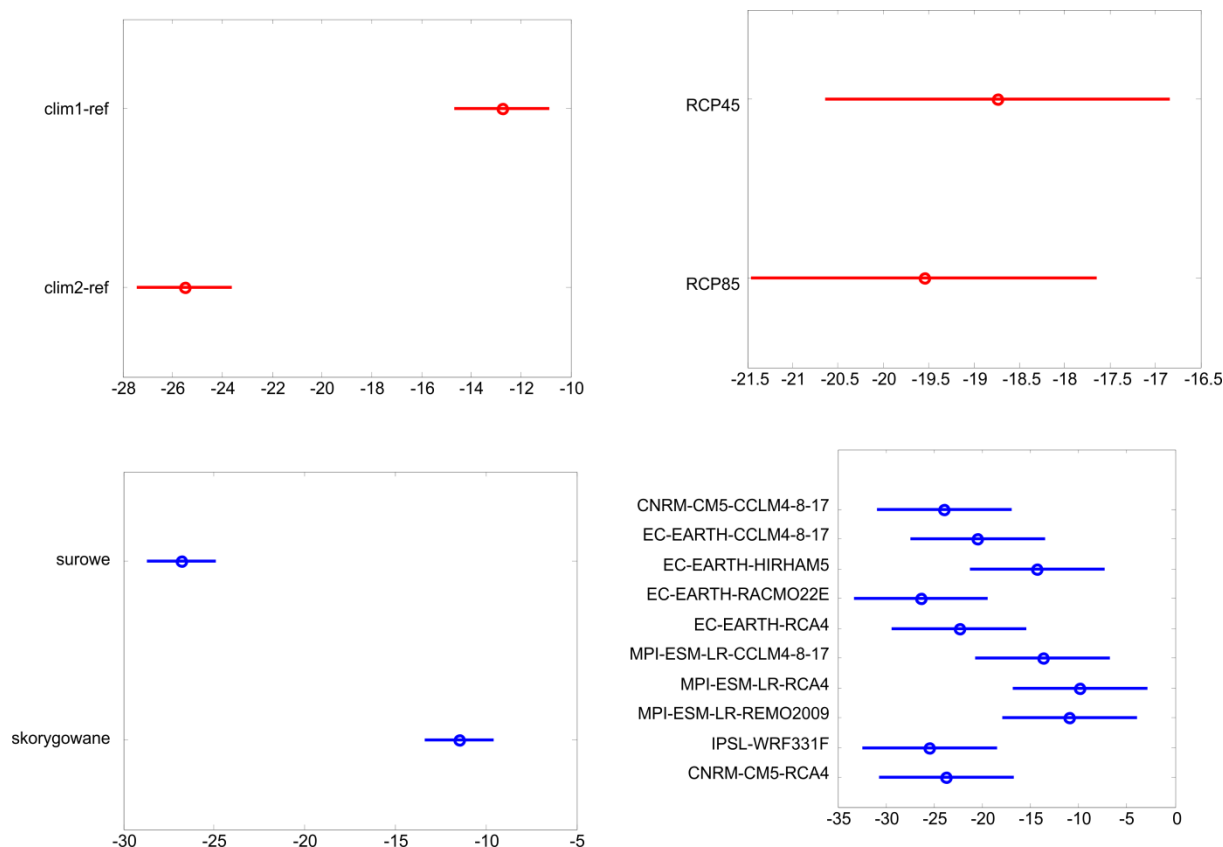
W kolejnym kroku dokonano oszacowania rozrzutu w otrzymanych wynikach ze względu na różnice pomiędzy analizowanymi okresami czasu (clim1 2021-2050 i clim2 2071-2100), scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5, korekcją błędów systematycznych oraz modelami klimatycznymi. Wyniki opracowania są przedstawione na Rysunku 35.

Na wykresie w górnym rzędzie po lewej stronie przedstawiono oszacowania zmian dla dwóch przyszłych okresów clim1 (2021-2050) i clim2 (2071-2100) w stosunku do okresu referencyjnego (1971-2000). Otrzymane wyniki wskazują na szybszy start wegetacji o 12.8 i 25.5 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100. Różnice pomiędzy okresami są istotne statystycznie.

Porównanie zmian długości okresu wegetacyjnego pomiędzy scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5 (wykres w górnym rzędzie po prawej stronie) wskazuje, że większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP8.5 (start wegetacji szybszy o 19.6 dnia) niż dla RCP4.5 (start wegetacji szybszy 18.7 dnia). Różnice w estymowanych zmianach nie są statystycznie istotne.

Na wykresie w dolnym rzędzie po lewej stronie przedstawione jest porównanie otrzymanych wyników dla danych surowych oraz skorygowanych. Większe zmiany otrzymano dla danych surowych (start wegetacji szybszy o 26.8 dnia) niż dla danych skorygowanych (11.5 dnia). Różnice te są istotne statystycznie.

Porównanie szacowanych zmian w starcie wegetacji pomiędzy dziesięcioma modelami klimatycznymi pokazane jest na wykresie w dolnym rzędzie po prawej stronie. Oszacowanie te we wszystkich przypadkach wskazują na przyspieszenie startu wegetacji, lecz w zależności od modelu różnią się intensywnością zmian. Najmniejsze zmiany otrzymano dla wyników modelu MPI-ESM-LR-RCA4 (zmiana o 9.9 dnia) natomiast największe dla modelu EC-EARTH-RACMO22E (zmiana o 26.4 dnia).



RYSUNEK 35 ANOVA START OKRESU WEGETACYJNEGO (TEMPERATURA ŚREDNIA DOBOWA WYŻSZA NIŻ 5°C). ANALIZA ROZRZUTU OTRZYMANYCH WYNIKÓW W ZALEŻNOŚCI OD ANALIZOWANEGO OKRESU, SCENARIUSZA EMISJI, KOREKCJI DANYCH ORAZ MODELU KLIMATYCZNEGO.

PODSUMOWANIE

Oszacowania dziesięciu modeli klimatycznych odnośnie daty początku okresu wegetacyjnego wskazują na szybszy start wegetacji o 12.8 i 25.5 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100.

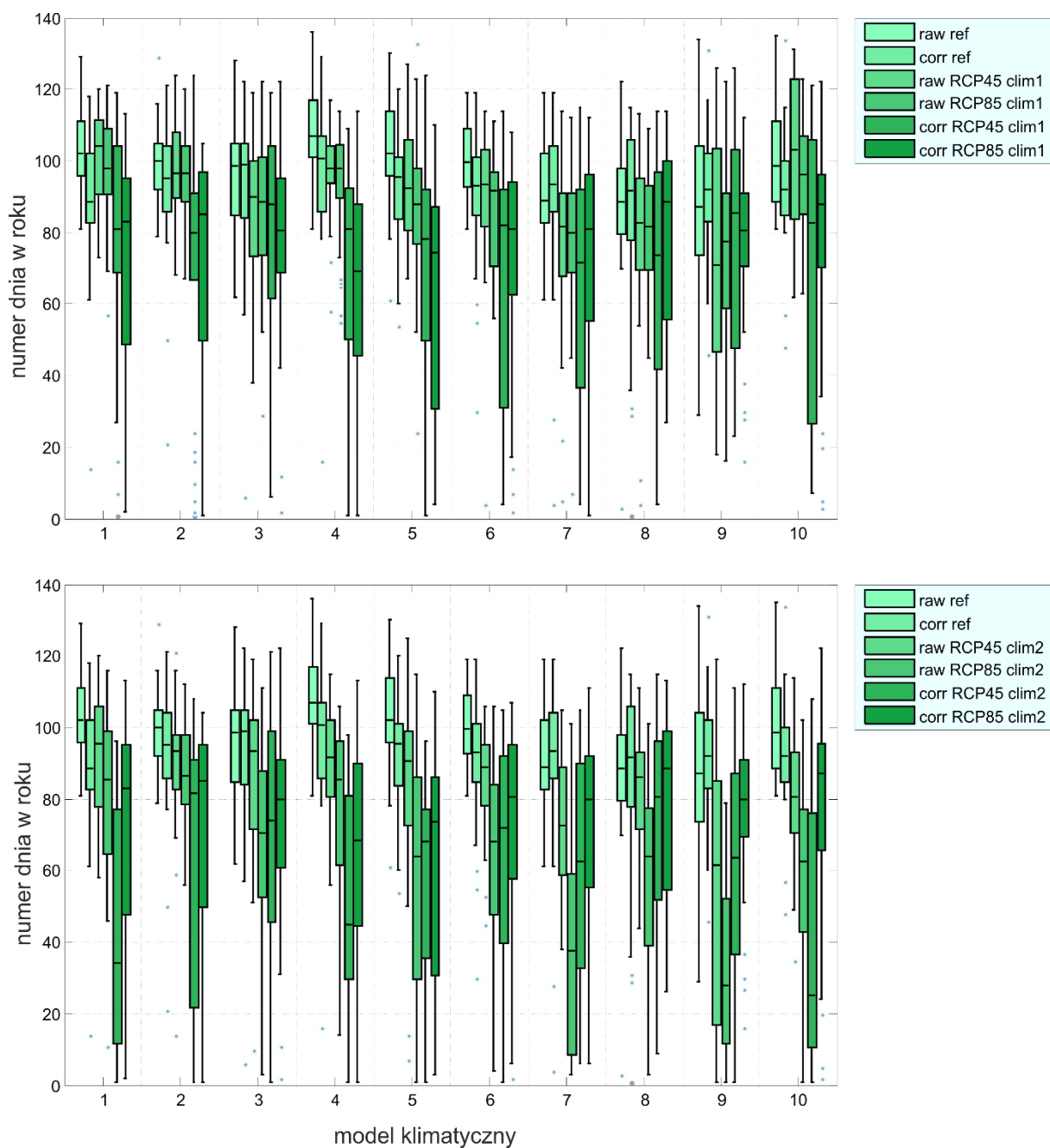
Porównanie zmian długości okresu wegetacyjnego pomiędzy scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5 wskazuje, że większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP8.5 (start wegetacji szybszy o 19.6 dnia) niż dla RCP4.5 (start wegetacji szybszy 18.7 dnia).

Porównanie otrzymanych wyników dla danych surowych oraz skorygowanych wskazuje, że większe zmiany otrzymano dla danych surowych (start wegetacji szybszy o 26.8 dnia) niż dla danych skorygowanych (11.5 dnia).

Porównanie wyników pomiędzy dziesięcioma modelami klimatycznymi. We wszystkich przypadkach otrzymane wyniki wskazują na przyspieszenie startu wegetacji, lecz w zależności od modelu różnią się intensywnością zmian. Najmniejsze zmiany otrzymano dla wyników modelu MPI-ESM-LR-RCA4 (zmiana o 9.9 dnia) natomiast największe dla modelu EC-EARTH-RACMO22E (zmiana o 26.4 dnia).

Start okresu wegetacyjnego, z wartością progową 10°C

Start okresu wegetacyjnego wyznaczany jest jako data początku okresu ze średnią dobową temperaturą powietrza większą niż 5°C lub 10°C. W tym opracowaniu przeprowadzono analizy dla dwóch wartości granicznych. W oszacowaniach wykorzystano wyniki symulacji dziesięciu modeli klimatycznych dla dwóch scenariuszy emisji RCP45 i RCP85. Opracowanie wykonano dla danych nieskorygowanych (surowych) oraz dla danych skorygowanych. Wartości tego indeksu zostały wyznaczone dla trzech okresów: 1971-2000, 2021-2050 i 2071-2100. Na Rysunku 36 przedstawione jest porównanie wyznaczonych wartości tego indeksu dla danych surowych oraz skorygowanych oraz dla dwóch scenariuszy emisji RCP45 oraz RCP85. Na górnym wykresie pokazano wyniki dla okresu referencyjnego (1971-2000) oraz dla okresu clim1 (2021-2050). Wykres przedstawia medianę (środek pudełka), kwartyle (dolna i górna granica pudełka), obserwacje odstające (zaznaczane kropkami) oraz maksimum i minimum po usunięciu obserwacji odstających. Widoczne jest zróżnicowanie otrzymanych wyników w zależności od modelu klimatycznego, scenariusza emisji oraz zastosowania korekcji błędów systematycznych.



RYСУNEK 36 ZMIENNOŚĆ W WIELOLECIEU STARTU OKRESU WEGETACYJNEGO Z TEMPERATURĄ ŚRĘDNĄ DOBOWĄ WYŻSZĄ NIŻ 10°C. WYKRES PRZEDSTAWIA MEDIANĘ (ŚRODEK PUDEŁKA), KWARTYLE (DOLNA I GÓRNA GRANICA PUDEŁKA), OBSERWACJE ODSTAJĄCE (ZAZNACZANE KROPKAMI) ORAZ MAKSYMUM I MINIMUM PO USUNIĘCIU OBSERWACJI ODSTAJĄCYCH.

TABELA 30 OSZACOWANIA DATY STARTU OKRESU WEGETACYJNEGO WYZNACZONE DLA TEMPERATURY PROGOWEJ 10°C. WARTOŚCI ŚREDNIE DLA 30-LECIA 1971-2000 NA PODSTAWIE WIĄZKI SUROWYCH ORAZ SKORYGOWANYCH SYMULACJI DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

	Dane surowe	Dane skorygowane
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	102.0	89.7
EC-EARTH-CCLM4-8-17	99.2	92.5
EC-EARTH-HIRHAM5	95.9	92.9

EC-EARTH-RACMO22E	108.8	96.3
EC-EARTH-RCA4	102.8	93.9
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	99.9	90.8
MPI-ESM-LR-RCA4	90.9	86.9
MPI-ESM-LR-REMO2009	87.2	84.4
IPSL-WRF331F	88.4	91.3
CNRM-CM5-RCA4	101.1	92.3
Średnia z wiązki	97.6	91.1
Wartość maksymalna z wiązki	108.8	96.3
Wartość minimalna z wiązki	87.2	84.4

Na podstawie wyznaczonych wartości indeksu dla trzech okresów 30 letnich obliczono zmiany wartości średniej z wielolecia. Wyniki obliczeń dla dziesięciu modeli klimatycznych oraz średnia, wartość minimalna i maksymalna z wiązki symulacji przedstawione są w Tabeli 31.

TABELA 31 ZMIANY DATY POCZĄTKU OKRESU WEGETACYJNEGO (TEMPERATURA ŚREDNIA DOBOWA WYŻSZA NIŻ 10°C NA PODSTAWIE WYNIKÓW Z DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

	Dane surowe				Dane skorygowane			
	clim1-ref		clim2-ref		clim1-ref		clim2-ref	
	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	-0.6	-4.5	-9.7	-20.7	-15.0	-17.9	-45.4	-18.3
EC-EARTH-CCLM4-8-17	-2.1	-3.3	-9.3	-12.3	-24.1	-21.2	-27.6	-22.0
EC-EARTH-HIRHAM5	-8.6	-9.7	-10.1	-30.1	-14.8	-15.3	-24.6	-17.6
EC-EARTH-RACMO22E	-12.1	-16.0	-18.0	-31.3	-25.6	-30.5	-45.3	-31.0
EC-EARTH-RCA4	-9.3	-15.3	-20.5	-44.9	-23.6	-29.8	-37.3	-30.2
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	-10.2	-13.2	-14.4	-36.6	-23.8	-18.6	-26.7	-19.1
MPI-ESM-LR-RCA4	-16.0	-12.7	-19.7	-52.4	-23.8	-14.4	-27.6	-13.6
MPI-ESM-LR-REMO2009	-8.0	-6.0	-4.4	-31.7	-16.5	-5.1	-10.1	-5.5
IPSL-WRF331F	-14.9	-13.7	-32.1	-56.3	-14.2	-14.2	-31.0	-14.3
CNRM-CM5-RCA4	-0.3	-5.3	-20.8	-44.7	-22.7	-16.7	-51.3	-17.2
Średnia z wiązki	-8.2	-10.0	-15.9	-36.1	-20.4	-18.4	-32.7	-18.9
Wartość minimalna z wiązki	-16.0	-16.0	-32.1	-56.3	-25.6	-30.5	-51.3	-31.0

Wartość maksymalna z wiązki	-0.3	-3.3	-4.4	-12.3	-14.2	-5.1	-10.1	-5.5
------------------------------------	------	------	------	-------	-------	------	-------	------

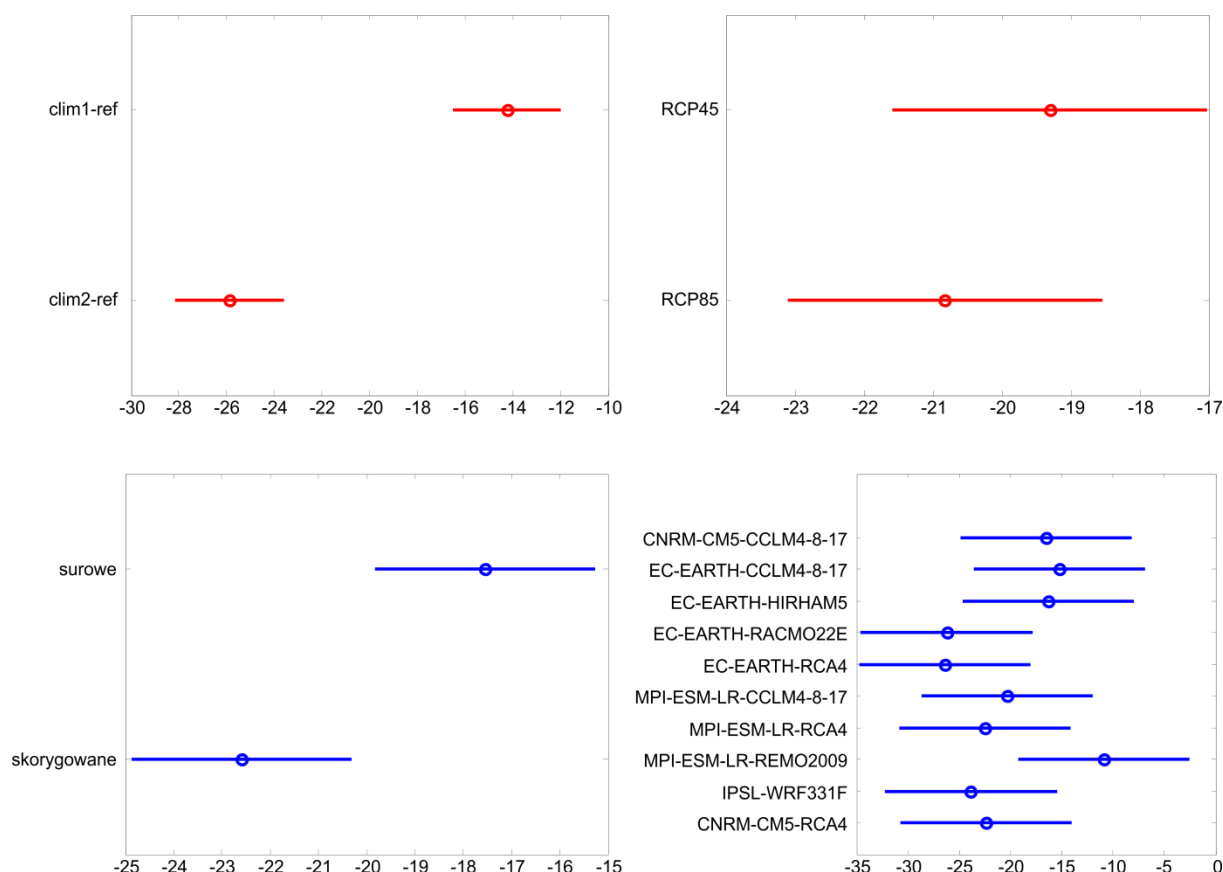
W kolejnym kroku dokonano oszacowania rozrzutu w otrzymanych wynikach ze względu na różnice pomiędzy analizowanymi okresami czasu (clim1 2021-2050 i clim2 2071-2100), scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5, korekcją błędów systematycznych oraz modelami klimatycznymi. Wyniki opracowania są przedstawione na Rysunku 37.

Na wykresie w górnym rzędzie po lewej stronie przedstawiono oszacowania zmian dla dwóch przyszłych okresów clim1 (2021-2050) i clim2 (2071-2100) w stosunku do okresu referencyjnego (1971-2000). Otrzymane wyniki wskazują na szybszy start wegetacji o 14.2 i 25.9 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100. Różnice pomiędzy okresami są istotne statystycznie.

Porównanie zmian długości okresu wegetacyjnego pomiędzy scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5 (wykres w górnym rzędzie po prawej stronie) wskazuje, że większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP8.5 (start wegetacji szybszy o 20.8 dnia) niż dla RCP4.5 (start wegetacji szybszy 19.3 dnia). Różnice w estymowanych zmianach nie są statystycznie istotne.

Na wykresie w dolnym rzędzie po lewej stronie przedstawione jest porównanie otrzymanych wyników dla danych surowych oraz skorygowanych. Większe zmiany otrzymano dla danych skorygowanych (start wegetacji szybszy o 22.6 dnia) niż dla danych surowych (17.5 dnia). Różnice te są istotne statystycznie.

Porównanie szacowanych zmian w starcie wegetacji pomiędzy dziesięcioma modelami klimatycznymi pokazane jest na wykresie w dolnym rzędzie po prawej stronie. Oszacowanie te we wszystkich przypadkach wskazują na przyspieszenie startu wegetacji, lecz w zależności od modelu różnią się intensywnością zmian. Najmniejsze zmiany otrzymano dla wyników modelu MPI-ESM-LR-REMO2009 (zmiana o 10.9 dnia) natomiast największe dla modelu EC-EARTH-RCA4 (zmiana o 26.4 dnia).



RYСУNEK 37 ANOVA START OKRESU WEGETACYJNEGO (TEMPERATURA ŚREDNIA DOBOWA WYŻSZA NIŻ 10°C). ANALIZA ROZRZUTU OTRZYMANYCH WYNIKÓW W ZALEŻNOŚCI OD ANALIZOWANEGO OKRESU, SCENARIUSZA EMISJI, KOREKCY DANYCH ORAZ MODELU KLIMATYCZNEGO.

PODSUMOWANIE

Oszacowania dziesięciu modeli klimatycznych odnośnie daty startu wegetacji wskazują na szybszy start wegetacji o 14.2 i 25.9 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100.

Porównanie zmian długości okresu wegetacyjnego pomiędzy scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5 wskazuje, że większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP8.5 (start wegetacji szybszy o 20.8 dnia) niż dla RCP4.5 (start wegetacji szybszy 19.3 dnia).

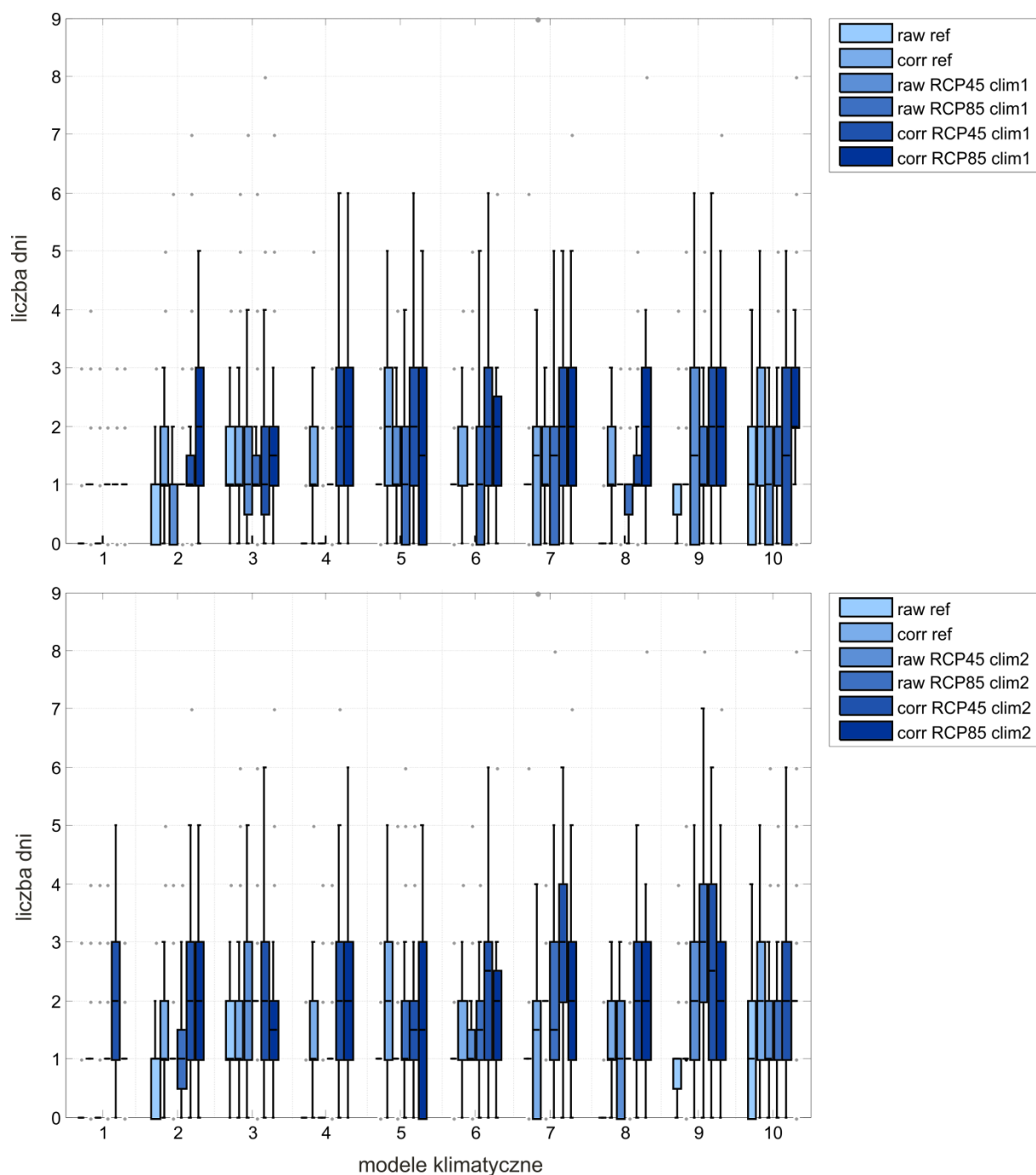
Porównanie otrzymanych wyników dla danych surowych oraz skorygowanych wskazuje na większe zmiany otrzymano dla danych skorygowanych (start wegetacji szybszy o 22.6 dnia) niż dla danych surowych (17.5 dnia).

Porównanie szacowanych zmian w starcie wegetacji pomiędzy dziesięcioma modelami klimatycznymi we wszystkich przypadkach wskazuje na przyspieszenie startu wegetacji, lecz w zależności od modelu różnią się intensywnością zmian. Najmniejsze zmiany otrzymano dla wyników modelu MPI-ESM-LR-REMO2009 (zmiana o 10.9 dnia) natomiast największe dla modelu EC-EARTH-RCA4 (zmiana o 26.4 dnia).

Liczba dni w roku z opadem większym lub równym 30mm/dobę

(pierwszy próg opadów stwarzający zagrożenie podtopieniami) wskaźnik zaproponowany przez Gorgoń i inni (2014),

W oszacowaniach wykorzystano wyniki symulacji dziesięciu modeli klimatycznych dla dwóch scenariuszy emisji RCP45 i RCP85. Opracowanie wykonano dla danych nieskorygowanych (surowych) oraz dla danych skorygowanych. Wartości tego indeksu zostały wyznaczone dla trzech okresów: 1971-2000, 2021-2050 i 2071-2100. Na Rysunku 38 przedstawione jest porównanie wyznaczonych wartości tego indeksu dla danych surowych oraz skorygowanych oraz dla dwóch scenariuszy emisji RCP45 oraz RCP85. Na górnym wykresie pokazano wyniki dla okresu referencyjnego (1971-2000) oraz dla okresu clim1 (2021-2050). Wykres przedstawia medianę (środek pudełka), kwartyle (dolna i górna granica pudełka), obserwacje odstające (zaznaczane kropkami) oraz maksimum i minimum po usunięciu obserwacji odstających. Widoczne jest zróżnicowanie otrzymanych wyników w zależności od modelu klimatycznego, scenariusza emisji oraz zastosowania korekcji błędów systematycznych.



RYSUNEK 38 ZMIENNOŚĆ W WIELOLECIU LICZBY DNI OPADEM WYŻSZYM NIŻ 30MM/DOBĘ. WYKRES PRZEDSTAWIA MEDIANĘ (ŚRODEK PUDEŁKA), KWARTYLE (DOLNA I GÓRNA GRANICA PUDEŁKA), OBSERWACJE ODSTAJĄCE (ZAZNACZANE KROPKAMI) ORAZ MAKSYMUM I MINIMUM PO USUNIĘCIU OBSERWACJI ODSTAJĄCYCH.

TABELA 32 OSZACOWANIA LICZBY DNI Z OPADEM WIĘKSZYM NIŻ 30MM/DOBĘ W CIĄGU ROKU KALENDARZOWEGO. WARTOŚCI ŚREDNIE DLA 30-LECIA 1971-2000 NA PODSTAWIE WIĄZKI SUROWYCH ORAZ SKORYGOWANYCH SYMULACJI DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

Dane surowe			Dane skorygowane	
Średnio w roku	w	Ile razy w 30-leciu	Średnio w roku	Ile razy w 30-leciu

CNRM- CM5-CCLM4-8-17	0.43	13.00	1.27	38.00
EC-EARTH-CCLM4-8-17	1.00	30.00	1.50	45.00
EC-EARTH-HIRHAM5	1.43	43.00	1.67	50.00
EC-EARTH-RACMO22E	0.57	17.00	1.57	47.00
EC-EARTH-RCA4	1.17	35.00	1.97	59.00
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	1.10	33.00	1.67	50.00
MPI-ESM-LR-RCA4	1.07	32.00	1.63	49.00
MPI-ESM-LR-REMO2009	0.63	19.00	1.40	42.00
IPSL-WRF331F	0.80	24.00	1.10	33.00
CNRM-CM5-RCA4	1.17	35.00	1.90	57.00
Średnia z wiązki	0.94	28.10	1.57	47.00
Wartość maksymalna z wiązki	1.43	43.00	1.97	59.00
Wartość minimalna z wiązki	0.43	13.00	1.10	33.00

Na podstawie wyznaczonych wartości indeksu dla trzech okresów 30 letnich obliczono zmiany wartości średniej z wielolecia. Wyniki obliczeń dla dziesięciu modeli klimatycznych oraz średnia, wartość minimalna i maksymalna z wiązki symulacji przedstawione są w Tabeli 33.

TABELA 33 ZMIANY ŚREDNIEJ LICZBY DNI Z OPADEM WYŻSZYM NIŻ 30MM/DOBĘ W CIĄGU ROKU KALENDARZOWEGO NA PODSTAWIE WYNIKÓW Z DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH. DANE OPISUJĄ ZMIANY ŚREDNIE DLA ROKU KALENDARZOWEGO. W CELU WYZNACZENIE ILOŚCI PRZYPADKÓW W CIĄGU 30-LECIA WYNIKI NALEŻY POMNOŻYĆ PRZEZ 30.

	Dane surowe				Dane skorygowane			
	clim1-ref		clim2-ref		clim1-ref		clim2-ref	
	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	0.03	0.20	0.30	0.87	-0.33	0.23	0.90	0.27
EC-EARTH-CCLM4-8-17	-0.13	0.03	0.20	0.17	-0.43	0.07	0.27	0.03
EC-EARTH-HIRHAM5	0.23	0.13	0.50	0.87	0.47	0.50	0.83	0.53
EC-EARTH-RACMO22E	0.10	0.17	0.17	0.70	0.37	0.40	0.57	0.37
EC-EARTH-RCA4	0.53	0.03	-0.10	0.53	0.47	-0.10	-0.23	-0.07
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	0.07	0.10	0.27	0.43	0.53	0.40	0.43	0.40
MPI-ESM-LR-RCA4	0.37	0.60	0.77	0.87	0.43	0.73	1.17	0.73
MPI-ESM-LR-REMO2009	0.17	0.23	0.50	0.43	0.37	0.23	0.47	0.23

IPSL-WRF331F	0.87	0.97	1.17	2.60	1.13	1.30	1.27	1.27
CNRM-CM5-RCA4	0.00	0.43	0.43	0.57	-0.13	0.63	0.30	0.63
Średnia z wiązki	0.22	0.29	0.42	0.80	0.29	0.44	0.60	0.44
Wartość minimalna z wiązki	-0.13	0.03	-0.10	0.17	-0.43	-0.10	-0.23	-0.07
Wartość maksymalna z wiązki	0.87	0.97	1.17	2.60	1.13	1.30	1.27	1.27

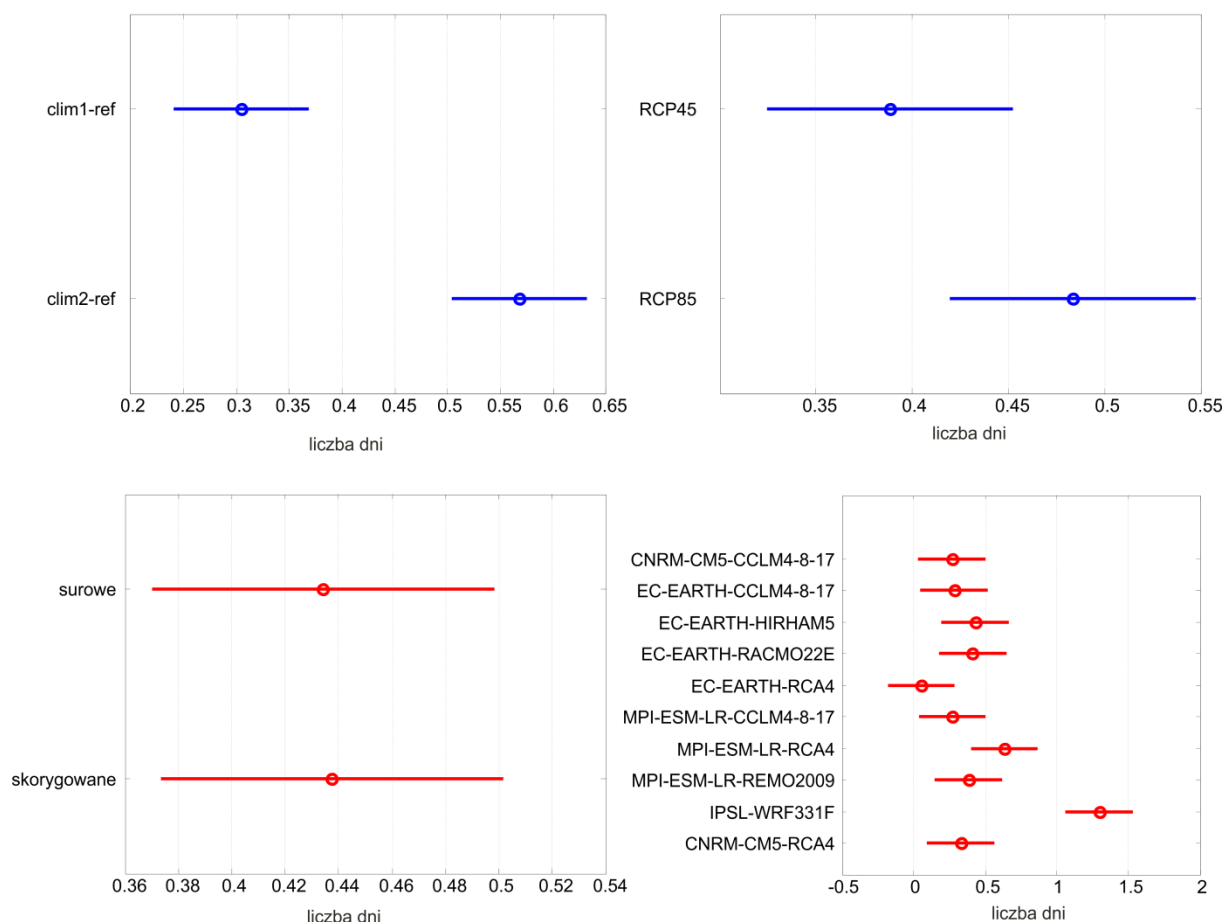
W kolejnym kroku dokonano oszacowania rozrzutu w otrzymanych wynikach ze względu na różnice pomiędzy analizowanymi okresami czasu (clim1 2021-2050 i clim2 2071-2100), scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5, korekcją błędów systematycznych oraz modelami klimatycznymi. Wyniki opracowania są przedstawione na Rysunku 39.

Na wykresie w górnym rzędzie po lewej stronie przedstawiono oszacowania zmian dla dwóch przyszłych okresów clim1 (2021-2050) i clim2 (2071-2100) w stosunku do okresu referencyjnego (1971-2000). Otrzymane wyniki wskazują na wzrost liczby dni z opadem wyższym niż 30 mm/dobę o 0.3 i 0.6 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100. Różnice w wynikach pomiędzy okresami są istotne statystycznie.

Porównanie zmian liczby dni z opadem wyższym niż 30mm/dobę pomiędzy scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5 (wykres w górnym rzędzie po prawej stronie) wskazuje, że większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP8.5 (liczba dni większa o 0.5 dnia) niż dla RCP4.5. Różnice w estymowanych zmianach nie są statystycznie istotne.

Na wykresie w dolnym rzędzie po lewej stronie przedstawione jest porównanie otrzymanych wyników dla danych surowych oraz skorygowanych. Otrzymano zbliżone wyniki dla danych surowych jak i skorygowanych. Różnice te nie są istotne statystycznie.

Porównanie szacowanych zmian w liczbie dni z opadem większym niż 30mm/dobę pomiędzy dziesięcioma modelami klimatycznymi pokazane jest na wykresie w dolnym rzędzie po prawej stronie. Oszacowanie te we wszystkich przypadkach wskazują na wzrost liczby dni z opadem wyższym niż 30mm/dobę. Największe zmiany są wynikiem modelu IPSL-WRF331F (średnia zmiana o 1.3 dnia).



RYSUNEK 39 ANOVA ZMIANA ŚREDNIEJ LICZBY DNI Z OPADEM POWYŻEJ 30MM/DOBĘ W CIĄGU ROKU KALENDARZOWEGO. ANALIZA ROZRZUTU OTRZYMANYCH WYNIKÓW W ZALEŻNOŚCI OD ANALIZOWANEGO OKRESU, SCENARIUSZA EMISJI, KOREKCJI DANYCH ORAZ MODELU KLIMATYCZNEGO.

PODSUMOWANIE

Oszacowania wyników dziesięciu modeli klimatycznych odnośnie zmian liczby dni z dobową sumą opadu wyższą niż 30mm wskazują na wzrost liczby dni o 0.3 i 0.6 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100.

Porównanie zmian liczby dni z opadem wyższym niż 30mm/dobę pomiędzy scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5 wskazuje, że większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP8.5 niż dla RCP4.5.

Porównanie otrzymanych wyników dla danych surowych oraz skorygowanych wskazuje na zbliżone wyniki dla danych surowych jak i skorygowanych.

Porównanie szacowanych zmian w liczbie dni z opadem większym niż 30mm/dobę pomiędzy dziesięcioma modelami klimatycznymi we wszystkich przypadkach wskazują na wzrost liczby dni z opadem wyższym niż 30mm/dobę. Największe zmiany są wynikiem modelu IPSL-WRF331F (średnia zmiana o 1.3 dnia).

Liczba dni w roku z opadem większym lub równym 50mm/dobę

(opad klasyfikowany jako groźny powodziowo) wskaźnik zaproponowany przez Gorgoń i inni (2014),

W oszacowaniach wykorzystano wyniki symulacji dziesięciu modeli klimatycznych dla dwóch scenariuszy emisji RCP45 i RCP85. Opracowanie wykonano dla danych nieskorygowanych (surowych) oraz dla danych skorygowanych. Wartości tego indeksu zostały wyznaczone dla trzech okresów: 1971-2000, 2021-2050 i 2071-2100. Na podstawie wyznaczonych wartości indeksu dla trzech okresów 30 letnich obliczono zmiany średniej liczby dni z trzydziestolecia. Wyniki obliczeń dla dziesięciu modeli klimatycznych oraz średnia, wartość minimalna i maksymalna z wiązki symulacji przedstawione są w Tabeli 35. Oszacowania na podstawie danych nieskorygowanych wskazują na wzrost liczby dni z opadem większym niż 50mm/dobę w okresie 2021-2050 dla obu scenariuszy emisji oraz dalszej przyszłości 2071-2100 dla scenariusza emisji RCP4.5. Zmiany wyznaczone na podstawie danych skorygowanych wskazują na wzrost liczby dni z opadem wyższym niż 50 mm/dobę dla obu analizowanych przyszłych okresów oraz scenariuszy emisji.

TABELA 34 OSZACOWANIA LICZBY DNI Z OPADEM WIĘKSZYM NIŻ 50MM/DOBĘ W CIĄGU ROKU KALENDARZOWEGO. WARTOŚCI ŚREDNIE DLA 30-LECIA 1971-2000 NA PODSTAWIE WIĄZKI SUROWYCH ORAZ SKORYGOWANYCH SYMULACJI DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

Dane surowe		Dane skorygowane		
		Średnio w roku	Liczba przypadków w trzydziestoleciu	Liczba przypadków w trzydziestoleciu
CNRM-CCLM4-8-17	CM5-	0.07	2.00	0.23
EC-EARTH-CCLM4-8-17		0.10	3.00	0.23
EC-EARTH-HIRHAM5		0.40	12.00	0.60
EC-EARTH-RACMO22E		0.00	0.00	0.47
EC-EARTH-RCA4		0.10	3.00	0.40
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17		0.17	5.00	0.50
MPI-ESM-LR-RCA4		0.20	6.00	0.43
MPI-ESM-LR-REMO2009		0.13	4.00	0.43
IPSL-WRF331F		0.03	1.00	0.17
CNRM-CM5-RCA4		0.03	1.00	0.23
Średnia z wiązki		0.12	3.70	0.37
Wartość maksymalna z wiązki		0.40	12.00	0.60
Wartość minimalna z wiązki		0.00	0.00	0.17

TABELA 35 ZMIANY LICZBY DNI Z OPADEM WYŻSZYM NIŻ 30MM/DOBĘ W CIĄGU ROKU KALENDARZOWEGO NA PODSTAWIE WYNIKÓW Z DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

	Dane surowe				Dane skorygowane			
	clim1-ref		clim2-ref		clim1-ref		clim2-ref	
	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	0.03	0.07	0.10	0.23	0.10	0.23	0.10	0.23
EC-EARTH-CCLM4-8-17	0.10	0.17	0.10	0.07	0.10	0.10	0.30	0.10
EC-EARTH-HIRHAM5	0.00	-0.13	-0.07	0.33	-0.03	-0.13	0.20	-0.17
EC-EARTH-RACMO22E	0.10	0.10	0.17	0.43	0.10	0.03	0.10	0.03
EC-EARTH-RCA4	0.13	0.03	0.10	0.33	0.37	0.03	0.00	0.03
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	0.07	0.00	0.13	-0.07	0.03	0.00	0.20	0.00
MPI-ESM-LR-RCA4	-0.03	0.07	0.13	0.00	0.23	0.37	0.63	0.37
MPI-ESM-LR-REMO2009	0.00	0.20	0.13	0.07	0.00	0.10	0.30	0.10
IPSL-WRF331F	0.17	0.13	0.30	0.43	0.30	0.23	0.43	0.23
CNRM-CM5-RCA4	0.13	0.30	0.20	0.27	0.13	0.43	0.47	0.43
Średnia z wiązki	0.07	0.09	0.13	0.21	0.13	0.14	0.27	0.14
Wartość minimalna z wiązki	-0.03	-0.13	-0.07	-0.07	-0.03	-0.13	0.00	-0.17
Wartość maksymalna z wiązki	0.17	0.30	0.30	0.43	0.37	0.43	0.63	0.43

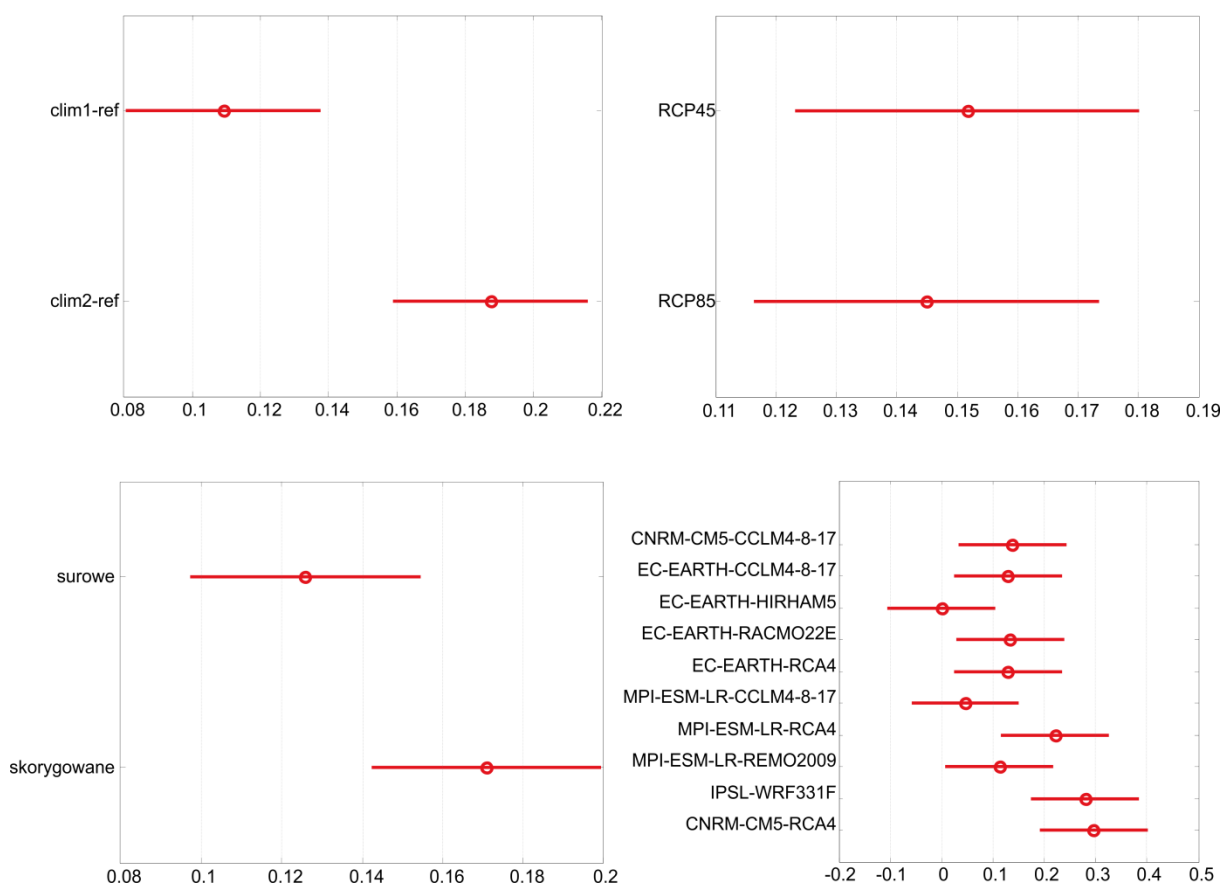
W kolejnym kroku dokonano oszacowania rozrzutu w otrzymanych wynikach ze względu na różnice pomiędzy analizowanymi okresami czasu (clim1 2021-2050 i clim2 2071-2100), scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5, korekcją błędów systematycznych oraz modelami klimatycznymi. Wyniki opracowania są przedstawione na Rysunku 40.

Na wykresie w górnym rzędzie po lewej stronie przedstawiono oszacowania zmian dla dwóch przyszłych okresów clim1 (2021-2050) i clim2 (2071-2100) w stosunku do okresu referencyjnego (1971-2000). Otrzymane wyniki wskazują na wzrost liczby dni z opadem wyższym niż 50 mm/dobę o 0.11 i 0.19 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100. Różnice w wynikach pomiędzy okresami są istotne statystycznie.

Porównanie zmian liczby dni z opadem wyższym niż 30mm/dobę pomiędzy scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5 (wykres w górnym rzędzie po prawej stronie) wskazuje, że zbliżone wyniki uzyskano dla obu scenariuszy. Różnice w estymowanych zmianach nie są statystycznie istotne.

Na wykresie w dolnym rzędzie po lewej stronie przedstawione jest porównanie otrzymanych wyników dla danych surowych oraz skorygowanych. Otrzymano wyniki wskazują na wyższy wzrost liczby dni z opadem większym niż 50mm dla danych skorygowanych (0.17 dnia) niż z dla surowych (0.12 dnia). Różnice te nie są istotne statystycznie.

Porównanie szacowanych zmian w liczbie dni z opadem większym niż 50mm/dobę pomiędzy dziesięcioma modelami klimatycznymi pokazane jest na wykresie w dolnym rzędzie po prawej stronie. Oszacowanie te we wszystkich przypadkach wskazują na wzrost liczby dni z opadem wyższym niż 50mm/dobę. Największe zmiany są wynikiem modelu CNRM-CM5-RCA4 (średnia zmiana o 0.3 dnia).



RYSUNEK 40 ANOVA ZMIANA ŚREDNIEJ LICZBY DNI Z OPADEM POWYŻEJ 50MM/DOBĘ W CIĄGU ANALIZOWANYCH TRZYDZIESTOLECI. ANALIZA ROZRZUTU OTRZYMANYCH WYNIKÓW W ZALEŻNOŚCI OD ANALIZOWANEGO OKRESU, SCENARIUSZA EMISJI, KOREKCJI DANYCH ORAZ MODELU KLIMATYCZNEGO.

PODSUMOWANIE

Oszacowania wyników dziesięciu modeli klimatycznych wskazują na wzrost liczby dni z opadem w ciągu roku kalendarzowego wyższym niż 50mm. Otrzymane wyniki wskazują na wzrost liczby dni z opadem wyższym niż 50 mm/dobę o 0.11 i 0.19 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100.

Porównanie zmian pomiędzy scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5 wskazuje, że zbliżone wyniki uzyskano dla obu scenariuszy.

Porównanie otrzymanych wyników dla danych surowych oraz skorygowanych wskazuje na wyższy wzrost liczby dni z opadem większym niż 50mm dla danych skorygowanych (0.17 dnia) niż z dla surowych (0.12 dnia).

Porównanie wyników pomiędzy dziesięcioma modelami we wszystkich przypadkach wskazuje na wzrost liczby dni z opadem wyższym niż 50mm/dobę. Największe zmiany są wynikiem modelu CNRM-CM5-RCA4 (średnia zmiana o 0.3 dnia).

Liczba dni w roku z opadem większym lub równym 70mm/dobę

(klasyfikowany jako opad powodziowy) wskaźnik zaproponowany przez Gorgoń i inni (2014),

W oszacowaniach wykorzystano wyniki symulacji dziesięciu modeli klimatycznych dla dwóch scenariuszy emisji RCP45 i RCP85. Opracowanie wykonano dla danych nieskorygowanych (surowych) oraz dla danych skorygowanych. Wartości tego indeksu zostały wyznaczone dla trzech okresów: 1971-2000, 2021-2050 i 2071-2100. Na podstawie wyznaczonych wartości indeksu dla trzech okresów 30 letnich obliczono zmiany średniej liczby dni z trzydziestolecia. Wyniki obliczeń dla dziesięciu modeli klimatycznych oraz średnia, wartość minimalna i maksymalna z wiązki symulacji przedstawione są w Tabeli 37. Oszacowania na podstawie danych nieskorygowanych wskazują na wzrost liczby dni z opadem większym niż 70mm/dobę w okresie 2071-2100 dla scenariusza emisji RCP4.5. Z kolei dla wyniki dla okresu 2021-2050 scenariusza RCP4.5 oraz okresu 2071-2100 scenariusza RCP8.5 wskazują na spadek liczby dni opadem wyższym niż 70mm/dobę. Zmiany wyznaczone na podstawie danych skorygowanych wskazują na wzrost liczby dni z opadem wyższym niż 70 mm/dobę dla obu analizowanych przyszłych okresów oraz scenariuszy emisji.

TABELA 36 OSZACOWANIA LICZBY DNI Z OPADEM WIĘKSZYM NIŻ 70MM/DOBĘ. WARTOŚCI ŚREDNIE DLA 30-LECIA 1971-2000 NA PODSTAWIE WIĄZKI SUROWYCH ORAZ SKORYGOWANYCH SYMULACJI DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

	Dane surowe		Dane skorygowane	
	Średnio w roku kalendarzowym	Liczba przypadków w trzydziestoleciu	Średnio w roku kalendarzowym	Liczba przypadków w trzydziestoleciu
CNRM-CM5-CCLM4-8-17	0.03	1.00	0.07	2.00
EC-EARTH-CCLM4-8-17	0.07	2.00	0.10	3.00
EC-EARTH-HIRHAM5	0.20	6.00	0.27	8.00
EC-EARTH-RACMO22E	0.00	0.00	0.03	1.00
EC-EARTH-RCA4	0.00	0.00	0.10	3.00
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	0.03	1.00	0.07	2.00
MPI-ESM-LR-RCA4	0.10	3.00	0.20	6.00
MPI-ESM-LR-REMO2009	0.03	1.00	0.17	5.00
IPSL-WRF331F	0.00	0.00	0.03	1.00
CNRM-CM5-RCA4	0.00	0.00	0.00	0.00
Średnia z wiązki	0.05	1.40	0.10	3.10

Wartość maksymalna z wiązki	0.20	6.00	0.27	8.00
Wartość minimalna z wiązki	0.00	0.00	0.00	0.00

TABELA 37 ZMIANY LICZBY DNI Z OPADEM WYŻSZYM NIŻ 70MM/DOBĘ W CIĄGU ROKU KALENDARZOWEGO NA PODSTAWIE WYNIKÓW Z DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

	Dane surowe				Dane skorygowane			
	clim1-ref		clim2-ref		clim1-ref		clim2-ref	
	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	-0.03	-0.03	0.00	0.03	0.03	-0.07	0.10	-0.07
EC-EARTH-CCLM4-8-17	0.03	-0.03	0.03	-0.03	0.07	0.00	0.03	0.00
EC-EARTH-HIRHAM5	-0.13	-0.13	0.00	0.20	-0.03	-0.10	-0.03	-0.03
EC-EARTH-RACMO22E	0.00	0.03	0.00	0.03	0.17	0.17	0.23	0.17
EC-EARTH-RCA4	0.00	0.07	0.10	0.10	0.00	0.07	0.07	0.07
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	-0.03	-0.03	0.07	0.03	0.17	0.03	0.20	0.03
MPI-ESM-LR-RCA4	-0.03	-0.03	-0.03	0.00	-0.07	0.13	0.13	0.13
MPI-ESM-LR-REMO2009	0.03	0.03	0.00	0.03	0.03	0.17	0.13	0.17
IPSL-WRF331F	0.03	0.00	0.03	0.07	0.10	0.00	0.27	0.00
CNRM-CM5-RCA4	0.00	0.13	0.03	0.07	0.07	0.30	0.30	0.30
Średnia z wiązki	-0.01	0.00	0.02	0.05	0.05	0.07	0.14	0.08
Wartość minimalna z wiązki	-0.13	-0.13	-0.03	-0.03	-0.07	-0.10	-0.03	-0.07
Wartość maksymalna z wiązki	0.03	0.13	0.10	0.20	0.17	0.30	0.30	0.30

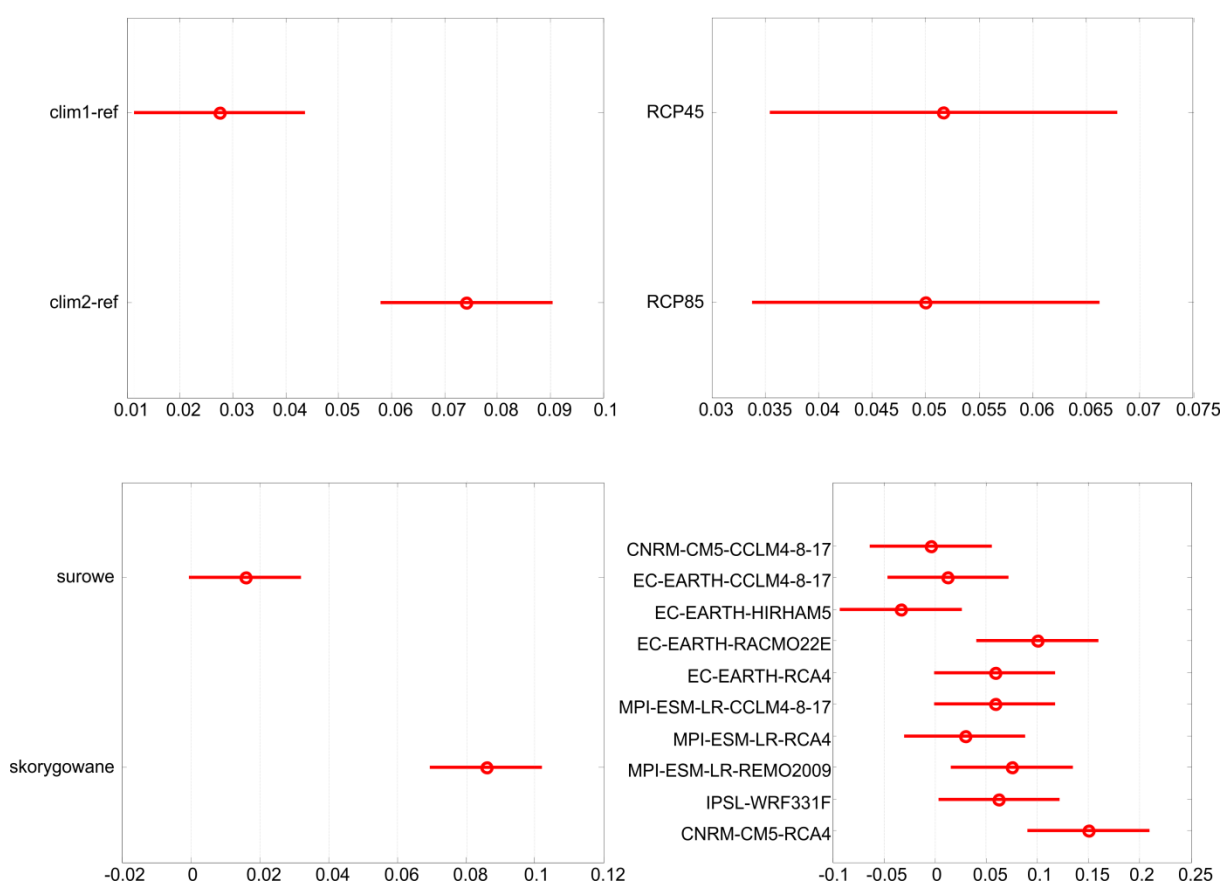
W kolejnym kroku dokonano oszacowania rozrzutu w otrzymanych wynikach ze względu na różnice pomiędzy analizowanymi okresami czasu (clim1 2021-2050 i clim2 2071-2100), scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5, korekcją błędów systematycznych oraz modelami klimatycznymi. Wyniki opracowania są przedstawione na Rysunku 41.

Na wykresie w górnym rzędzie po lewej stronie przedstawiono oszacowania zmian dla dwóch przyszłych okresów clim1 (2021-2050) i clim2 (2071-2100) w stosunku do okresu referencyjnego (1971-2000). Otrzymane wyniki wskazują na wzrost liczby dni z opadem wyższym niż 70 mm/dobę o 0.03 i 0.07 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100. Różnice w wynikach pomiędzy okresami są istotne statystycznie.

Porównanie zmian liczby dni z opadem wyższym niż 70mm/dobę pomiędzy scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5 (wykres w górnym rzędzie po prawej stronie) wskazuje, że zbliżone wyniki uzyskano dla obu scenariuszy. Różnice w estymowanych zmianach nie są statystycznie istotne.

Na wykresie w dolnym rzędzie po lewej stronie przedstawione jest porównanie otrzymanych wyników dla danych surowych oraz skorygowanych. Otrzymano wyniki wskazujące na wyższy wzrost liczby dni z opadem większym niż 70mm/dobę dla danych skorygowanych (0.08 dnia) niż z dla surowych (0.02 dnia). Różnice te są istotne statystycznie.

Porównanie szacowanych zmian w liczbie dni z opadem większym niż 70mm/dobę pomiędzy dziesięcioma modelami klimatycznymi pokazane jest na wykresie w dolnym rzędzie po prawej stronie. Oszacowanie te różnią się kierunkiem jak i intensywnością zmian.



RYСУNEK 41 ANOVA ZMIANA ŚREDNIEJ LICZBY DNI Z OPADEM POWYŻEJ 70MM/DOBĘ W CIĄGU ROKU KALENDARZOWEGO. ANALIZA ROZRZUTU OTRZYMANYCH WYNIKÓW W ZALEŻNOŚCI OD ANALIZOWANEGO OKRESU, SCENARIUSZA EMISJI, KOREKCJI DANYCH ORAZ MODELU KLIMATYCZNEGO.

PODSUMOWANIE

Oszacowania liczby dni z opadem większym lub równym 70mm/dzień na podstawie wyników dziesięciu modeli klimatycznych wskazują na wzrost liczby dni z opadem wyższym niż 70 mm/dobę o 0.03 i 0.07 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100.

Porównanie zmian liczby dni z opadem wyższym niż 70mm/dobę pomiędzy scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5 wskazuje, że zbliżone wyniki uzyskano dla obu scenariuszy.

Porównanie otrzymanych wyników dla danych surowych oraz skorygowanych wskazuje na wyższy wzrost liczby dni z opadem większym niż 70m dla danych skorygowanych(0.08 dnia) niż z dla surowych (0.02 dnia).

Porównanie szacowanych zmian pomiędzy dziesięcioma modelami klimatycznymi wskazuje na różnice w kierunku jak i intensywności zmian.

Liczba dni w roku z opadem większym lub równym 100mm/dobę

(klasyfikowany jako opad katastrofalny) wskaźnik zaproponowany przez Gorgoń i inni (2014).

W oszacowaniach wykorzystano wyniki symulacji dziesięciu modeli klimatycznych dla dwóch scenariuszy emisji RCP45 i RCP85. Opracowanie wykonano dla danych nieskorygowanych (surowych) oraz dla danych skorygowanych. Wartości tego indeksu zostały wyznaczone dla trzech okresów: 1971-2000, 2021-2050 i 2071-2100. Na podstawie wyznaczonych wartości indeksu dla trzech okresów 30 letnich obliczono zmiany sumy dni z trzydziestolecia. Wyniki obliczeń dla dziesięciu modeli klimatycznych oraz średnia, wartość minimalna i maksymalna z wiązki symulacji przedstawione są w Tabeli 39. Oszacowania na podstawie danych nieskorygowanych wskazują na spadek liczby dni z opadem większym niż 100mm/dobę. Zmiany wyznaczone na podstawie danych skorygowanych wskazują na wzrost liczby dni z opadem wyższym niż 100 mm/dobę dla obu analizowanych przyszłych okresów oraz scenariuszy emisji.

TABELA 38 OSZACOWANIA LICZBY DNI OPADEM WIĘKSZYM NIŻ 100MM/DOBĘ. WARTOŚCI ŚREDNIE DLA 30-LECIA 1971-2000 NA PODSTAWIE WIĄZKI SUROWYCH ORAZ SKORYGOWANYCH SYMULACJI DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

KLIMATYCZNYCH.

		Dane surowe		Dane skorygowane	
		Średnio w roku kalendarzowym	Liczba przypadków w trzydziestoleciu	Średnio w roku kalendarzowym	Liczba przypadków w trzydziestoleciu
CNRM-CCLM4-8-17	CM5-	0.00	0.00	0.00	0.00
EC-EARTH-CCLM4-8-17		0.03	1.00	0.03	1.00
EC-EARTH-HIRHAM5		0.07	2.00	0.10	3.00
EC-EARTH-RACMO22E		0.00	0.00	0.00	0.00
EC-EARTH-RCA4		0.00	0.00	0.00	0.00
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17		0.00	0.00	0.03	1.00
MPI-ESM-LR-RCA4		0.03	1.00	0.10	3.00
MPI-ESM-LR-REMO2009		0.00	0.00	0.10	3.00
IPSL-WRF331F		0.00	0.00	0.00	0.00
CNRM-CM5-RCA4		0.00	0.00	0.00	0.00
Średnia z wiązki		0.01	0.40	0.04	1.10
Wartość maksymalna z wiązki		0.07	2.00	0.10	3.00
Wartość minimalna z wiązki		0.00	0.00	0.00	0.00

TABELA 39 ZMIANY LICZBY DNI Z OPADEM WYŻSZYM NIŻ 100MM/DOBĘ W CIĄGU ROKU KALENDARZOWEGO NA PODSTAWIE WYNIKÓW Z DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

	Dane surowe				Dane skorygowane			
	clim1-ref		clim2-ref		clim1-ref		clim2-ref	
	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.10	0.00
EC-EARTH-CCLM4-8-17	0.00	-0.03	-0.03	-0.03	0.00	-0.03	0.00	-0.03
EC-EARTH-HIRHAM5	-0.07	-0.07	-0.03	0.10	-0.07	-0.10	0.03	-0.10
EC-EARTH-RACMO22E	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03	0.03	0.03
EC-EARTH-RCA4	0.00	0.03	0.00	0.00	0.03	0.10	0.03	0.10
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	0.00	0.00	0.03	0.03	-0.03	-0.03	0.07	-0.03
MPI-ESM-LR-RCA4	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	0.03	-0.03
MPI-ESM-LR-REMO2009	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.07
IPSL-WRF331F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00
CNRM-CM5-RCA4	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.10	0.10	0.10
Średnia z wiązki	-0.01	-0.01	-0.01	0.01	0.00	0.01	0.04	0.01
Wartość minimalna z wiązki	-0.07	-0.07	-0.03	-0.03	-0.07	-0.10	0.00	-0.10
Wartość maksymalna z wiązki	0.03	0.03	0.03	0.10	0.03	0.10	0.10	0.10

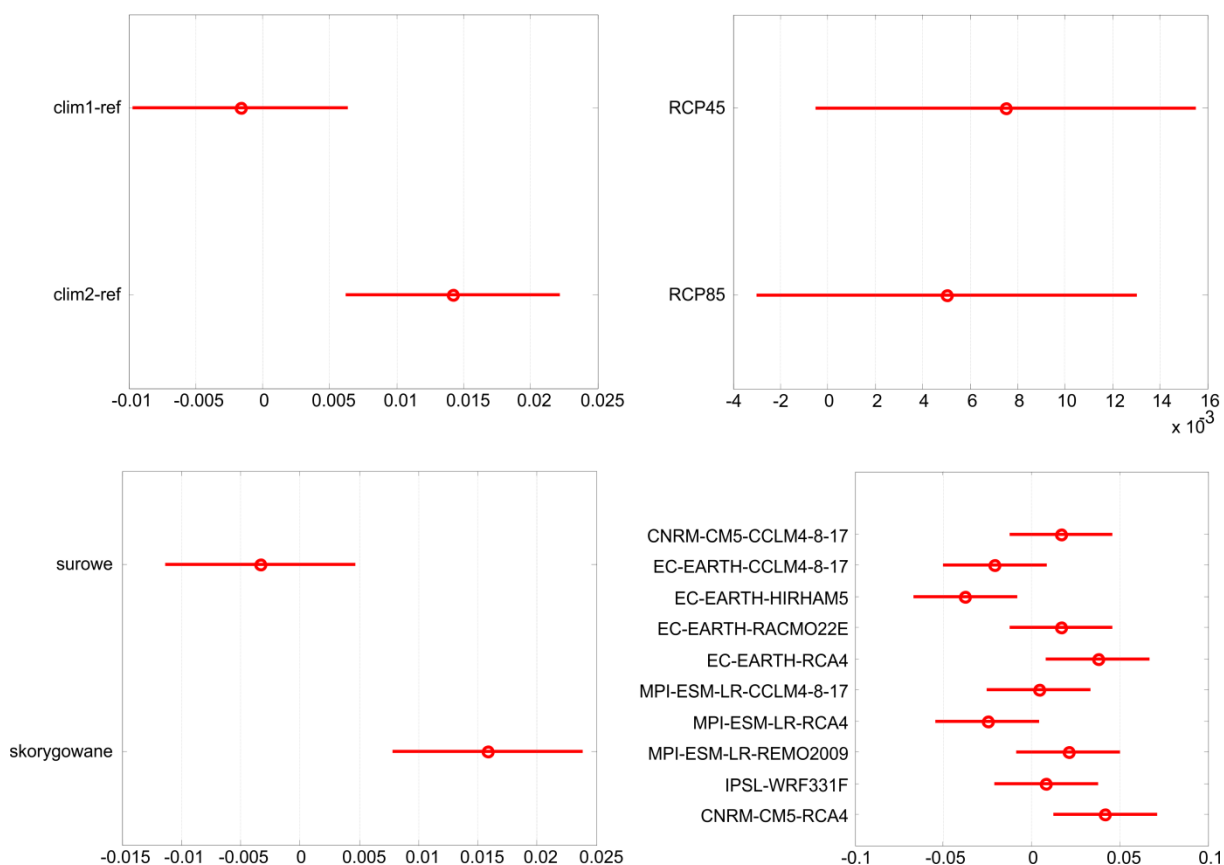
W kolejnym kroku dokonano oszacowania rozrzutu w otrzymanych wynikach ze względu na różnice pomiędzy analizowanymi okresami czasu (clim1 2021-2050 i clim2 2071-2100), scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5, korekcją błędów systematycznych oraz modelami klimatycznymi. Wyniki opracowania są przedstawione na Rysunku 42.

Na wykresie w górnym rzędzie po lewej stronie przedstawiono oszacowania zmian dla dwóch przyszłych okresów clim1 (2021-2050) i clim2 (2071-2100) w stosunku do okresu referencyjnego (1971-2000). Otrzymane wyniki wskazują na wzrost liczby dni z opadem wyższym niż 100 mm/dobę do okresu 2071-2100 oraz spadek w pierwszym okresie zmienionego klimatu. Różnice w wynikach pomiędzy okresami nie są istotne statystycznie.

Porównanie zmian liczby dni z opadem wyższym niż 100mm/dobę pomiędzy scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5 (wykres w górnym rzędzie po prawej stronie) wskazuje, że zbliżone wyniki uzyskano dla obu scenariuszy. Różnice w estymowanych zmianach nie są statystycznie istotne.

Na wykresie w dolnym rzędzie po lewej stronie przedstawione jest porównanie otrzymanych wyników dla danych surowych oraz skorygowanych. Otrzymano wyniki wskazujące na wzrost liczby dni z opadem większym niż 100mm dla danych skorygowanych natomiast spadek dla danych surowych. Różnice te są istotne statystycznie.

Porównanie szacowanych zmian w liczbie dni z opadem większym niż 100mm/dobę pomiędzy dziesięcioma modelami klimatycznymi pokazane jest na wykresie w dolnym rzędzie po prawej stronie. Oszacowanie te różnią się kierunkiem jak i intensywnością zmian.



RYSUNEK 42 ANOVA ZMIANA ŚREDNIEJ LICZBY DNI Z OPADEM POWYŻEJ 100MM/DOBĘ W CIĄGU ROKU KALENDARZOWEGO. ANALIZA ROZRZUTU OTRZYMANYCH WYNIKÓW W ZALEŻNOŚCI OD ANALIZOWANEGO OKRESU, SCENARIUSZA EMISJI, KOREKCJI DANYCH ORAZ MODELU KLIMATYCZNEGO.

PODSUMOWANIE

Oszacowania liczby dni z opadem większym lub równym 100mm/dzień na podstawie wyników dziesięciu modeli klimatycznych wskazują na spadek liczby dni z opadem wyższym niż 100 mm/dobę w okresie 2021-2050 i wzrost liczby dni z opadem w okresie 2071-2100 w porównaniu do okresu referencyjnego.

Porównanie zmian liczby dni z opadem wyższym niż 100mm/dobę pomiędzy scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5 wskazuje, że zbliżone wyniki uzyskano dla obu scenariuszy.

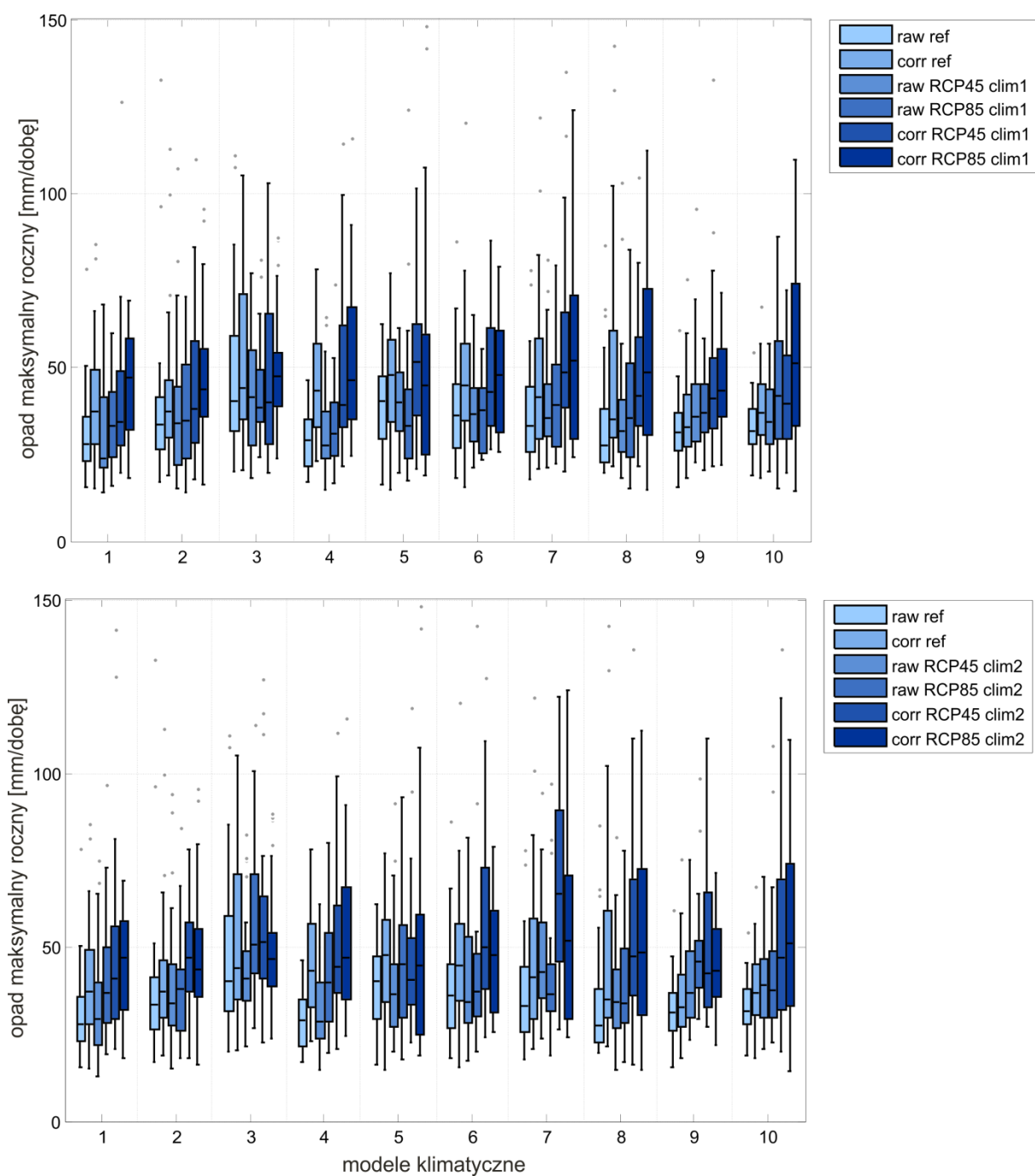
Porównanie otrzymanych wyników dla danych surowych oraz skorygowanych wskazuje na wyższy wzrost liczby dni z opadem większym niż 100m dla danych skorygowanych niż dla danych surowych.

Porównanie szacowanych zmian pomiędzy dziesięcioma modelami klimatycznymi wskazuje na różnice w kierunku jak i intensywności zmian.

Opad maksymalny

(wskaźnik stosowany w ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020),

Kolejnym indeksem jest opad maksymalny roczny. W oszacowaniach wykorzystano wyniki symulacji dziesięciu modeli klimatycznych dla dwóch scenariuszy emisji RCP45 i RCP85. Opracowanie wykonano dla danych nieskorygowanych (surowych) oraz dla danych skorygowanych. Wartości tego indeksu zostały wyznaczone dla trzech okresów: 1971-2000, 2021-2050 i 2071-2100. Na Rysunku 43 przedstawione jest porównanie wyznaczonych wartości tego indeksu dla danych surowych oraz skorygowanych oraz dla dwóch scenariuszy emisji RCP45 oraz RCP85. Na górnym wykresie pokazano wyniki dla okresu referencyjnego (1971-2000) oraz dla okresu clim1 (2021-2050). Wykres przedstawia medianę (środek pudełka), kwartyle (dolna i górna granica pudełka), obserwacje odstające (zaznaczane kropkami) oraz maksimum i minimum po usunięciu obserwacji odstających. Widoczne jest zróżnicowanie otrzymanych wyników w zależności od modelu klimatycznego, scenariusza emisji oraz zastosowania korekcji błędów systematycznych.



RYСУNEK 43 ZMIENNOŚĆ W WIELOLECIEU OPADU MAKSYMALNEGO ROCZNEGO. WYKRES PRZEDSTAWIA MEDIANĘ (ŚRODEK PUDEŁKA), KWARTYLE (DOLNA I GÓRNA GRANICA PUDEŁKA), OBSERWACJE ODSTAJĄCE (ZAZNACZANE KROPKAMI) ORAZ MAKSYMUM I MINIMUM PO USUNIĘCIU OBSERWACJI ODSTAJĄCYCH.

TABELA 40 OSZACOWANIA MAKSYMALNEGO DOBOWEGO OPADU W CIĄGU ROKU KALENDARZOWEGO. WARTOŚCI ŚREDNIE DLA 30-LECIA 1971-2000 NA PODSTAWIE WIĄZKI SUROWYCH ORAZ SKORYGOWANYCH SYMULACJI DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

	Dane surowe	Dane skorygowane
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	31.2	40.8
EC-EARTH-CCLM4-8-17	38.7	43.7

EC-EARTH-HIRHAM5	48.2	54.2
EC-EARTH-RACMO22E	29.3	45.6
EC-EARTH-RCA4	39.6	46.8
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	38.7	47.8
MPI-ESM-LR-RCA4	42.2	58.7
MPI-ESM-LR-REMO2009	34.6	49.1
IPSL-WRF331F	32.4	36.0
CNRM-CM5-RCA4	33.0	38.0
Średnia z wiązki	36.8	46.1
Wartość maksymalna z wiązki	48.2	58.7
Wartość minimalna z wiązki	29.3	36.0

Na podstawie wyznaczonych wartości indeksu dla trzech okresów 30 letnich obliczono zmiany wartości średniej z wielolecia. Wyniki obliczeń dla dziesięciu modeli klimatycznych oraz średnia, wartość minimalna i maksymalna z wiązki symulacji przedstawione są w Tabeli 41.

TABELA 41 ZMIANY WARTOŚCI MAKSYMALNEGO ROCZNEGO OPADU [MM/DOBE] NA PODSTAWIE WYNIKÓW Z DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

	Dane surowe				Dane skorygowane			
	clim1-ref		clim2-ref		clim1-ref		clim2-ref	
	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	-0.4	3.0	1.9	10.5	0.3	4.5	6.7	4.3
EC-EARTH-CCLM4-8-17	-1.3	-1.7	1.7	-0.8	0.6	3.2	7.9	3.2
EC-EARTH-HIRHAM5	-5.4	-4.7	3.7	22.2	-6.3	-4.5	12.0	-4.1
EC-EARTH-RACMO22E	2.2	4.1	3.1	12.8	4.2	6.3	5.1	6.3
EC-EARTH-RCA4	0.3	-1.5	-0.2	5.4	3.5	4.7	0.7	4.7
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	-1.3	-1.9	4.9	3.3	1.0	-0.2	20.4	-0.3
MPI-ESM-LR-RCA4	-2.9	-1.7	4.9	-0.4	-4.3	-3.0	11.0	-2.8
MPI-ESM-LR-REMO2009	1.9	4.2	3.4	3.6	4.8	8.4	7.2	8.4
IPSL-WRF331F	7.3	6.3	9.0	15.8	10.0	9.3	15.4	9.3
CNRM-CM5-RCA4	2.8	11.5	7.2	11.0	5.0	17.8	14.9	17.8
Średnia z wiązki	0.3	1.8	4.0	8.3	1.9	4.7	10.1	4.7

Wartość minimalna z wiązki	-5.4	-4.7	-0.2	-0.8	-6.3	-4.5	0.7	-4.1
Wartość maksymalna z wiązki	7.3	11.5	9.0	22.2	10.0	17.8	20.4	17.8

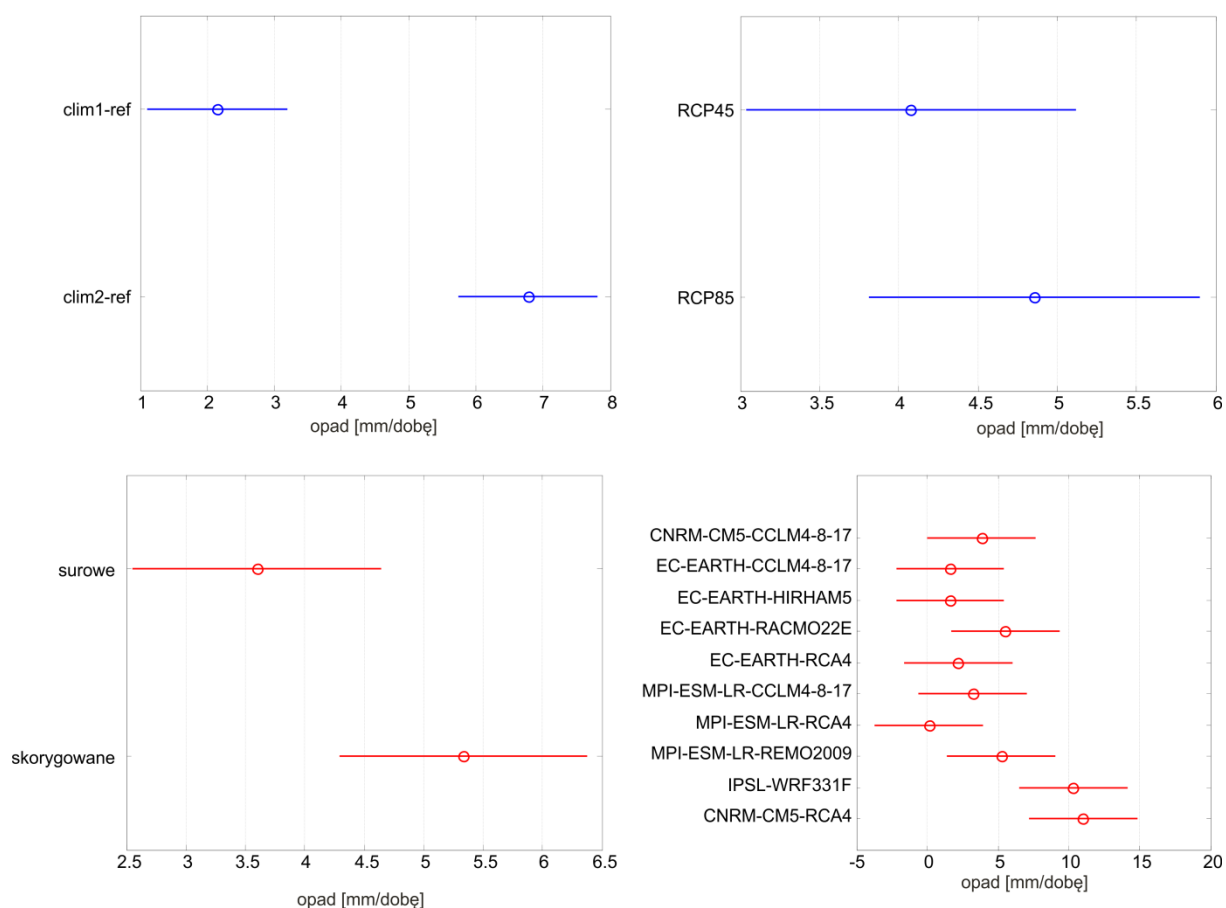
W kolejnym kroku dokonano oszacowania rozrzutu w otrzymanych wynikach ze względu na różnice pomiędzy analizowanymi okresami czasu (clim1 2021-2050 i clim2 2071-2100), scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5, korekcją błędów systematycznych oraz modelami klimatycznymi. Wyniki opracowania są przedstawione na Rysunku 44.

Na wykresie w górnym rzędzie po lewej stronie przedstawiono oszacowania zmian dla dwóch przyszłych okresów clim1 (2021-2050) i clim2 (2071-2100) w stosunku do okresu referencyjnego (1971-2000). Otrzymane wyniki wskazują na wzrost maksymalnych rocznych opadów o 2.2 i 6.8 mm/dobę odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100. Różnice pomiędzy okresami są istotne statystycznie.

Porównanie zmian maksymalnego rocznego opadu pomiędzy scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5 (wykres w górnym rzędzie po prawej stronie) wskazuje, że większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP8.5 (4.9 mm/dobę) niż dla RCP4.5 (4.1 mm/dobę). Różnice w estymowanych zmianach nie są statystycznie istotne.

Na wykresie w dolnym rzędzie po lewej stronie przedstawione jest porównanie otrzymanych wyników dla danych surowych oraz skorygowanych. Większe zmiany otrzymano dla danych skorygowanych (5.3 mm/dobę) niż dla danych surowych (3.6 mm/dobę). Różnice te są istotne statystycznie.

Porównanie szacowanych zmian w maksymalny rocznym opadzie pomiędzy dziesięcioma modelami klimatycznymi pokazane jest na wykresie w dolnym rzędzie po prawej stronie. Oszacowania te dla wszystkich modeli wskazują na wzrost wartości maksymalnego rocznego opadu, lecz w zależności od modelu różnią się intensywnością zmian. Najmniejsze zmiany otrzymano dla wyników modelu MPI-ESM-LR-RCA4 (zmiana o 0.1 mm/dobę) natomiast największe dla modelu CNRM-CM5-RCA4 (zmiana o 11.0 mm/dobę).



RYSunek 44 ANOVA ZMIANA MAKSYMALNEGO ROCZNEGO OPADU [mm/dobę]. ANALIZA ROZRZUTU OTRZYMANYCH WYNIKÓW W ZALEŻNOŚCI OD ANALIZOWANEGO OKRESU, SCENARIUSZA EMISJI, KOREKCJI DANYCH ORAZ MODELU KLIMATYCZNEGO.

PODSUMOWANIE

Oszacowania dziesięciu modeli klimatycznych odnośnie opadów maksymalnych wskazują na wzrost maksymalnych rocznych opadów o 2.2 i 6.8 mm/dobę odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100.

Porównanie zmian maksymalnego rocznego opadu pomiędzy scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5 wskazuje, że większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP8.5 (4.9 mm/dobę) niż dla RCP4.5 (4.1 mm/dobę).

Porównanie otrzymanych wyników dla danych surowych oraz skorygowanych wskazuje że większe zmiany otrzymano dla danych skorygowanych (5.3 mm/dobę) niż dla danych surowych (3.6 mm/dobę).

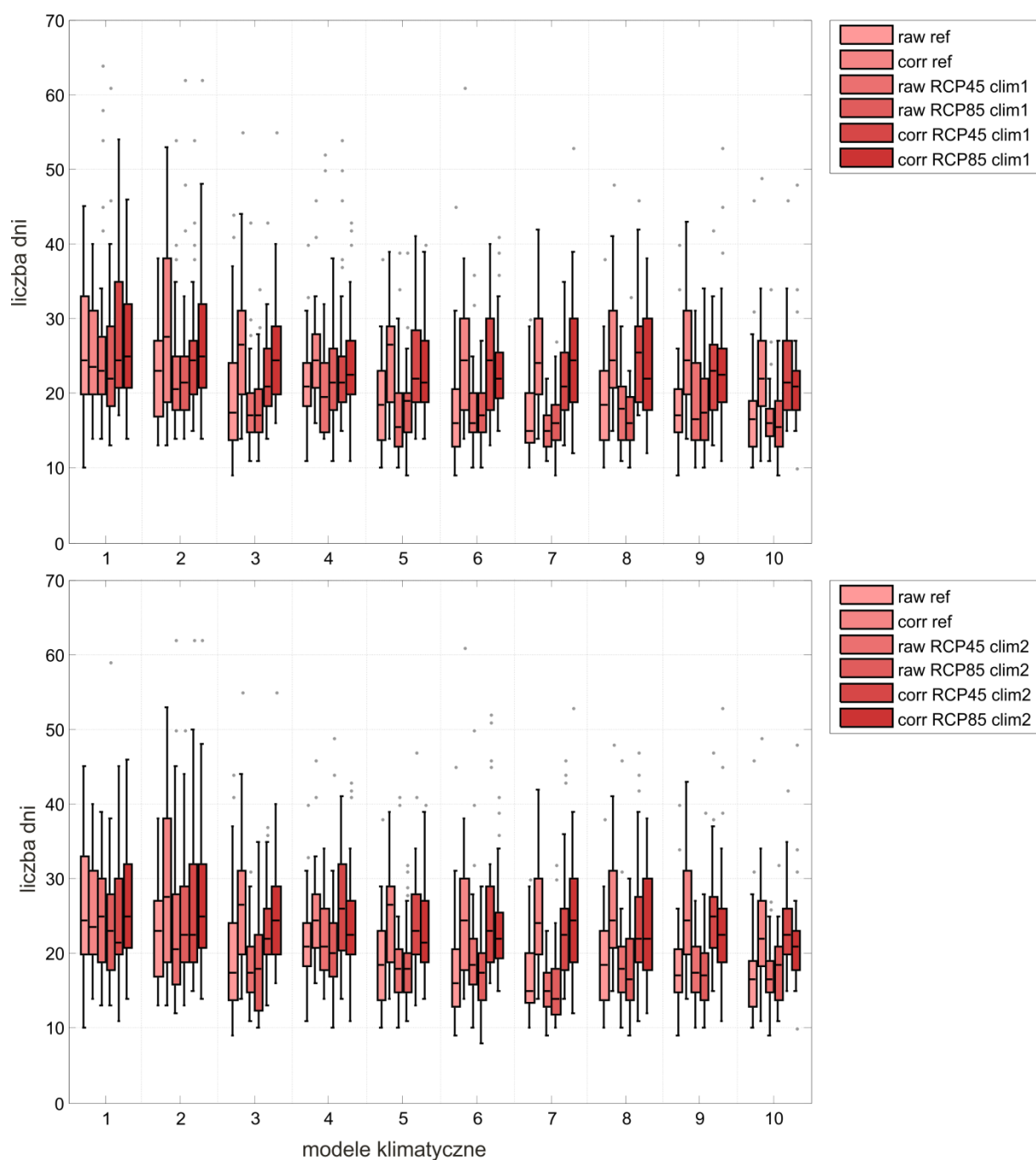
Porównanie wyników pomiędzy dziesięcioma modelami klimatycznymi wskazują na zgodność odnośnie kierunku zmian. Otrzymane wyniki dla wszystkich modeli wskazują na wzrost wartości maksymalnego rocznego opadu, lecz w zależności od modelu różnią się intensywnością zmian.

Najmniejsze zmiany otrzymano dla wyników modelu MPI-ESM-LR-RCA4 (zmiana o 0.1 mm/dobę) natomiast największe dla modelu CNRM-CM5-RCA4 (zmiana o 11.0 mm/dobę).

Najdłuższy okres bez opadu (wskaźnik stosowany w ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020),

Jednym ze wskaźników wyznaczanych na podstawie serii czasowych dobowych sum opadu jest liczba dni najdłuższego okresu w roku bez opadu. W tym opracowaniu przyjęto, że dzień bez opadu to dzień z opadem niższym niż 1 mm/dobę. Podobne założenie zostało przyjęte w ramach projektu KLIMADA i opracowaniach, które powstały na jego podstawie.

W oszacowaniach liczby dni bez opadu wykorzystano wyniki symulacji dziesięciu modeli klimatycznych dla dwóch scenariuszy emisji RCP45 i RCP85. Opracowanie wykonano dla danych nieskorygowanych (surowych) oraz dla danych skorygowanych. Wartości tego indeksu zostały wyznaczone dla trzech okresów: 1971-2000, 2021-2050 i 2071-2100. Na Rysunku 45 przedstawione jest porównanie wyznaczonych wartości tego indeksu dla danych surowych oraz skorygowanych oraz dla dwóch scenariuszy emisji RCP45 oraz RCP85. Na górnym wykresie pokazano wyniki dla okresu referencyjnego (1971-2000) oraz dla okresu clim1 (2021-2050). Wykres przedstawia medianę (środek pudełka), kwartyle (dolna i górna granica pudełka), obserwacje odstające (zaznaczane kropkami) oraz maksimum i minimum po usunięciu obserwacji odstających. Widoczne jest zróżnicowanie otrzymanych wyników w zależności od modelu klimatycznego, scenariusza emisji oraz zastosowania korekcji błędów systematycznych.



RYСУNEK 45 ZMIENNOŚĆ W WIELOLECIEU (TRZECZ ANALIZOWANYCH TRZYDZIESTOLECIACH) LICZBY DNI NAJDŁUŻSZEGO OKRESU BEZ OPADU. WYKRES PRZEDSTAWIA MEDIANĘ (ŚRODEK PUDEŁKA), KWARTYLE (DOLNA I GÓRNA GRANICA PUDEŁKA), OBSERWACJE ODSTAJĄCE (ZAZNACZANE KROPKAMI) ORAZ MAKSYMUM I MINIMUM PO USUNIĘCIU OBSERWACJI ODSTAJĄCYCH.

TABELA 42 OSZACOWANIA NAJDŁUŻSZEGO OKRESU BEZ OPADU W CIĄGU ROKU KALENDARZOWEGO. WARTOŚCI ŚREDNIE DLA 30-LECIA 1971-2000 NA PODSTAWIE SUROWYCH ORAZ SKORYGOWANYCH SYMULACJI DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

	Dane surowe	Dane skorygowane
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	25.3	25.6
EC-EARTH-CCLM4-8-17	22.9	29.3
EC-EARTH-HIRHAM5	20.2	26.8

EC-EARTH-RACMO22E	22.1	25.3
EC-EARTH-RCA4	19.4	25.2
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	18.4	25.1
MPI-ESM-LR-RCA4	17.0	25.6
MPI-ESM-LR-REMO2009	19.4	26.1
IPSL-WRF331F	18.4	25.4
CNRM-CM5-RCA4	18.1	23.4
Średnia z wiązki	20.1	25.8
Wartość maksymalna z wiązki	25.3	29.3
Wartość minimalna z wiązki	17.0	23.4

Na podstawie wyznaczonych wartości indeksu dla trzech okresów 30 letnich obliczono zmiany wartości średniej z wielolecia. Wyniki obliczeń dla dziesięciu modeli klimatycznych oraz średnia, wartość minimalna i maksymalna z wiązki symulacji przedstawione są w Tabeli 43.

TABELA 43 ZMIANY LICZBY DNI NAJDŁUŻSZEGO OKRESU BEZ OPADU W CIĄGU ROKU NA PODSTAWIE WYNIKÓW Z DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH. OSZACOWANIA NA PODSTAWIE ŚREDNIEJ Z WIELOLECIA.

	Dane surowe				Dane skorygowane			
	clim1-ref		clim2-ref		clim1-ref		clim2-ref	
	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	1.6	0.1	0.1	-0.9	2.5	0.8	-1.0	0.8
EC-EARTH-CCLM4-8-17	0.3	1.2	1.3	2.2	-3.7	-1.7	-2.6	-1.7
EC-EARTH-HIRHAM5	-2.0	-1.5	-1.6	-0.9	-3.8	-0.5	-3.5	-0.5
EC-EARTH-RACMO22E	-0.5	-0.2	0.4	0.0	-0.4	-1.1	0.8	-1.1
EC-EARTH-RCA4	-2.1	-0.4	-0.3	-0.5	-1.0	-1.1	-0.3	-1.2
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	-0.5	-1.0	2.3	-0.6	-0.7	-1.3	1.5	-1.2
MPI-ESM-LR-RCA4	-1.3	-0.6	-1.7	-1.1	-3.5	-0.2	-1.3	-0.1
MPI-ESM-LR-REMO2009	-1.0	-2.8	-0.2	-1.4	-0.5	-2.7	-1.8	-2.7
IPSL-WRF331F	0.2	-0.2	-0.4	-0.7	-2.3	-1.6	-0.3	-1.6
CNRM-CM5-RCA4	-0.3	-1.7	-0.5	0.0	0.6	-1.5	0.2	-1.5
Średnia z wiązki	-0.6	-0.7	-0.1	-0.4	-1.3	-1.1	-0.8	-1.1
Wartość minimalna z wiązki	-2.1	-2.8	-1.7	-1.4	-3.8	-2.7	-3.5	-2.7

Wartość maksymalna z wiązki	1.6	1.2	2.3	2.2	2.5	0.8	1.5	0.8
------------------------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

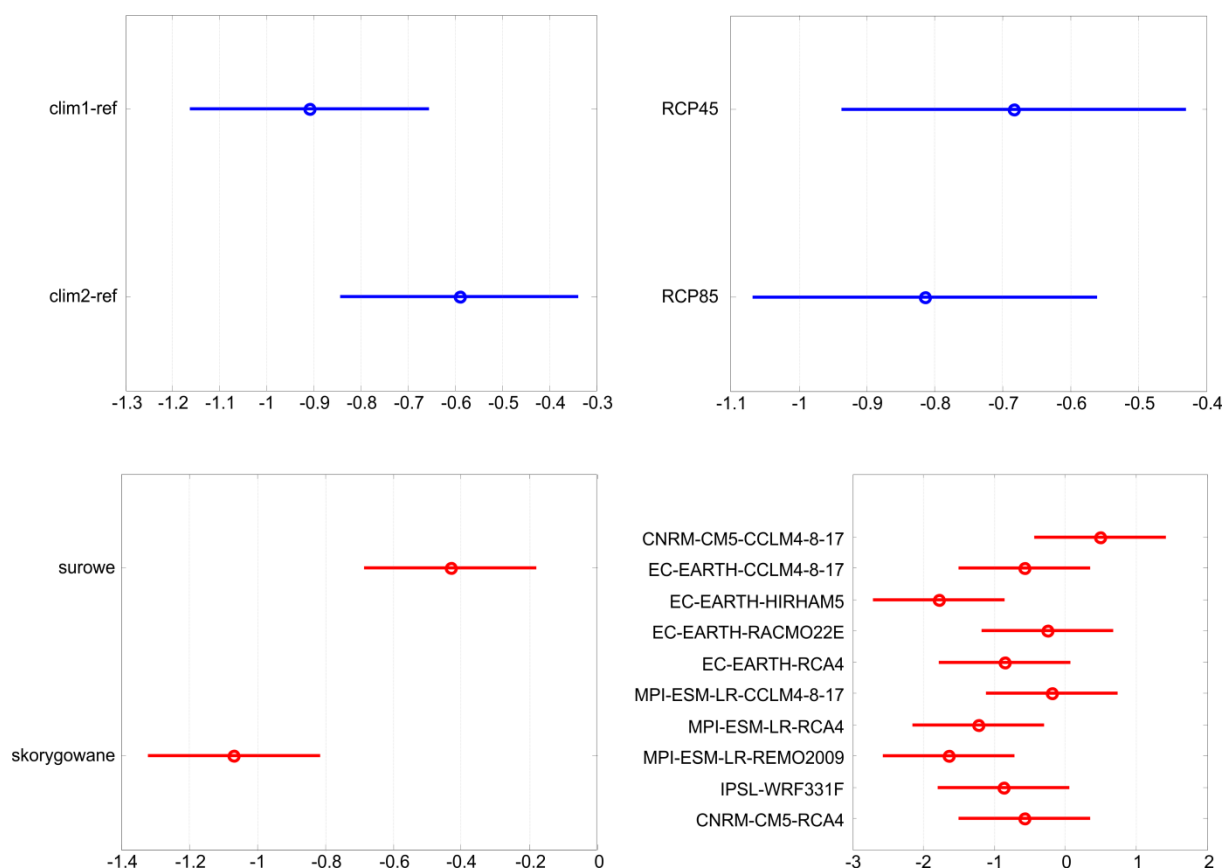
W kolejnym kroku dokonano oszacowania rozrzutu w otrzymanych wynikach ze względu na różnice pomiędzy analizowanymi okresami czasu (clim1 2021-2050 i clim2 2071-2100), scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5, korekcją błędów systematycznych oraz modelami klimatycznymi. Wyniki opracowania są przedstawione na Rysunku 46.

Na wykresie w górnym rzędzie po lewej stronie przedstawiono oszacowania zmian dla dwóch przyszłych okresów clim1 (2021-2050) i clim2 (2071-2100) w stosunku do okresu referencyjnego (1971-2000). Otrzymane wyniki wskazują na skrócenie czasu trwania najdłuższego okresu bez opadów o -0.9 i -0.6 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100. Różnice pomiędzy okresami są istotne statystycznie.

Porównanie zmian czasu trwania najdłuższego okresu bez opadu pomiędzy scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5 (wykres w górnym rzędzie po prawej stronie) wskazuje, że większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP8.5 (-0.8 dnia) niż dla RCP4.5 (-0.7 dnia). Różnice w estymowanych zmianach nie są statystycznie istotne.

Na wykresie w dolnym rzędzie po lewej stronie przedstawione jest porównanie otrzymanych wyników dla danych surowych oraz skorygowanych. Większe zmiany otrzymano dla danych skorygowanych (-1.1 dnia) niż dla danych surowych (-0.4 dnia). Różnice te są istotne statystycznie.

Porównanie szacowanych zmian czasu trwania najdłuższego okresu bez opadu pomiędzy dziesięcioma modelami klimatycznymi pokazane jest na wykresie w dolnym rzędzie po prawej stronie. Oszacowania te dla wszystkich modeli za wyjątkiem CNRM-CM5-CCLM4-8-17 wskazują na skrócenie czasu trwania najdłuższego okresu bez opadu, w zależności od modelu różnią się intensywnością zmian. Największe negatywne zmiany otrzymano dla wyników modelu EC-EARTH-HIRHAM5 (zmiana o -1.8 dnia).



RYSUNEK 46 ANOVA ZMIAN DŁUGOŚCI TRWANIA NAJDŁUŻSZEGO OKRESU W ROKU BEZ OPADU W CIĄGU ROKU KALENDARZOWEGO. ANALIZA ROZRZUTU OTRZYMANYCH WYNIKÓW W ZALEŻNOŚCI OD ANALIZOWANEGO OKRESU, SCENARIUSZA EMISJI, KOREKCJI DANYCH ORAZ MODELU KLIMATYCZNEGO.

PODSUMOWANIE

Oszacowania wyników dziesięciu modeli klimatycznych odnośnie długości najdłuższego okresu bez opadu w ciągu roku kalendarzowego wskazują na skrócenie czasu trwania najdłuższego okresu bez opadów o -0.9 i -0.6 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100.

Porównanie zmian czasu trwania najdłuższego okresu bez opadu pomiędzy scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5 wskazuje, że większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP8.5 (-0.8 dnia) niż dla RCP4.5 (-0.7 dnia).

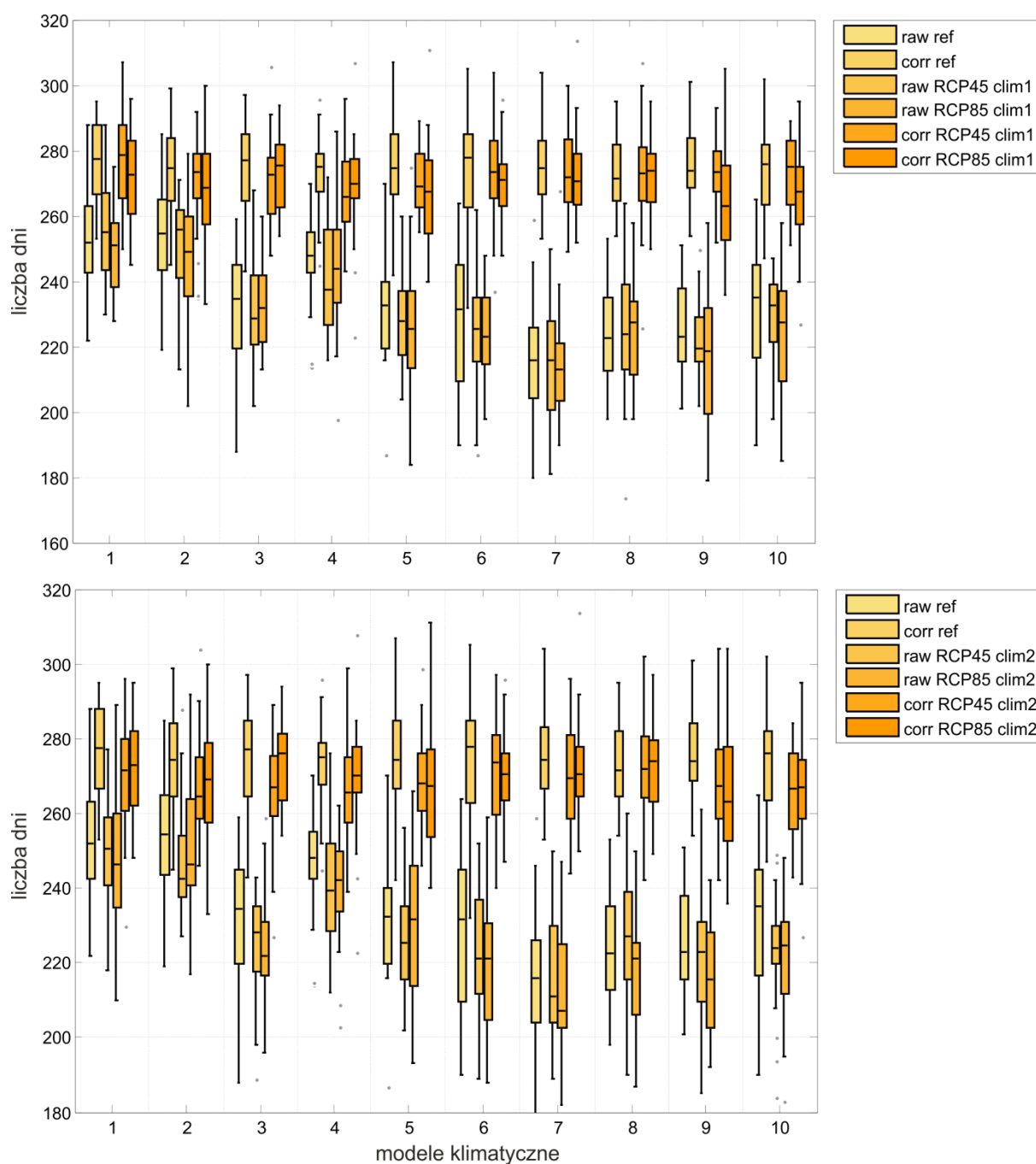
Porównanie otrzymanych wyników dla danych surowych oraz skorygowanych wskazuje na większe zmiany otrzymano dla danych skorygowanych (-1.1 dnia) niż dla danych surowych (-0.4 dnia).

Porównanie szacowanych zmian czasu trwania najdłuższego okresu bez opadu pomiędzy dziesięcioma modelami klimatycznymi dla wszystkich modeli za wyjątkiem CNRM-CM5-CCLM4-8-17 wskazują na skrócenie czasu trwania najdłuższego okresu bez opadu, w zależności od modelu różnią się intensywnością zmian. Największe negatywne zmiany otrzymano dla wyników modelu EC-EARTH-HIRHAM5 (zmiana o -1.8 dnia).

Liczba dni w roku bez opadu (wskaźnik stosowany w ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020),

Kolejnym wskaźnikiem wyznaczanym na podstawie serii czasowych dobowych sum opadu jest liczba dni w roku bez opadu. W tym opracowaniu przyjęto, że dzień bez opadu to dzień z opadem niższym niż 1mm/dobę. Podobne założenie zostało przyjęte w ramach projektu KLIMADA i opracowaniach, które powstały na jego podstawie.

W oszacowaniach liczby dni bez opadu wykorzystano wyniki symulacji dziesięciu modeli klimatycznych dla dwóch scenariuszy emisji RCP45 i RCP85. Opracowanie wykonano dla danych nieskorygowanych (surowych) oraz dla danych skorygowanych. Wartości tego indeksu zostały wyznaczone dla trzech okresów: 1971-2000, 2021-2050 i 2071-2100. Na Rysunku 47 przedstawione jest porównanie wyznaczonych wartości tego indeksu dla danych surowych oraz skorygowanych oraz dla dwóch scenariuszy emisji RCP45 oraz RCP85. Na górnym wykresie pokazano wyniki dla okresu referencyjnego (1971-2000) oraz dla okresu clim1 (2021-2050). Wykres przedstawia medianę (środek pudełka), kwartyle (dolna i górna granica pudełka), obserwacje odstające (zaznaczane kropkami) oraz maksimum i minimum po usunięciu obserwacji odstających. Widoczne jest zróżnicowanie otrzymanych wyników w zależności od modelu klimatycznego, scenariusza emisji oraz zastosowania korekcji błędów systematycznych.



RYSUNEK 47 ZMIENNOŚĆ W WIELOLECIU (TRZECZ ANALIZOWANYCH TRZYDZIESTOLECIACH) LICZBY DNI BEZ OPADU W CIĄGU ROKU KALENDARZOWEGO. WYKRES PRZEDSTAWIA MEDIANĘ (ŚRODEK PUDEŁKA), KWARTYLE (DOLNA I GÓRNA GRANICA PUDEŁKA), OBSERWACJE ODSTAJĄCE (ZAZNACZANE KROPKAMI) ORAZ MAKSYMUM I MINIMUM PO USUNIĘCIU OBSERWACJI ODSTAJĄCYCH.

TABELA 44 OSZACOWANIA LICZBY DNI BEZ OPADU W CIĄGU ROKU KALENDARZOWEGO. WARTOŚCI ŚREDNIE DLA 30-LECIA 1971-2000 NA PODSTAWIE WIĄZKI SUROWYCH ORAZ SKORYGOWANYCH SYMULACJI DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

	Dane surowe	Dane skorygowane
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	254.4	277.0
EC-EARTH-CCLM4-8-17	253.4	273.8

EC-EARTH-HIRHAM5	231.2	274.8
EC-EARTH-RACMO22E	246.6	274.3
EC-EARTH-RCA4	231.4	275.3
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	227.1	275.3
MPI-ESM-LR-RCA4	216.6	275.1
MPI-ESM-LR-REMO2009	224.3	274.0
IPSL-WRF331F	225.9	275.4
CNRM-CM5-RCA4	231.4	274.9
Średnia z wiązki	234.2	275.0
Wartość maksymalna z wiązki	254.4	277.0
Wartość minimalna z wiązki	216.6	273.8

Na podstawie wyznaczonych wartości indeksu dla trzech okresów 30 letnich obliczono zmiany wartości średniej z wielolecia. Wyniki obliczeń dla dziesięciu modeli klimatycznych oraz średnia, wartość minimalna i maksymalna z wiązki symulacji przedstawione są w Tabeli 45.

TABELA 45 ZMIANY LICZBY DNI BEZ OPADU W CIĄGU ROKU KALENDARZOWEGO NA PODSTAWIE WYNIKÓW Z DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

	Dane surowe				Dane skorygowane			
	clim1-ref		clim2-ref		clim1-ref		clim2-ref	
	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	1.7	-4.0	-5.6	-6.9	0.3	-4.4	-6.8	-4.3
EC-EARTH-CCLM4-8-17	-3.5	-6.0	-7.1	-2.3	-2.3	-6.1	-6.7	-6.1
EC-EARTH-HIRHAM5	-0.7	1.1	-6.7	-6.3	-2.7	-0.6	-8.9	-0.6
EC-EARTH-RACMO22E	-5.9	-2.7	-6.0	-5.9	-5.8	-4.4	-8.0	-4.4
EC-EARTH-RCA4	-2.7	-6.6	-5.6	-1.6	-5.3	-7.9	-6.0	-7.9
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	-2.1	-3.4	-3.1	-6.5	-3.2	-4.4	-3.7	-4.5
MPI-ESM-LR-RCA4	-0.4	-2.0	-0.2	-3.9	-1.9	-2.9	-4.7	-3.1
MPI-ESM-LR-REMO2009	2.2	0.7	2.1	-6.2	-0.1	-1.5	-1.6	-1.3
IPSL-WRF331F	-3.2	-8.0	-4.0	-10.8	-1.7	-9.6	-6.8	-9.7
CNRM-CM5-RCA4	-1.6	-7.5	-8.7	-8.8	-1.7	-8.0	-9.0	-8.1
Średnia z wiązki	-1.6	-3.8	-4.5	-5.9	-2.5	-5.0	-6.2	-5.0

Wartość minimalna z wiązki	-5.9	-8.0	-8.7	-10.8	-5.8	-9.6	-9.0	-9.7
Wartość maksymalna z wiązki	2.2	1.1	2.1	-1.6	0.3	-0.6	-1.6	-0.6

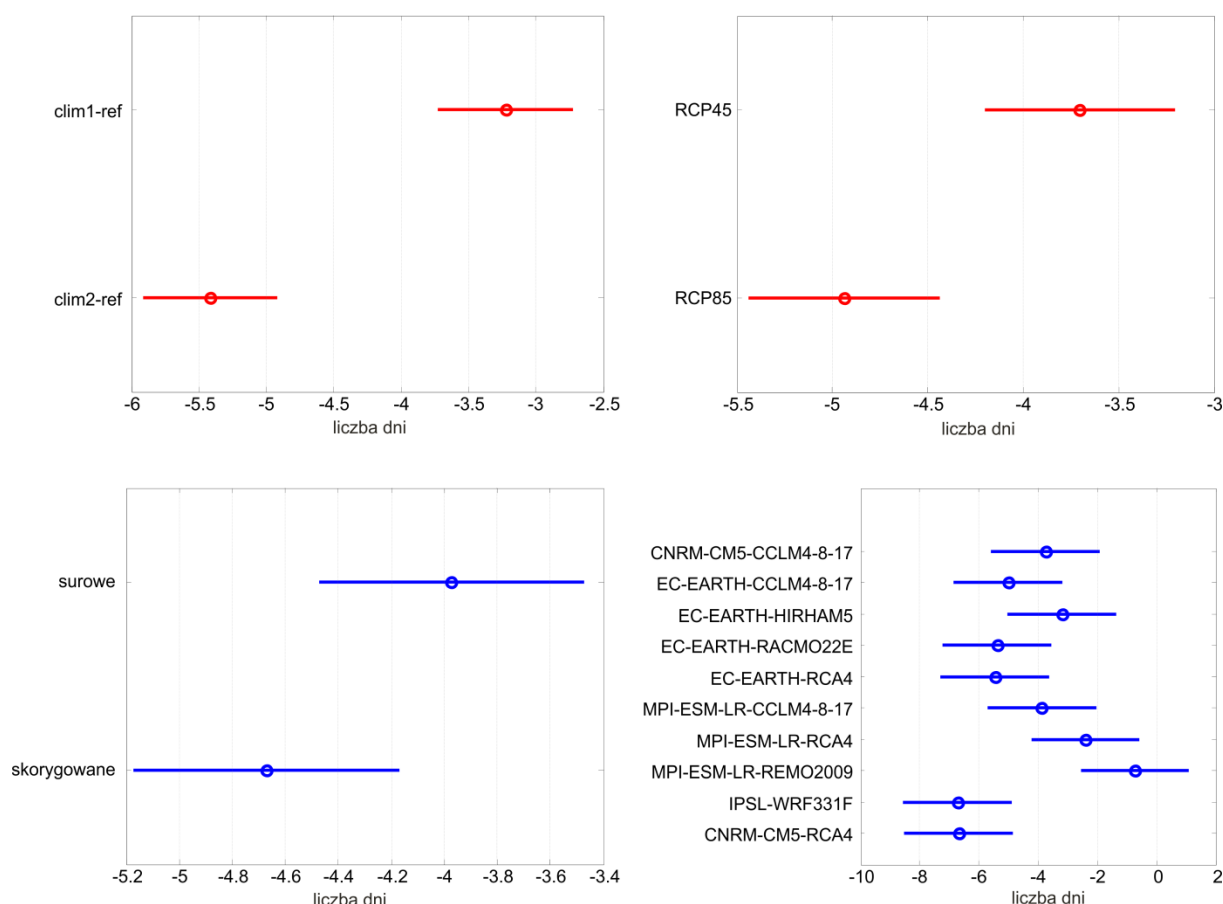
W kolejnym kroku dokonano oszacowania rozrzutu w otrzymanych wynikach ze względu na różnice pomiędzy analizowanymi okresami czasu (clim1 2021-2050 i clim2 2071-2100), scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5, korekcją błędów systematycznych oraz modelami klimatycznymi. Wyniki opracowania są przedstawione na Rysunku 48.

Na wykresie w górnym rzędzie po lewej stronie przedstawiono oszacowania zmian dla dwóch przyszłych okresów clim1 (2021-2050) i clim2 (2071-2100) w stosunku do okresu referencyjnego (1971-2000). Otrzymane wyniki wskazują na spadek liczby dni bez opadu w ciągu roku kalendarzowego o -3.2 i -5.4 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100. Różnice pomiędzy okresami są istotne statystycznie.

Porównanie zmian liczby dni bez opadu pomiędzy scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5 (wykres w górnym rzędzie po prawej stronie) wskazuje, że większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP8.5 (-4.9 mm/dobę) niż dla RCP4.5 (-3.7 dnia). Różnice w estymowanych zmianach są statystycznie istotne.

Na wykresie w dolnym rzędzie po lewej stronie przedstawione jest porównanie otrzymanych wyników dla danych surowych oraz skorygowanych. Większe zmiany otrzymano dla danych skorygowanych (-4.7 dnia) niż dla danych surowych (-4.0 dnia). Różnice te nie są istotne statystycznie.

Porównanie szacowanych zmian liczbie dni bez opadu pomiędzy dziesięcioma modelami klimatycznymi pokazane jest na wykresie w dolnym rzędzie po prawej stronie. Oszacowania te dla wszystkich modeli wskazują na wzrost wartości maksymalnego rocznego opadu, lecz w zależności od modelu różnią się intensywnością zmian. Najmniejsze zmiany otrzymano dla wyników modelu MPI-ESM-LR-REMO2009 (zmiana o -0.7 dni) natomiast największe dla modelu IPSL-WRF331F (zmiana o -6.7 dnia).



RYСУNEK 48 ANOVA ZMIANA LICZBY DNI W CIĄGU ROKU BEZ OPADU. ANALIZA ROZRZUTU OTRZYMANYCH WYNIKÓW W ZALEŻNOŚCI OD ANALIZOWANEGO OKRESU, SCENARIUSZA EMISJI, KOREKCJI DANYCH ORAZ MODELU KLIMATYCZNEGO.

PODSUMOWANIE

Oszacowania wyników dziesięciu modeli klimatycznych odnośnie liczby dni bez opadu w ciągu roku kalendarzowego wskazują na zmniejszenie ich liczby o -3.2 i -5.4 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100.

Porównanie zmian liczby dni bez opadu pomiędzy scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5 wskazuje, że większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP8.5 (-4.9 mm/dobę) niż dla RCP4.5 (-3.7 dnia).

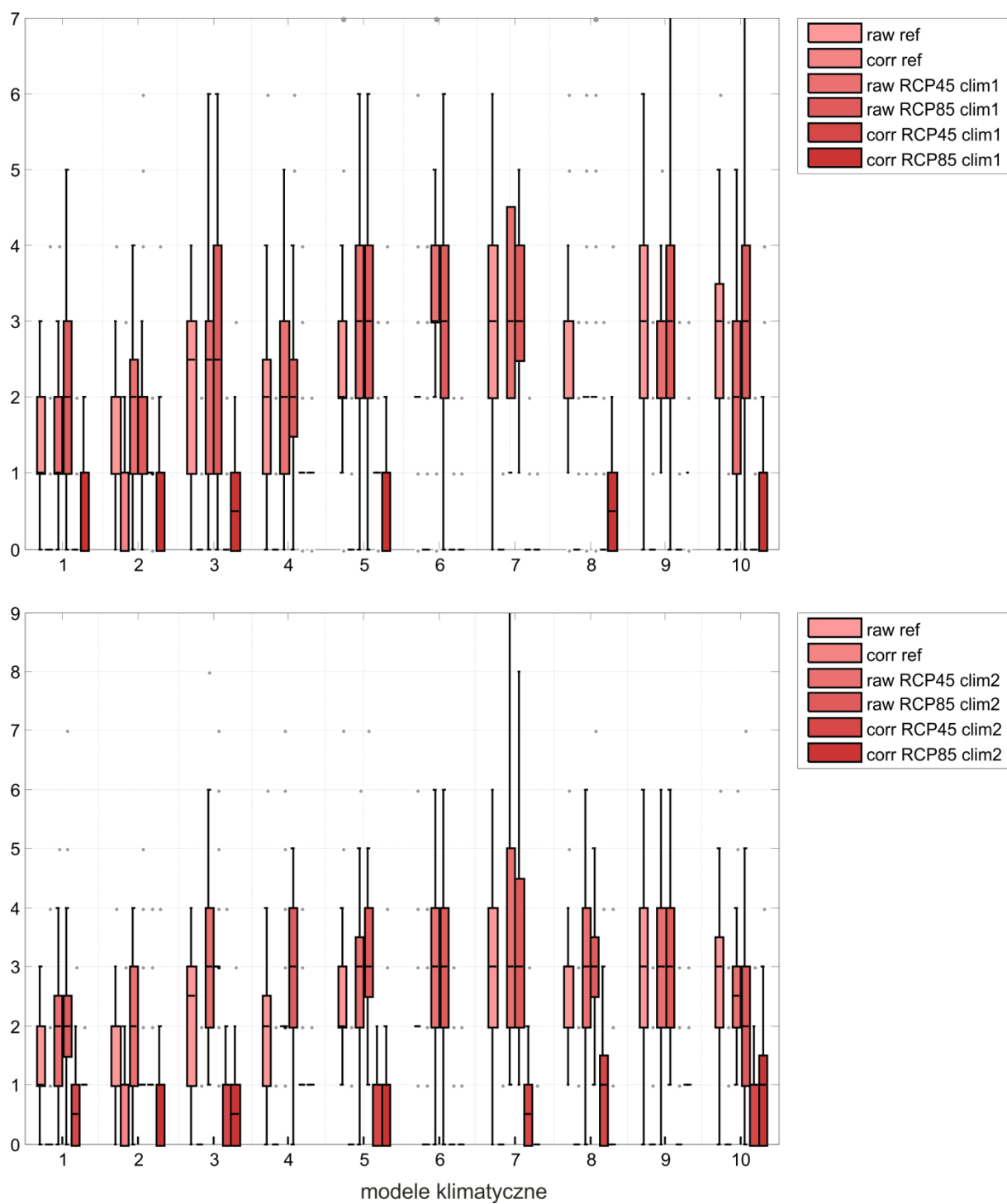
Porównanie otrzymanych wyników dla danych surowych oraz skorygowanych wskazuje na większe zmiany otrzymano dla danych skorygowanych (-4.7 dnia) niż dla danych surowych (-4.0 dnia).

Otrzymane wyniki odnośnie zmian w liczbie dni bez opadu dla wszystkich modeli wskazują na spadek liczby dni bez opadu, lecz w zależności od modelu różnią się intensywnością zmian. Najmniejsze zmiany otrzymano dla wyników modelu MPI-ESM-LR-REMO2009 (zmiana o -0.7 dni) natomiast największe dla modelu IPSL-WRF331F (zmiana o -6.7 dnia).

Liczba okresów w ciągu roku z opadem większym niż 1 mm (wskaźnik stosowany w ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020),

Kolejnym indeksem bazującym na dobowych sumach opadu jest liczba okresów w ciągu roku kalendarzowego z opadem większym niż 1 mm/dobę. Podobnie jak w opracowaniach z projektu KLIMADA oraz na nich bazujących analizowano tylko okresy dłuższe niż 5 dni.

W oszacowaniach liczby okresów z opadem wyższym niż 1mm/dobę wykorzystano wyniki symulacji dziesięciu modeli klimatycznych dla dwóch scenariuszy emisji RCP45 i RCP85. Opracowanie wykonano dla danych nieskorygowanych (surowych) oraz dla danych skorygowanych. Wartości tego indeksu zostały wyznaczone dla trzech okresów: 1971-2000, 2021-2050 i 2071-2100. Na Rysunku 49 przedstawione jest porównanie wyznaczonych wartości tego indeksu dla danych surowych oraz skorygowanych oraz dla dwóch scenariuszy emisji RCP45 oraz RCP85. Na górnym wykresie pokazano wyniki dla okresu referencyjnego (1971-2000) oraz dla okresu clim1 (2021-2050). Wykres przedstawia medianę (środek pudełka), kwartyle (dolna i górna granica pudełka), obserwacje odstające (zaznaczane kropkami) oraz maksimum i minimum po usunięciu obserwacji odstających. Widoczne jest zróżnicowanie otrzymanych wyników w zależności od modelu klimatycznego, scenariusza emisji oraz zastosowania korekcji błędów systematycznych.



RYСУNEK 49 ZMIENNOŚĆ W WIELOLECIEU (TRZECH ANALIZOWANYCH TRZYDZIESTOLECIACH) LICZBY OKRESÓW Z OPADEM WYŻSZYM NIŻ 1MM/DOBĘ. WYKRES PRZEDSTAWIA MEDIANĘ (ŚRODEK PUDEŁKA), KWARTYLE (DOLNA I GÓRNA GRANICA PUDEŁKA), OBSERWACJE ODSTAJĄCE (ZAZNACZANE KROPKAMI) ORAZ MAKSYMUM I MINIMUM PO USUNIĘCIU OBSERWACJI ODSTAJĄCYCH.

TABELA 46 OSZACOWANIA LICZBY OKRESÓW W CIĄGU ROKU KALENDARZOWEGO Z OPADEM WYŻSZYM NIŻ 1MM/DOBĘ. WARTOŚCI ŚREDNIE DLA 30-LECIA 1971-2000 NA PODSTAWIE WIĄZKI SUROWYCH ORAZ SKORYGOWANYCH SYMULACJI DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

	Dane surowe	Dane skorygowane
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	1.4	0.5

EC-EARTH-CCLM4-8-17	1.7	0.7
EC-EARTH-HIRHAM5	2.3	0.4
EC-EARTH-RACMO22E	2.0	0.6
EC-EARTH-RCA4	2.7	0.5
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	2.4	0.5
MPI-ESM-LR-RCA4	3.2	0.3
MPI-ESM-LR-REMO2009	2.7	0.4
IPSL-WRF331F	2.8	0.5
CNRM-CM5-RCA4	2.9	0.7
Średnia z wiązki	2.4	0.5
Wartość maksymalna z wiązki	3.2	0.7
Wartość minimalna z wiązki	1.4	0.3

Na podstawie wyznaczonych wartości indeksu dla trzech okresów 30 letnich obliczono zmiany wartości średniej z wielolecia. Wyniki obliczeń dla dziesięciu modeli klimatycznych oraz średnia, wartość minimalna i maksymalna z wiązki symulacji przedstawione są w Tabeli 47.

TABELA 47 ZMIANY LICZBY OKRESÓW Z OPADEM WYŻSZYM NIŻ 1MM/DOBĘ W CIĄGU ROKU KALENDARZOWEGO NA PODSTAWIE WYNIKÓW Z DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

	Dane surowe				Dane skorygowane			
	clim1-ref		clim2-ref		clim1-ref		clim2-ref	
	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	0.1	0.7	0.5	0.8	0.1	0.1	0.2	0.1
EC-EARTH-CCLM4-8-17	0.0	0.6	0.3	0.0	0.0	0.1	0.3	0.1
EC-EARTH-HIRHAM5	-0.1	0.2	0.9	1.0	0.2	0.3	0.4	0.3
EC-EARTH-RACMO22E	0.3	0.2	0.4	0.7	0.6	0.3	0.4	0.3
EC-EARTH-RCA4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.2	0.4
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	0.8	0.4	0.7	0.8	0.0	-0.1	0.2	-0.1
MPI-ESM-LR-RCA4	0.1	0.0	0.4	0.3	0.2	0.0	0.4	0.0
MPI-ESM-LR-REMO2009	-0.2	-0.2	0.2	0.4	0.0	0.3	0.5	0.2
IPSL-WRF331F	-0.2	0.1	0.0	0.6	-0.1	0.4	0.1	0.4
CNRM-CM5-RCA4	-0.6	0.0	-0.2	-0.4	-0.2	0.3	0.1	0.3
Średnia z wiązki	0.0	0.2	0.3	0.5	0.1	0.2	0.3	0.2

Wartość minimalna z wiązki	-0.6	-0.2	-0.2	-0.4	-0.2	-0.1	0.1	-0.1
Wartość maksymalna z wiązki	0.8	0.7	0.9	1.0	0.6	0.4	0.5	0.4

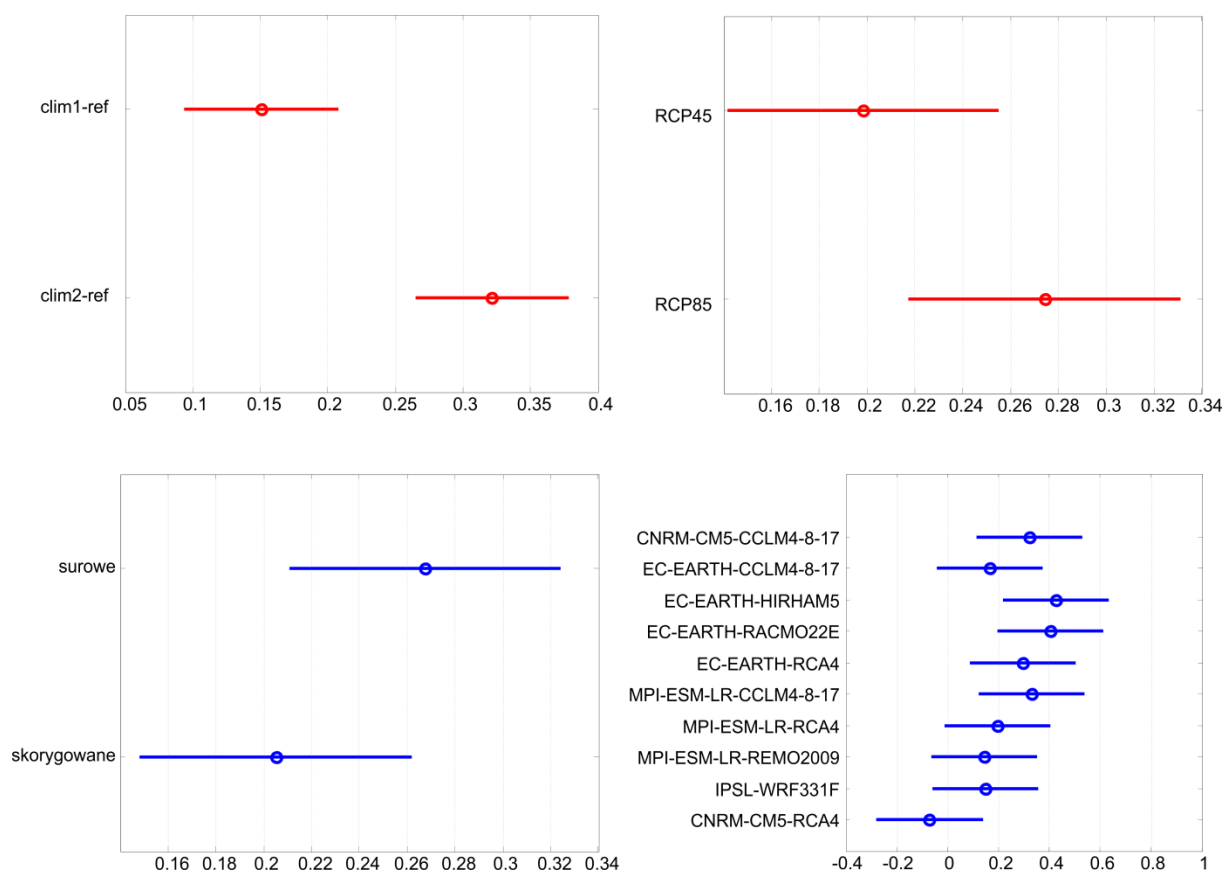
W kolejnym kroku dokonano oszacowania rozrzutu w otrzymanych wynikach ze względu na różnice pomiędzy analizowanymi okresami czasu (clim1 2021-2050 i clim2 2071-2100), scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5, korekcją błędów systematycznych oraz modelami klimatycznymi. Wyniki opracowania są przedstawione na Rysunku 50.

Na wykresie w górnym rzędzie po lewej stronie przedstawiono oszacowania zmian dla dwóch przyszłych okresów clim1 (2021-2050) i clim2 (2071-2100) w stosunku do okresu referencyjnego (1971-2000). Otrzymane wyniki wskazują na wzrost liczby okresów z opadem wyższym niż 1mm/dobę o 0.2 i 0.3 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100. Różnice pomiędzy okresami są istotne statystycznie.

Porównanie zmian liczby okresów z opadem pomiędzy scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5 (wykres w górnym rzędzie po prawej stronie) wskazuje, że większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP8.5 (0.3) niż dla RCP4.5 (0.2). Różnice w estymowanych zmianach nie są statystycznie istotne.

Na wykresie w dolnym rzędzie po lewej stronie przedstawione jest porównanie otrzymanych wyników dla danych surowych oraz skorygowanych. Większe zmiany otrzymano dla danych surowych (0.3) niż dla danych skorygowanych (0.2). Różnice te nie są istotne statystycznie.

Porównanie szacowanych zmian liczby okresów z opadem pomiędzy dziesięcioma modelami klimatycznymi pokazane jest na wykresie w dolnym rzędzie po prawej stronie. Oszacowania te dla większości modeli wskazują na wzrost liczby okresów z opadem, lecz w zależności od modelu różnią się intensywnością zmian. Jedynie model CNRM-CM5-RCA4 symuluje spadek liczby okresów z opadem. Największe zmiany otrzymano dla wyników modelu EC-EARTH-HIRHAM5 (zmiana o 0.4).



RYSUNEK 50 ANOVA ZMIANA LICZBY OKRESÓW W CIĄGU ROKU Z OPADEM WIĘKSZYM NIŻ 1MM/DOBĘ. ANALIZA ROZRZUTU OTRZYMANYCH WYNIKÓW W ZALEŻNOŚCI OD ANALIZOWANEGO OKRESU, SCENARIUSZA EMISJI, KOREKCJI DANYCH ORAZ MODELU KLIMATYCZNEGO.

PODSUMOWANIE

Oszacowania wyników dziesięciu modeli klimatycznych wskazują na wzrost liczby okresów z opadem wyższym niż 1mm/dobę o 0.2 i 0.3 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100.

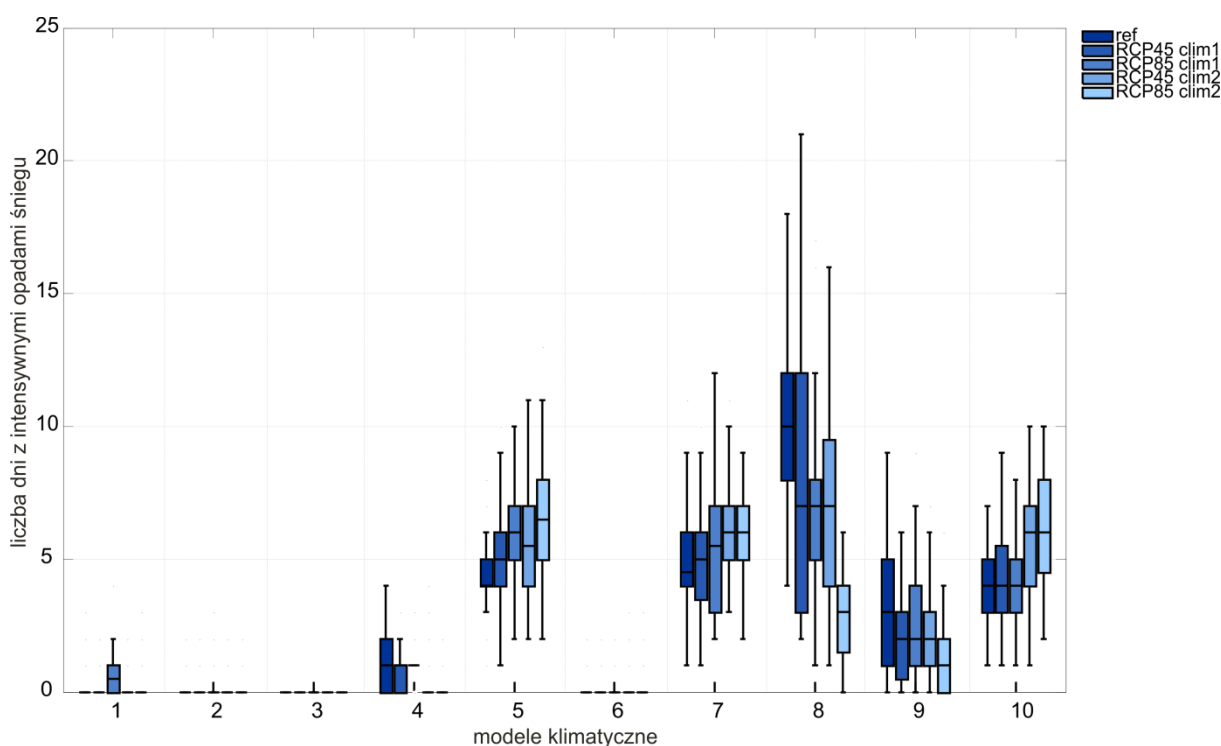
Porównanie zmian liczby okresów z opadem pomiędzy scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5 wskazuje, że większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP8.5 (0.3) niż dla RCP4.5 (0.2).

Porównanie otrzymanych wyników dla danych surowych oraz skorygowanych wskazuje na większe zmiany otrzymano dla danych surowych (0.3) niż dla danych skorygowanych (0.2).

Porównanie wyników pomiędzy dziesięcioma modelami klimatycznymi, wskazują na wzrost liczby okresów z opadem dla większości modeli, lecz w zależności od modelu różnią się intensywnością zmian. Jedynie model CNRM-CM5-RCA4 symuluje spadek liczby okresów z opadem. Największe zmiany otrzymano dla wyników modelu EC-EARTH-HIRHAM5 (zmiana o 0.4).

Liczba dni w ciągu roku z intensywnymi opadami śniegu powyżej określonej wartości granicznej.

Jednym z zagrożeń zjawiskami meteorologicznymi są intensywne opady śniegu. Wskaźnik ten jest wyznaczany, jako liczba dni z przyrostem pokrywy śnieżnej powyżej 5 cm w ciągu 24 godzin. W oszacowaniach liczby dni z intensywnymi opadami śniegu wykorzystano wyniki symulacji dziesięciu modeli klimatycznych dla dwóch scenariuszy emisji RCP45 i RCP85. Opracowanie wykonano dla danych nieskorygowanych (surowych). Wartości tego indeksu zostały wyznaczone dla trzech okresów: 1971-2000, 2021-2050 i 2071-2100. Na Rysunku 51 przedstawione jest porównanie wyznaczonych wartości tego indeksu dla dwóch scenariuszy emisji RCP45 oraz RCP85 dla trzech analizowanych trzydziestoleci: okresu referencyjnego (1971-2000), clim1 (2021-2050), oraz clim2 (2071-2100). Wykres przedstawia medianę (środek pudełka), kwartyle (dolna i górna granica pudełka), obserwacje odstające (zaznaczane kropkami) oraz maksimum i minimum po usunięciu obserwacji odstających. Widoczne jest zróżnicowanie otrzymanych wyników w zależności od modelu klimatycznego, scenariusza emisji oraz analizowanego okresu.



RYСУNEK 51 ZMIENNOŚĆ W WIELOLECIU (TRZECH ANALIZOWANYCH TRZYDZIESTOLECIACH) LICZBY DNI Z INTENSYWNYMI OPADAMI ŚNIEGU. WYKRES PRZEDSTAWIA MEDIANĘ (ŚRODEK PUDEŁKA), KWARTYLE (DOLNA I GÓRNA GRANICA PUDEŁKA), OBSERWACJE ODSTAJĄCE (ZAZNACZANE KROPKAMI) ORAZ MAKSYMUM I MINIMUM PO USUNIĘCIU OBSERWACJI ODSTAJĄCYCH

TABELA 48 OSZACOWANIA LICZBY DNI Z INTENSYWNYMI OPADAMI ŚNIEGU W CIĄGU ROKU KALENDARZOWEGO. WARTOŚCI ŚREDNIE DLA 30-LECIA 1971-2000 NA PODSTAWIE SUROWYCH ORAZ SKORYGOWANYCH SYMULACJI DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

Dane surowe [liczba dni]	
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	0.60
EC-EARTH-CCLM4-8-17	0.30
EC-EARTH-HIRHAM5	0.00
EC-EARTH-RACMO22E	1.00
EC-EARTH-RCA4	4.20
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	0.40
MPI-ESM-LR-RCA4	5.00
MPI-ESM-LR-REMO2009	9.80
IPSL-WRF331F	3.33
CNRM-CM5-RCA4	3.90
Średnia z wiązki	2.85
Wartość maksymalna z wiązki	9.80
Wartość minimalna z wiązki	0.00

Na podstawie wyznaczonych wartości indeksu dla trzech okresów 30 letnich obliczono zmiany wartości średniej z wielolecia. Wyniki obliczeń dla dziesięciu modeli klimatycznych oraz średnia, wartość minimalna i maksymalna z wiązki symulacji przedstawione są w Tabeli 49.

TABELA 49 ZMIANY LICZBY DNI Z INTENSYWNYMI OPADAMI ŚNIEGU W CIĄGU ROKU KALENDARZOWEGO NA PODSTAWIE WYNIKÓW Z DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

	Dane surowe			
	clim1-ref		clim2-ref	
	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	-0.2	0.1	-0.1	0.0
EC-EARTH-CCLM4-8-17	0.0	0.2	0.0	0.0
EC-EARTH-HIRHAM5	0.0	0.0	0.0	0.0
EC-EARTH-RACMO22E	-0.2	0.0	-0.4	-0.5
EC-EARTH-RCA4	1.0	1.9	1.2	2.3
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	0.1	0.0	0.1	0.1
MPI-ESM-LR-RCA4	0.3	0.6	1.3	0.7

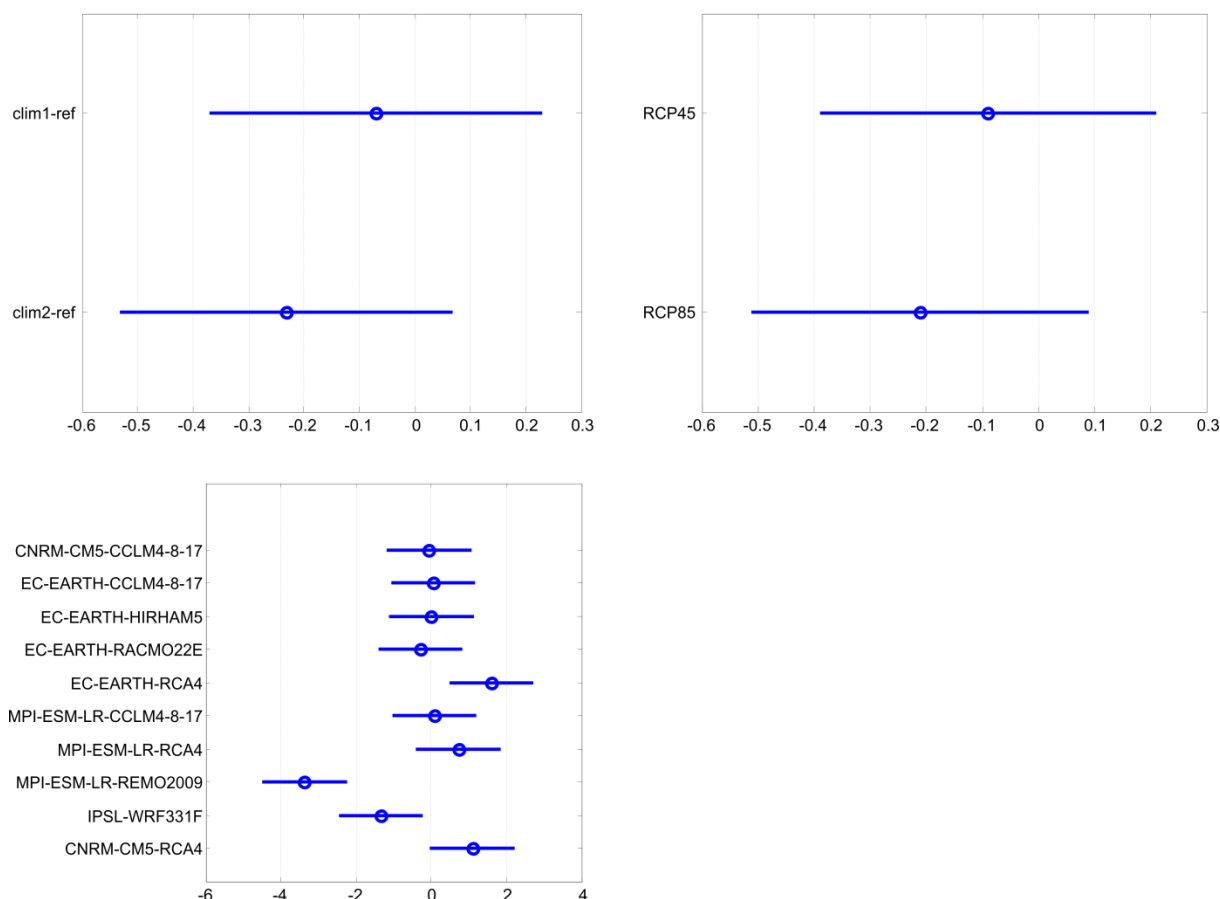
MPI-ESM-LR-REMO2009	-1.6	-2.3	-2.5	-7.0
IPSL-WRF331F	-1.3	-0.6	-1.2	-2.3
CNRM-CM5-RCA4	0.4	0.3	1.4	2.3
Średnia z wiązki	-0.2	0.0	0.0	-0.4
Wartość minimalna z wiązki	-1.6	-2.3	-2.5	-7.0
Wartość maksymalna z wiązki	1.0	1.9	1.4	2.3

W kolejnym kroku dokonano oszacowania rozrzutu w otrzymanych wynikach ze względu na różnice pomiędzy analizowanymi okresami czasu (clim1 2021-2050 i clim2 2071-2100), scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5 oraz modelami klimatycznymi. Wyniki opracowania są przedstawione na Rysunku 52.

Na wykresie w górnym rzędzie po lewej stronie przedstawiono oszacowania zmian dla dwóch przyszłych okresów clim1 (2021-2050) i clim2 (2071-2100) w stosunku do okresu referencyjnego (1971-2000). Otrzymane wyniki wskazują na spadek liczby dni z intensywnymi opadami śniegu w ciągu roku kalendarzowego o 0.1 i 0.2 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100. Różnice pomiędzy okresami nie są istotne statystycznie.

Porównanie zmian liczby okresów z opadem pomiędzy scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5 (wykres w górnym rzędzie po prawej stronie) wskazuje, że większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP8.5 (-0.2) niż dla RCP4.5 (-0.1). Różnice w estymowanych zmianach nie są statystycznie istotne.

Porównanie szacowanych zmian liczby okresów z opadem pomiędzy dziesięcioma modelami klimatycznymi pokazane jest na wykresie w dolnym rzędzie. Oszacowania te różnią się kierunkiem zmian oraz ich intensywnością. Spadek liczby dni z intensywnymi opadami śniegu otrzymano dla wyników modelu MPI-ESM-LR-REMO2009 (-3.4 dnia), IPSL-WRF331F (-1.3dnia), EC-EARTH-RACMO22E (-0.3 dnia). Z kolei wzrost liczby dni z intensywnymi opadami śniegu otrzymano dla EC-EARTH-RCA (1.6 dnia), CNRM-CM5-RCA4 (1.1 dnia), MPI-ESM-LR-RCA4 (0.7 dnia). W pozostałych przypadkach średnia zmiana dla modelu jest mniejsza niż 0.1 dnia.



RYSUNEK 52 ANOVA ZMIANA LICZBY DNI Z INTENSYWNYMI OPADAMI ŚNIEGU W CIĄGU ROKU KALENDARZOWEGO. ANALIZA ROZRZUTU OTRZYMANYCH WYNIKÓW W ZALEŻNOŚCI OD ANALIZOWANEGO OKRESU, SCENARIUSZA EMISJI ORAZ MODELU KLIMATYCZNEGO

Podsumowanie

Symulacje klimatyczne dotyczące liczby dni z intensywnymi opadami śniegu w ciągu roku kalendarzowego wskazują na spadek liczby dni z intensywnymi opadami śniegu w ciągu roku kalendarzowego o 0.1 i 0.2 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100.

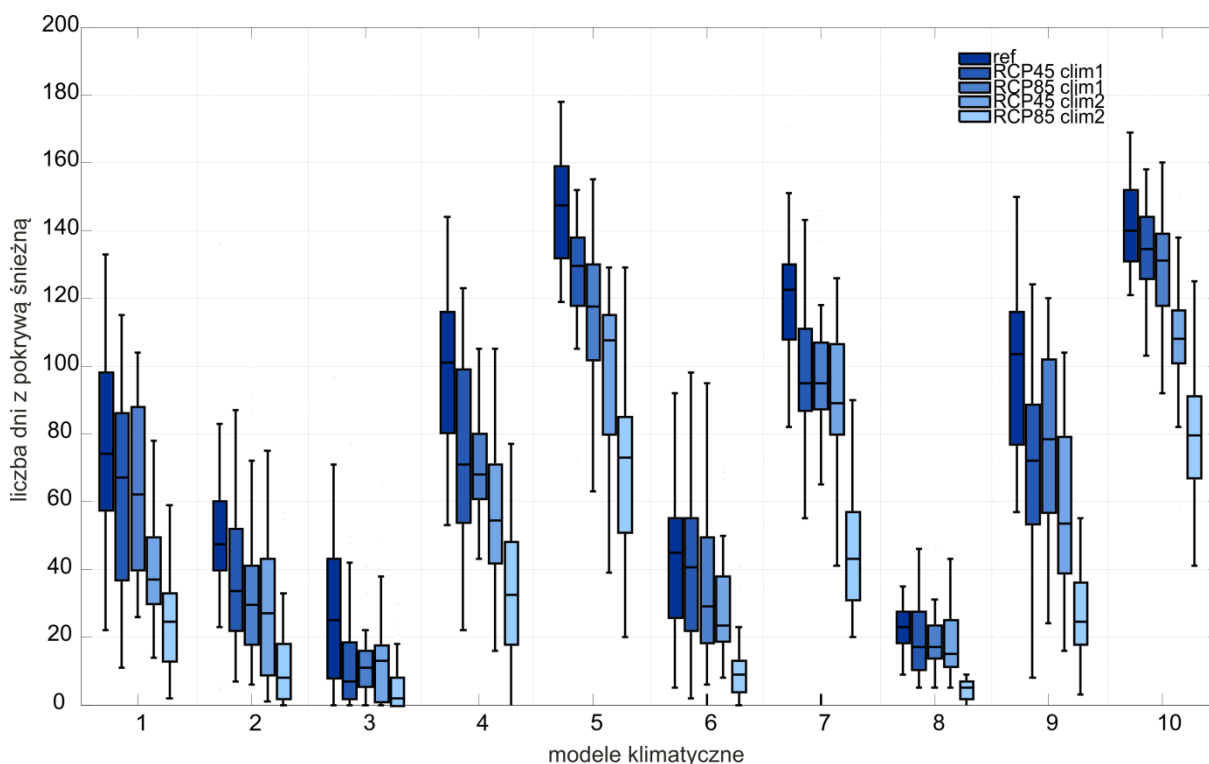
Porównanie zmian liczby okresów z opadem pomiędzy scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5 wskazuje, że większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP8.5 (-0.2) niż dla RCP4.5 (-0.1).

Porównanie szacowanych zmian liczby okresów z opadem pomiędzy dziesięcioma modelami klimatycznymi wskazuje na różnice odnośnie kierunku zmian oraz ich intensywnością. Spadek liczby dni z intensywnymi opadami śniegu otrzymano dla wyników modelu MPI-ESM-LR-REMO2009 (-3.4 dnia), IPSL-WRF331F (-1.3 dnia), EC-EARTH-RACMO22E (-0.3 dnia). Z kolei wzrost liczby dni z intensywnymi opadami śniegu otrzymano dla EC-EARTH-RCA (1.6 dnia), CNRM-CM5-RCA4 (1.1 dnia), MPI-ESM-LR-RCA4 (0.7 dnia). W pozostałych przypadkach średnia zmiana dla modelu jest mniejsza niż 0.1 dnia.

Liczba dni z pokrywą śnieżną (wskaźnik stosowany w ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020).

Drugim wskaźnikiem oceny pokrywy śnieżnej jest liczba dni z pokrywą śnieżną w ciągu roku kalendarzowego. W tym opracowaniu przyjęto, że dzień z pokrywą śnieżną to dzień z wysokością pokrywy śnieżnej większą niż 1 cm.

W oszacowaniach liczby dni z pokrywą śnieżną wykorzystano wyniki symulacji dziesięciu modeli klimatycznych dla dwóch scenariuszy emisji RCP45 i RCP85. Opracowanie wykonano dla danych nieskorygowanych (surowych). Wartości tego indeksu zostały wyznaczone dla trzech okresów: 1971-2000, 2021-2050 i 2071-2100. Na Rysunku 53 przedstawione jest porównanie wyznaczonych wartości tego indeksu dla dwóch scenariuszy emisji RCP45 oraz RCP85 dla trzech analizowanych trzydziestoleci: okresu referencyjnego (1971-2000), clim1 (2021-2050), oraz clim2 (2071-2100). Wykres przedstawia medianę (środek pudełka), kwartyle (dolna i górna granica pudełka), obserwacje odstające (zaznaczane kropkami) oraz maksimum i minimum po usunięciu obserwacji odstających. Widoczne jest zróżnicowanie otrzymanych wyników w zależności od modelu klimatycznego, scenariusza emisji oraz analizowanego okresu.



RYСУNEK 53 ZMIENNOŚĆ W WIELOLECIU (TRZECZ ANALIZOWANYCH TRZYDZIESTOLECIACH) LICZBY DNI Z POKRYWĄ ŚNIEŻNĄ W CIĄGU ROKU KALENDARZOWEGO. WYKRES PRZEDSTAWIA MEDIANĘ (ŚRODEK PUDEŁKA), KWARTYLE (DOLNA I GÓRNA GRANICA PUDEŁKA), OBSERWACJE ODSTAJĄCE (ZAZNACZANE KROPKAMI) ORAZ MAKSYMUM I MINIMUM PO USUNIĘCIU OBSERWACJI ODSTAJĄCYCH

TABELA 50 OSZACOWANIA LICZBY DNI Z POKRYWĄ ŚNIEŻNĄ W CIĄGU ROKU KALENDARZOWEGO. WARTOŚCI ŚREDNIE DLA 30-LECIA 1971-2000 NA PODSTAWIE WIĄZKI SUROWYCH ORAZ SKORYGOWANYCH SYMULACJI DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

Dane surowe [liczba dni]	
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	107.6
EC-EARTH-CCLM4-8-17	89.5
EC-EARTH-HIRHAM5	76.8
EC-EARTH-RACMO22E	154.2
EC-EARTH-RCA4	147.2
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	75.7
MPI-ESM-LR-RCA4	120.9
MPI-ESM-LR-REMO2009	56.1
IPSL-WRF331F	210.6
CNRM-CM5-RCA4	143.5
Średnia z wiązki	118.20
Wartość maksymalna z wiązki	210.57
Wartość minimalna z wiązki	56.07

Na podstawie wyznaczonych wartości indeksu dla trzech okresów 30 letnich obliczono zmiany wartości średniej z wielolecia. Wyniki obliczeń dla dziesięciu modeli klimatycznych oraz średnia, wartość minimalna i maksymalna z wiązki symulacji przedstawione są w Tabeli 51.

TABELA 51 ZMIANY LICZBY DNI Z POKRYWĄ ŚNIEŻNĄ W CIĄGU ROKU KALENDARZOWEGO NA PODSTAWIE WYNIKÓW Z DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

	Dane surowe			
	clim1-ref		clim2-ref	
	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	-13.6	-13.8	-36.6	-53.1
EC-EARTH-CCLM4-8-17	-11.8	-16.1	-22.6	-38.2
EC-EARTH-HIRHAM5	-15.9	-18.9	-16.5	-23.9
EC-EARTH-RACMO22E	-25.2	-30.7	-43.2	-67.1
EC-EARTH-RCA4	-19.5	-31.3	-47.8	-76.0
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	-0.9	-5.6	-11.9	-32.0
MPI-ESM-LR-RCA4	-24.4	-22.9	-29.0	-75.1

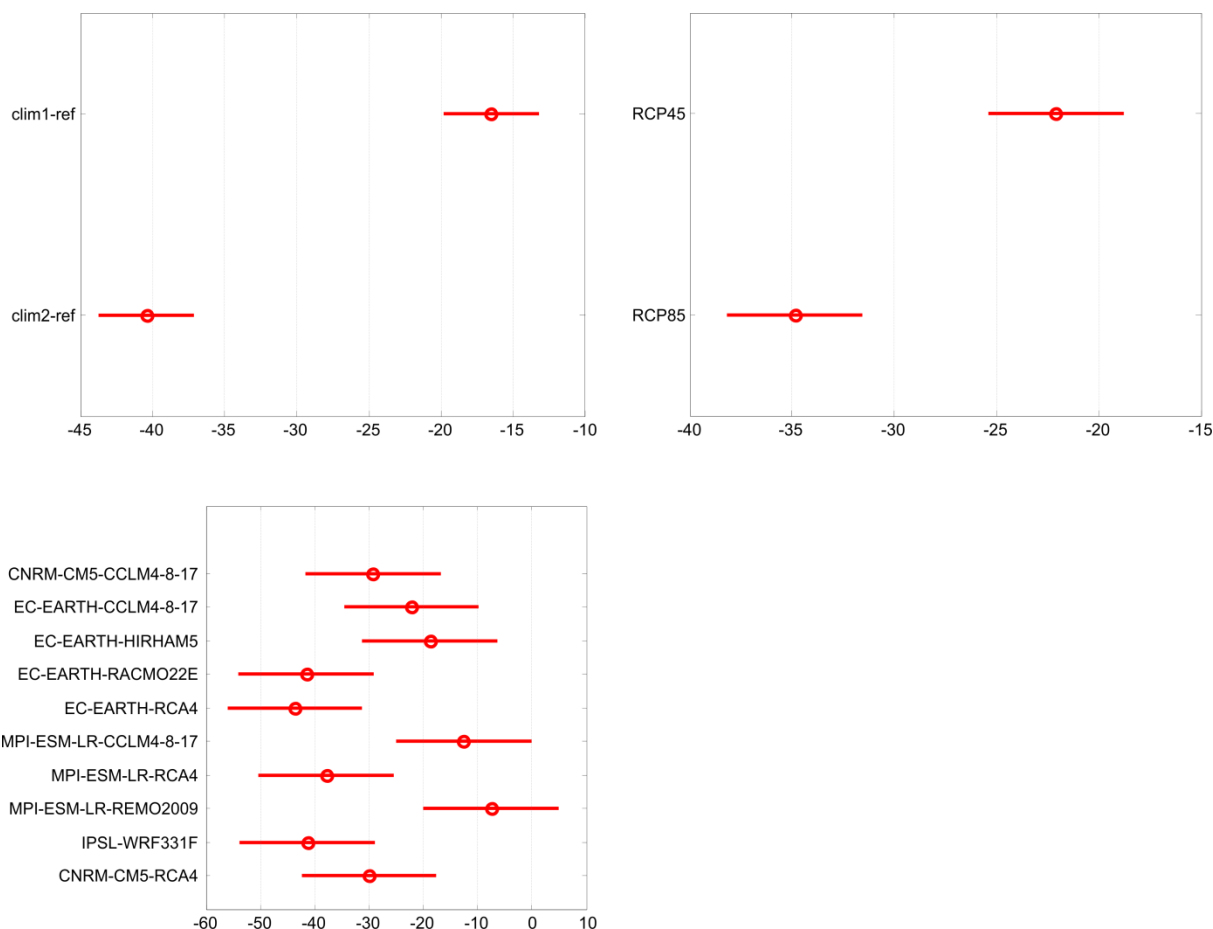
MPI-ESM-LR-REMO2009	-3.5	-4.0	-5.2	-17.4
IPSL-WRF331F	-28.0	-22.8	-42.4	-72.1
CNRM-CM5-RCA4	-8.7	-13.1	-35.1	-63.0
Średnia z wiązki	-15.2	-17.9	-29.0	-51.8
Wartość minimalna z wiązki	-28.0	-31.3	-47.8	-76.0
Wartość maksymalna z wiązki	-0.9	-4.0	-5.2	-17.4

W kolejnym kroku dokonano oszacowania rozrzutu w otrzymanych wynikach ze względu na różnice pomiędzy analizowanymi okresami czasu (clim1 2021-2050 i clim2 2071-2100), scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5 oraz modelami klimatycznymi. Wyniki opracowania są przedstawione na Rysunku 54.

Na wykresie w górnym rzędzie po lewej stronie przedstawiono oszacowania zmian dla dwóch przyszłych okresów clim1 (2021-2050) i clim2 (2071-2100) w stosunku do okresu referencyjnego (1971-2000). Otrzymane wyniki wskazują na spadek liczby dni z pokrywą śnieżną w ciągu roku kalendarzowego o 16.5 i 40.4 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100. Różnice pomiędzy okresami są istotne statystycznie.

Porównanie zmian liczby okresów z opadem pomiędzy scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5 (wykres w górnym rzędzie po prawej stronie) wskazuje, że większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP8.5 (-34.9) niż dla RCP4.5 (-22.1). Różnice w estymowanych zmianach są statystycznie istotne.

Porównanie szacowanych zmian liczby okresów z opadem pomiędzy dziesięcioma modelami klimatycznymi pokazane jest na wykresie w dolnym rzędzie. Oszacowania te dla wszystkich modeli wskazują na spadek liczby dni z pokrywą śnieżną, lecz w zależności od modelu różnią się intensywnością zmian. Najmniejsze zmiany otrzymano dla wyników modelu MPI-ESM-LR-REMO2009 (-7.5 dnia). Z kolei największe zmiany otrzymano dla wyników modelu EC-EARTH-RCA4 (zmiana o -43.7dnia).



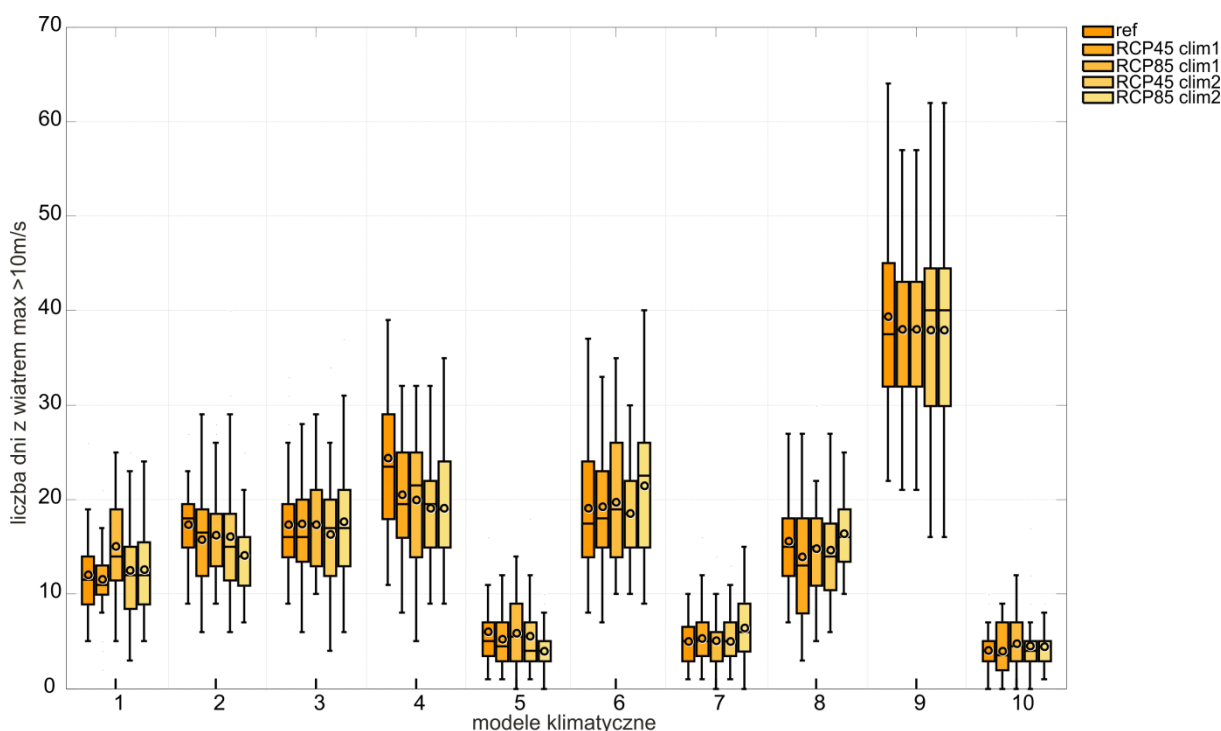
RYСУNEK 54 ANOVA ZMIANA LICZBY DNI Z POKRYWĄ ŚNIEŻNĄ W CIĄGU ROKU KALENDARZOWEGO. ANALIZA ROZRZUTU OTRZYMANÝCH WYNIKÓW W ZALEŻNOŚCI OD ANALIZOWANEGO OKRESU, SCENARIUSZA EMISJI ORAZ MODELU KLIMATYCZNEGO

Podsumowanie

Symulacje klimatyczne dotyczące liczby dni z pokrywą śnieżną w ciągu roku kalendarzowego wskazują na spadek wartości tego wskaźnika o 15.2 (RCP4.5) i 19.9 dnia (RCP8.5) dla pierwszego okresu zmienionego klimatu w stosunku do okresu referencyjnego. Oszacowania dla drugiego okresu zmienionego klimatu wskazują na dalszy spadek liczby dni z pokrywą śnieżną o 29.0 i 51.8 dnia odpowiednio dla scenariusza emisji RCP4.5 i RCP8.5. W przypadku tego wskaźnika wyniki wszystkich modeli klimatycznych wskazują na spadek liczby dni z pokrywą śnieżną, lecz w zależności od modelu różnią się intensywnością zmian.

Liczba dni z wiatrem max > 10 m/s (wskaźnik stosowany w ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020)

Jednym ze wskaźników dotyczącym prędkości wiatru jest liczba dni w ciągu roku kalendarzowego z maksymalną dobową prędkością wiatru większą niż 10m/s. Wartości tego wskaźnika zostały wyznaczone na podstawie symulacji dziesięciu modeli klimatycznych dla trzech okresów: 1971-2000, 2021-2050 i 2071-2100. W opracowaniach bazujących na maksymalnej dobowej prędkości wiatru wykorzystano tylko dane surowe z modeli klimatycznych ze względu na brak odpowiednich danych obserwacyjnych. Na Rysunku 55 przedstawione jest porównanie wyznaczonych wartości tego indeksu dla dwóch scenariuszy emisji RCP4.5 oraz RCP8.5 w postaci wykresu pudełkowego. Wykres przedstawia medianę (środek pudełka), kwartyle (dolna i górna granica pudełka), obserwacje odstające (zaznaczane kropkami) oraz maksimum i minimum po usunięciu obserwacji odstających. Widoczne są znaczne różnice w oszacowaniach w zależności od modelu klimatycznego, scenariusza emisji oraz analizowanego okresu.



RYСУNEK 55 ZMIENNOŚĆ W WIELOLECIE (TRZECH ANALIZOWANYCH TRZYDZIESTOLECIACH) LICZBY DNI Z MAKSYMALNĄ DOBOWĄ PRĘDKOŚCIĄ WIATRU WIĘKSZĄ NIŻ 10M/S W CIĄGU ROKU KALENDARZOWEGO. WYKRES PRZEDSTAWIA MEDIANĘ (ŚRODEK PUDEŁKA), KWARTYLE (DOLNA I GÓRNA GRANICA PUDEŁKA), OBSERWACJE ODSTAJĄCE (ZAZNACZANE KROPKAMI) ORAZ MAKSYMUM I MINIMUM PO USUNIĘCIU OBSERWACJI ODSTAJĄCYCH

TABELA 52 OSZACOWANIA LICZBY DNI W CIĄGU ROKU KALENDARZOWEGO Z MAKSYMALNĄ DOBOWĄ PRĘDKOŚCIĄ WIATRU WIĘKSZĄ NIŻ 10M/S. WARTOŚCI ŚREDNIE DLA 30-LECIA 1971-2000 NA PODSTAWIE WIĄZKI SUROWYCH ORAZ SKORYGOWANYCH SYMULACJI DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

Dane surowe [liczba dni]

CNRM- CM5-CCLM4-8-17	12.1
EC-EARTH-CCLM4-8-17	17.4
EC-EARTH-HIRHAM5	17.4
EC-EARTH-RACMO22E	24.4
EC-EARTH-RCA4	6.0
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	19.1
MPI-ESM-LR-RCA4	5.1
MPI-ESM-LR-REMO2009	15.7
IPSL-WRF331F	39.4
CNRM-CM5-RCA4	4.1
Średnia z wiązki	16.07
Wartość maksymalna z wiązki	39.40
Wartość minimalna z wiązki	4.10

Na podstawie wyznaczonych wartości indeksu dla trzech okresów 30 letnich obliczono zmiany wartości średniej z wielolecia. Wyniki obliczeń dla dziesięciu modeli klimatycznych oraz średnia, wartość minimalna i maksymalna z wiązki symulacji przedstawione są w Tabeli 53.

TABELA 53 ZMIANY LICZBY DNI Z WIATREM MAX WIĘKSZYM NIŻ 10M/S W CIĄGU ROKU KALENDARZOWEGO NA PODSTAWIE WYNIKÓW Z DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

	Dane surowe			
	clim1-ref		clim2-ref	
	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	-0.5	3.0	0.4	0.5
EC-EARTH-CCLM4-8-17	-1.5	-1.1	-1.3	-3.2
EC-EARTH-HIRHAM5	0.1	0.0	-1.0	0.3
EC-EARTH-RACMO22E	-3.8	-4.4	-5.3	-5.3
EC-EARTH-RCA4	-0.7	-0.1	-0.5	-2.0
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	0.2	0.6	-0.5	2.4
MPI-ESM-LR-RCA4	0.3	0.0	0.0	1.4
MPI-ESM-LR-REMO2009	-1.7	-0.8	-1.0	0.7
IPSL-WRF331F	-1.4	-1.4	-1.5	-1.5

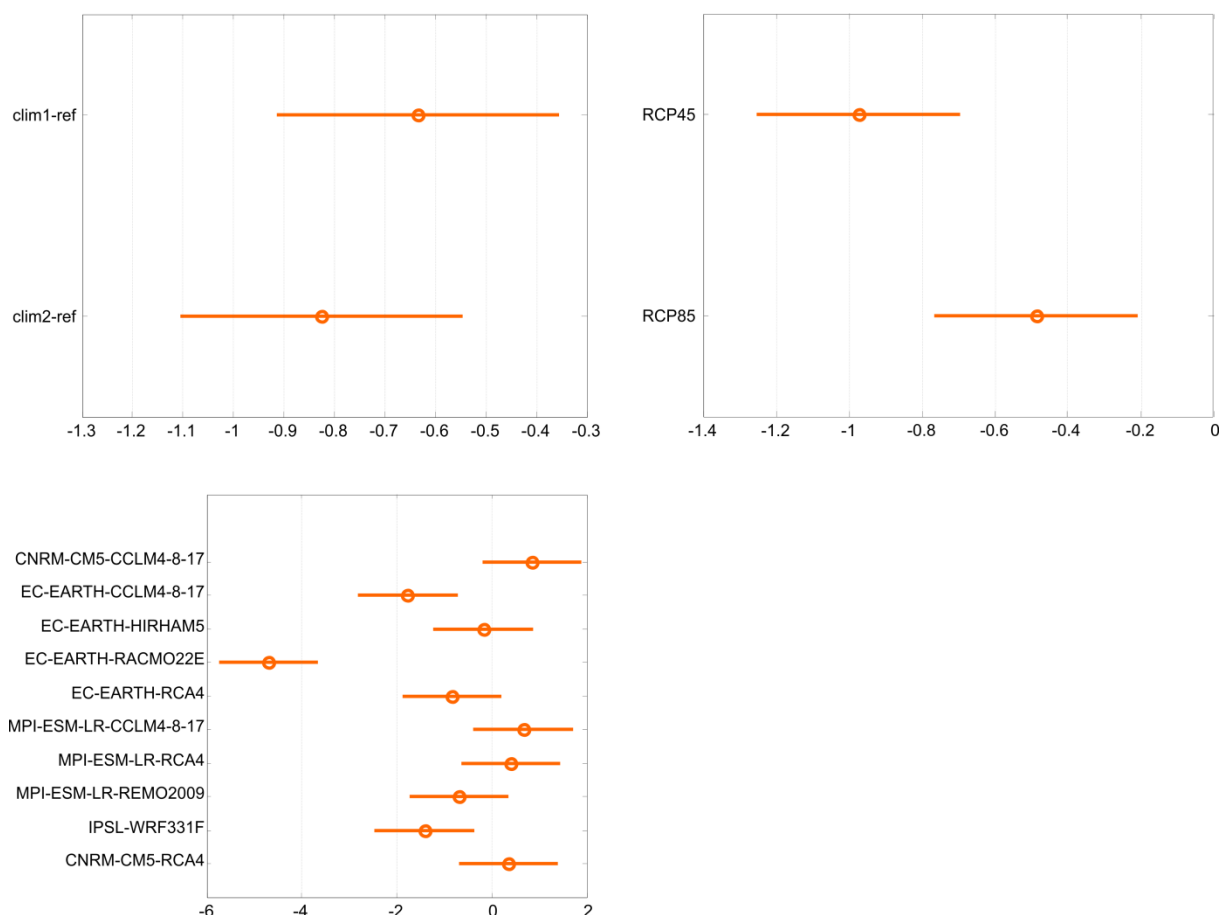
CNRM-CM5-RCA4	-0.1	0.7	0.4	0.4
Średnia z wiązki	-0.9	-0.3	-1.0	-0.6
Wartość minimalna z wiązki	-3.8	-4.4	-5.3	-5.3
Wartość maksymalna z wiązki	0.3	3.0	0.4	2.4

W kolejnym kroku dokonano oszacowania rozrzutu w otrzymanych wynikach ze względu na różnice pomiędzy analizowanymi okresami czasu (clim1 2021-2050 i clim2 2071-2100), scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5 oraz modelami klimatycznymi. Wyniki opracowania są przedstawione na Rysunku 56.

Na wykresie w górnym rzędzie po lewej stronie przedstawiono oszacowania zmian dla dwóch przyszłych okresów clim1 (2021-2050) i clim2 (2071-2100) w stosunku do okresu referencyjnego (1971-2000). Otrzymane wyniki wskazują na spadek liczby dni z maksymalną dobową prędkością wiatru większą niż 10m/s w ciągu roku kalendarzowego o 0.6 i 0.8 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100. Różnice pomiędzy okresami są nie istotne statystycznie.

Porównanie zmian liczby dni pomiędzy scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5 (wykres w górnym rzędzie po prawej stronie) wskazuje, że większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP4.5 (-1.0) niż dla RCP8.5 (-0.5). Różnice w estymowanych zmianach nie są statystycznie istotne.

Porównanie szacowanych zmian pomiędzy dziesięcioma modelami klimatycznymi pokazane jest na wykresie w dolnym rzędzie. Oszacowania te różnią się pomiędzy modelami. Część modeli (EC-EARTH-RACMO22E, EC-EARTH-CCLM4, IPSL-WRF331F, MPI-EM-LR-REMO2009, EC-EARTH-RCA4 oraz EC-EARTH-HIRHAM5) wskazuje na spadek liczby dni z maksymalną dobową prędkością wiatru większą niż 10m/s. Wyniki symulacji pozostałych modeli wskazują na wzrost liczby dni z maksymalną dobową prędkością wiatru większą niż 10m/s



RYСУNEK 56 ANOVA ZMIANA LICZBY DNI Z MAKSYMALNĄ DOBOWĄ PRĘDKOŚCIĄ WIATRU WIĘKSZĄ NIŻ 10m/s W CIĄGU ROKU KALENDARZOWEGO. ANALIZA ROZRZUTU OTRZYMANYCH WYNIKÓW W ZALEŻNOŚCI OD ANALIZOWANEGO OKRESU, SCENARIUSZA EMISJI ORAZ MODELU KLIMATYCZNEGO

PODSUMOWANIE

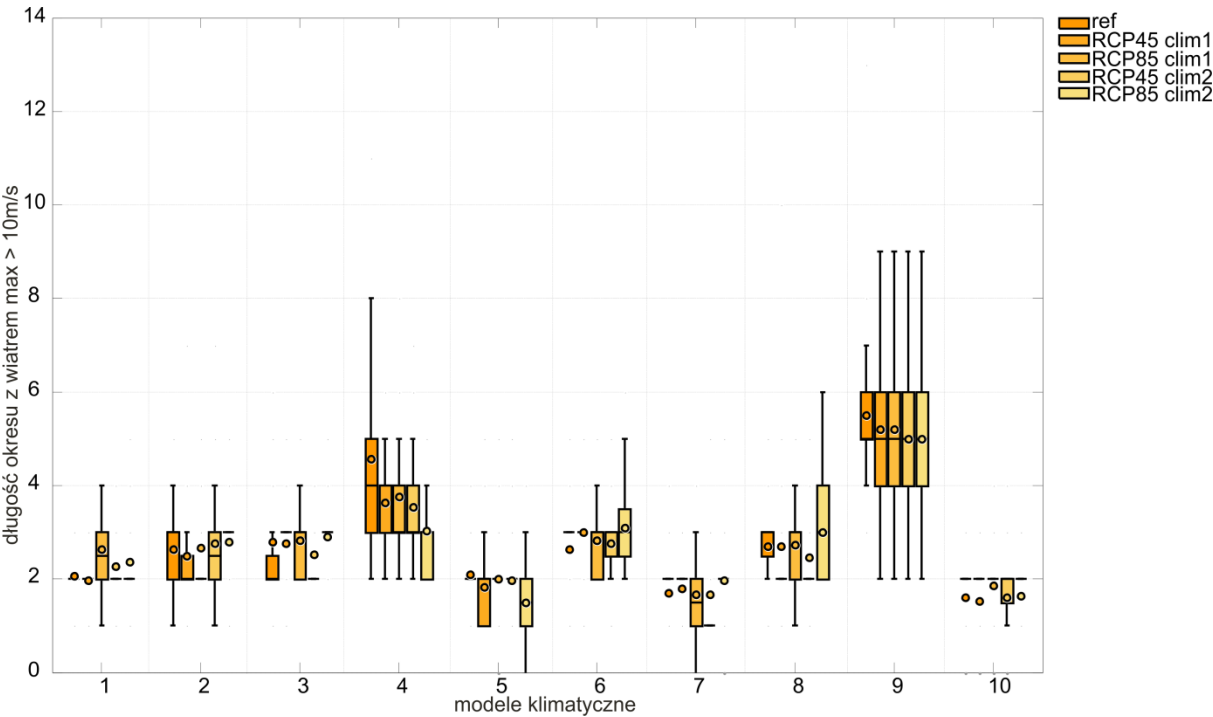
Oszacowania zmian liczby dni z maksymalną dobową prędkością wiatru większą niż 10m/s w ciągu roku kalendarzowego wskazują na spadek liczby dni o 0.6 i 0.8 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100.

Porównanie zmian liczby dni pomiędzy scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5 wskazuje, że większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP4.5 (-1.0) niż dla RCP8.5 (-0.5).

Porównanie szacowanych zmian pomiędzy dziesięcioma modelami klimatycznymi wskazuje na różnice w oszacowaniach pomiędzy modelami. Część modeli (EC-EARTH-RACMO22E, EC-EARTH-CCLM4, IPSL-WRF331F, MPI-EM-LR-REM02009, EC-EARTH-RCA4 oraz EC-EARTH-HIRHAM5) wskazuje na spadek liczby dni z maksymalną dobową prędkością wiatru większą niż 10m/s. Wyniki symulacji pozostałych modeli wskazują na wzrost liczby dni z maksymalną dobową prędkością wiatru większą niż 10m/s

Najdłuższy okres z wiatrem max > 10 m/s (wskaźnik stosowany w ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020)

Kolejnym ze wskaźników dotyczącym prędkości wiatru jest liczba dni najdłuższego okresu z maksymalną dobową prędkością wiatru większą niż 10m/s. Wartości tego wskaźnika zostały wyznaczone na podstawie symulacji dziesięciu modeli klimatycznych dla trzech okresów: 1971-2000, 2021-2050 i 2071-2100. W opracowaniach bazujących na maksymalnej dobowej prędkości wiatru wykorzystano tylko dane surowe z modeli klimatycznych ze względu na brak odpowiednich danych obserwacyjnych. Na Rysunku 57 przedstawione jest porównanie wyznaczonych wartości tego indeksu dla dwóch scenariuszy emisji RCP4.5 oraz RCP8.5 w postaci wykresu pudełkowego. Wykres przedstawia medianę (środek pudełka), kwartyle (dolna i górna granica pudełka), obserwacje odstające (zaznaczane kropkami) oraz maksimum i minimum po usunięciu obserwacji odstających. Widoczne są znaczne różnice w oszacowaniach w zależności od modelu klimatycznego, scenariusza emisji oraz analizowanego okresu.



RYSUNEK 57 ZMIENNOŚĆ W WIELOLECIEU (TRZECH ANALIZOWANYCH TRZYDZIESTOLECIACH) LICZBY DNI NAJDŁUŻSZEGO OKRESU W CIĄGU ROKU KALENDARZOWEGO Z MAKSYMALNĄ DOBOWĄ PRĘDKOŚCIĄ WIATRU WIĘKSZĄ NIŻ 10M/S. WYKRES PRZEDSTAWIA MEDIANĘ (ŚRODEK PUDEŁKA), KWARTYLE (DOLNA I GÓRNA GRANICA PUDEŁKA), OBSERWACJE ODSTAJĄCE (ZAZNACZANE KROPKAMI) ORAZ MAKSYMUM I MINIMUM PO USUNIĘCIU OBSERWACJI ODSTAJĄCYCH.

TABELA 54 OSZACOWANIA LICZBY DNI NAJDŁUŻSZEGO OKRESU W ROKU Z MAKSYMALNĄ DOBOWĄ PRĘDKOŚCIĄ WIATRU WIĘKSZĄ NIŻ 10M/S. WARTOŚCI ŚREDNIE DLA 30-LECIA 1971-2000 NA PODSTAWIE WIĄZKI SUROWYCH SYMULACJI DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

Dane surowe [liczba dni]	
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	2.1

EC-EARTH-CCLM4-8-17	2.6
EC-EARTH-HIRHAM5	2.8
EC-EARTH-RACMO22E	4.6
EC-EARTH-RCA4	2.1
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	2.6
MPI-ESM-LR-RCA4	1.7
MPI-ESM-LR-REMO2009	2.7
IPSL-WRF331F	5.5
CNRM-CM5-RCA4	1.6
Średnia z wiązki	2.83
Wartość maksymalna z wiązki	5.50
Wartość minimalna z wiązki	1.60

Na podstawie wyznaczonych wartości indeksu dla trzech okresów 30 letnich obliczono zmiany wartości średniej z wielolecia. Wyniki obliczeń dla dziesięciu modeli klimatycznych oraz średnia, wartość minimalna i maksymalna z wiązki symulacji przedstawione są w Tabeli 55.

TABELA 55 ZMIANY LICZBY DNI Z WIATREM MAX WIĘKSZYM NIŻ 10M/S NA PODSTAWIE WYNIKÓW Z DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

	Dane surowe			
	clim1-ref		clim2-ref	
	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	-0.1	0.6	0.2	0.3
EC-EARTH-CCLM4-8-17	-0.1	0.0	0.1	0.2
EC-EARTH-HIRHAM5	0.0	0.0	-0.3	0.1
EC-EARTH-RACMO22E	-0.9	-0.8	-1.0	-1.5
EC-EARTH-RCA4	-0.3	-0.1	-0.1	-0.6
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	0.4	0.2	0.1	0.5
MPI-ESM-LR-RCA4	0.1	0.0	0.0	0.3
MPI-ESM-LR-REMO2009	0.0	0.0	-0.2	0.3
IPSL-WRF331F	-0.3	-0.3	-0.5	-0.5
CNRM-CM5-RCA4	-0.1	0.3	0.0	0.0

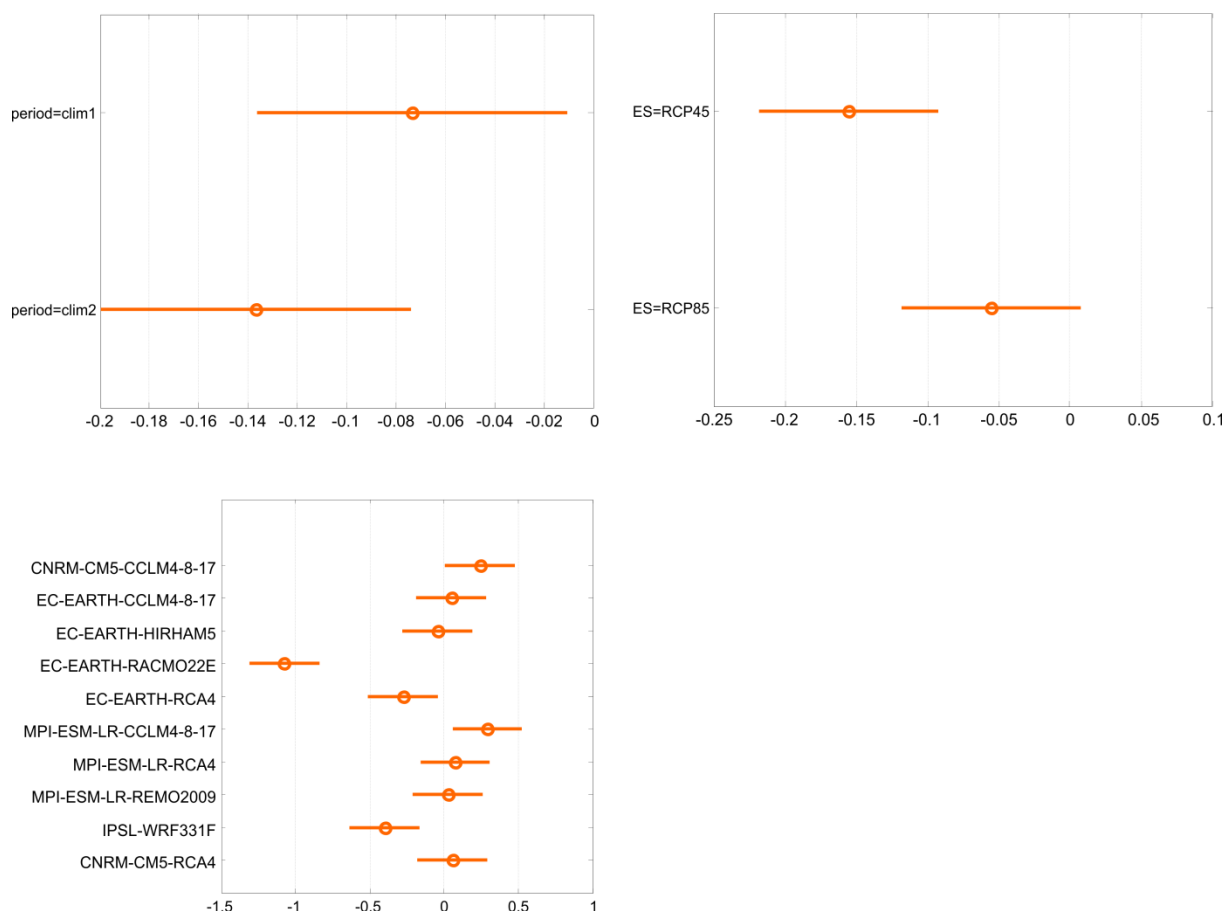
Średnia z wiązki	-0.1	0.0	-0.2	-0.1
Wartość minimalna z wiązki	-0.9	-0.8	-1.0	-1.5
Wartość maksymalna z wiązki	0.4	0.6	0.2	0.5

W kolejnym kroku dokonano oszacowania rozrzutu w otrzymanych wynikach ze względu na różnice pomiędzy analizowanymi okresami czasu (clim1 2021-2050 i clim2 2071-2100), scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5 oraz modelami klimatycznymi. Wyniki opracowania są przedstawione na Rysunku 58.

Na wykresie w górnym rzędzie po lewej stronie przedstawiono oszacowania zmian dla dwóch przyszłych okresów clim1 (2021-2050) i clim2 (2071-2100) w stosunku do okresu referencyjnego (1971-2000). Otrzymane wyniki wskazują na nieznaczne skrócenie okresu z maksymalną dobową prędkością wiatru większą niż 10m/s w ciągu roku kalendarzowego o 0.08 i 0.14 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100. Różnice pomiędzy okresami są nie istotne statystycznie.

Porównanie zmian liczby dni pomiędzy scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5 (wykres w górnym rzędzie po prawej stronie) wskazuje, że większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP4.5 (-0.15) niż dla RCP8.5 (-0.05). Różnice w estymowanych zmianach nie są statystycznie istotne.

Porównanie szacowanych zmian pomiędzy dziesięcioma modelami klimatycznymi pokazane jest na wykresie w dolnym rzędzie. Oszacowania te różnią się pomiędzy modelami. Część modeli (EC-EARTH-RACMO22E, IPSL-WRF331F, EC-EARTH-RCA4) wskazuje na skrócenie okresu z maksymalną dobową prędkością wiatru większą niż 10m/s. Wyniki symulacji pozostałych modeli wskazują na wzrost liczby dni z maksymalną dobową prędkością wiatru większą niż 10m/s



RYSUNEK 58 ANOVA ZMIANA LICZBY DNI NAJDŁUŻSZEGO OKRESU W CIĄGU ROKU KALENDARZOWEGO Z MAKSYMALNĄ DOBOWĄ PRĘDKOŚCIĄ WIATRU WIĘKSZĄ NIŻ 10m/s. ANALIZA ROZRZUTU OTRZYMANYCH WYNIKÓW W ZALEŻNOŚCI OD ANALIZOWANEGO OKRESU, SCENARIUSZA EMISJI ORAZ MODELU KLIMATYCZNEGO

PODSUMOWANIE

Oszacowania wyników dziesięciu modeli klimatycznych odnośnie zmian długości najdłuższego okresu w roku z maksymalną dobową prędkością wiatru wskazują na nieznaczne skrócenie okresu z maksymalną dobową prędkością wiatru większą niż 10m/s w ciągu roku kalendarzowego o 0.08 i 0.14 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100.

Porównanie zmian liczby dni pomiędzy scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5 wskazuje, że większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP4.5 (-0.15) niż dla RCP8.5 (-0.05).

Porównanie szacowanych zmian pomiędzy dziesięcioma modelami klimatycznymi wskazuje na znaczne różnice pomiędzy modelami. Część modeli (EC-EARTH-RACMO22E, IPSL-WRF331F, EC-EARTH-RCA4) wskazuje na skrócenie okresu z maksymalną dobową prędkością wiatru większą niż 10m/s. Wyniki symulacji pozostałych modeli wskazują na wydłużenie okresu z maksymalną dobową prędkością wiatru większą niż 10m/s

Liczba dni z wiatrem max > 15 m/s (wskaźnik stosowany w ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020)

Kolejnym ze wskaźników dotyczącym prędkości wiatru jest liczba dni w ciągu roku kalendarzowego z maksymalną dobową prędkością wiatru większą niż 15m/s. Wartości tego wskaźnika zostały wyznaczone na podstawie symulacji dziesięciu modeli klimatycznych dla trzech okresów: 1971-2000, 2021-2050 i 2071-2100. W opracowaniach bazujących na maksymalnej dobowej prędkości wiatru wykorzystano tylko dane surowe z modeli klimatycznych ze względu na brak odpowiednich danych obserwacyjnych. Na podstawie wyznaczonych wartości indeksu dla trzech okresów 30 letnich obliczono zmiany wartości średniej z wielolecia. Wyniki obliczeń dla dziesięciu modeli klimatycznych oraz średnia, wartość minimalna i maksymalna z wiązki symulacji przedstawione są w Tabeli 57.

TABELA 56 OSZACOWANIA LICZBY DNI Z WIATREM MAX >15 M/S W CIĄGU ROKU KALENDARZOWEGO. SUMA WARTOŚCI DLA 30-LECIA 1971-2000 NA PODSTAWIE WIĄZKI SUROWYCH ORAZ SKORYGOWANYCH SYMULACJI DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

	Ile razy w 30 leciu	Średnio ile razy w roku
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	1.0	0.0333
EC-EARTH-CCLM4-8-17	6.0	0.2000
EC-EARTH-HIRHAM5	11.0	0.3667
EC-EARTH-RACMO22E	16.0	0.5333
EC-EARTH-RCA4	0.0	0.0000
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	13.0	0.4333
MPI-ESM-LR-RCA4	0.0	0.0000
MPI-ESM-LR-REMO2009	9.0	0.3000
IPSL-WRF331F	41.0	1.3667
CNRM-CM5-RCA4	0.0	0.0000
Średnia z wiązki	9.7	0.3233
Wartość maksymalna z wiązki	41.0	1.3667
Wartość minimalna z wiązki	0.0	0.0000

TABELA 57 ZMIANY LICZBY DNI Z WIATREM MAX WIĘKSZYM NIŻ 15M/S NA PODSTAWIE WYNIKÓW Z DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

	Dane surowe			
	clim1-ref		clim2-ref	
	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	0.1000	0.2333	0.2000	0.0667
EC-EARTH-CCLM4-8-17	0.0333	-0.0333	0.1333	0.1000

EC-EARTH-HIRHAM5	0.4000	0.5667	0.1333	0.0667
EC-EARTH-RACMO22E	-0.2000	-0.2000	-0.2333	-0.4333
EC-EARTH-RCA4	0.0000	0.0667	0.0000	0.0000
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	-0.1333	-0.1333	-0.1333	0.0333
MPI-ESM-LR-RCA4	0.0000	0.0000	0.0333	0.0333
MPI-ESM-LR-REMO2009	0.0000	0.0000	-0.1333	0.1667
IPSL-WRF331F	-0.3667	-0.3667	0.3667	0.3667
CNRM-CM5-RCA4	0.0000	0.0667	0.0667	0.0000
Średnia z wiązki	-0.0167	0.0200	0.0433	0.0400
Wartość minimalna z wiązki	0.4000	0.5667	0.3667	0.3667
Wartość maksymalna z wiązki	-0.3667	-0.3667	-0.2333	-0.4333

PODSUMOWANIE

Oszacowania zmian liczby dni z maksymalną dobową prędkością wiatru większą niż 15m/s wskazują na nieznaczny wzrost dla dwóch przyszłych okresów w stosunku do okresu referencyjnego za wyjątkiem pierwszego okresu zmienionego klimatu dla scenariusz RCP4.5.

Najdłuższy okres z wiatrem max > 15 m/s (wskaźnik stosowany w ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020)

Kolejnym ze wskaźników dotyczącym prędkości wiatru jest liczba dni najdłuższego okresu w ciągu roku kalendarzowego z maksymalną dobową prędkością wiatru większą niż 15m/s. Wartości tego wskaźnika zostały wyznaczone na podstawie symulacji dziesięciu modeli klimatycznych dla trzech okresów: 1971-2000, 2021-2050 i 2071-2100. W opracowaniach bazujących na maksymalnej dobowej prędkości wiatru wykorzystano tylko dane surowe z modeli klimatycznych ze względu na brak odpowiednich danych obserwacyjnych. Na podstawie wyznaczonych wartości indeksu dla trzech okresów 30 letnich obliczono zmiany wartości średniej z wielolecia. Wyniki obliczeń dla dziesięciu modeli klimatycznych oraz średnia, wartość minimalna i maksymalna z wiązki symulacji przedstawione są w Tabeli 59.

TABELA 58 OSZACOWANIA ŚREDNIEJ LICZBY DNI NAJDŁUŻSZEGO OKRESU Z WIATREM MAKSYMALNYM WIĘKSZYM NIŻ 15M/S. WARTOŚCI ŚREDNIE DLA 30-LECIA 1971-2000 NA PODSTAWIE WIĄZKI SUROWYCH ORAZ SKORYGOWANYCH SYMULACJI DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

Dane surowe [liczba dni]	
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	0.0333
EC-EARTH-CCLM4-8-17	0.1667
EC-EARTH-HIRHAM5	0.3333
EC-EARTH-RACMO22E	0.4333
EC-EARTH-RCA4	0.0000
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	0.3667
MPI-ESM-LR-RCA4	0.0000
MPI-ESM-LR-REMO2009	0.2667
IPSL-WRF331F	0.8667
CNRM-CM5-RCA4	0.0000
Średnia z wiązki	0.2467
Wartość maksymalna z wiązki	0.8667
Wartość minimalna z wiązki	0.0000

TABELA 59 ZMIANY CZASU TRWANIA NAJDŁUŻSZEGO OKRESU W CIĄGU ROKU Z WIATREM MAX WIĘKSZYM NIŻ 15M/S NA PODSTAWIE WYNIKÓW Z DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

Dane surowe				
	clim1-ref		clim2-ref	
	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	0.1000	0.2000	0.1667	0.0667

EC-EARTH-CCLM4-8-17	0.0667	-0.0667	0.1667	0.1000
EC-EARTH-HIRHAM5	0.2000	0.3000	0.0333	0.0000
EC-EARTH-RACMO22E	-0.1667	-0.1333	-0.2000	-0.3333
EC-EARTH-RCA4	0.0000	0.0667	0.0000	0.0000
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	-0.1000	-0.1333	-0.1667	0.0000
MPI-ESM-LR-RCA4	0.0000	0.0000	0.0333	0.0333
MPI-ESM-LR-REMO2009	-0.1333	-0.0333	-0.1000	0.1000
IPSL-WRF331F	-0.2333	-0.2333	0.0667	0.0667
CNRM-CM5-RCA4	0.0000	0.0667	0.0667	0.0000
Średnia z wiązki	-0.0267	0.0033	0.0067	0.0033
Wartość minimalna z wiązki	0.2000	0.3000	0.1667	0.1000
Wartość maksymalna z wiązki	-0.2333	-0.2333	-0.2000	-0.3333

PODSUMOWANIE

Oszacowania zmian najdłuższego okresu z maksymalną dobową prędkością wiatru większą niż 15m/s wskazują na nieznaczne wydłużenie czasu trwania dla dwóch przyszłych okresów w stosunku do okresu referencyjnego. Wyniki oszacowania dla pierwszego okresu zmienionego klimatu i scenariusza emisji RCP4.5 wskazują na nieznaczne skrócenie tego okresu.

Liczba dni z wiatrem max > 20 m/s (wskaźnik stosowany w ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020)

Kolejnym ze wskaźników dotyczącym prędkości wiatru jest liczba dni w ciągu roku kalendarzowego z maksymalną dobową prędkością wiatru większą niż 20m/s. Wartości tego wskaźnika zostały wyznaczone na podstawie symulacji dziesięciu modeli klimatycznych dla trzech okresów: 1971-2000, 2021-2050 i 2071-2100. W opracowaniach bazujących na maksymalnej dobowej prędkości wiatru wykorzystano tylko dane surowe z modeli klimatycznych ze względu na brak odpowiednich danych obserwacyjnych. Na podstawie wyznaczonych wartości indeksu dla trzech okresów 30 letnich obliczono zmiany wartości średniej z wielolecia. Wyniki obliczeń dla dziesięciu modeli klimatycznych oraz średnia, wartość minimalna i maksymalna z wiązki symulacji przedstawione są w Tabeli 61.

TABELA 60 OSZACOWANIA LICZBY DNI Z MAKSYMALNĄ DOBOWĄ PRĘDKOŚCIĄ WIATRU WIĘKSZĄ NIŻ 20M/S. WARTOŚCI ŚREDNIE DLA 30-LECIA 1971-2000 NA PODSTAWIE WIĄZKI SUROWYCH ORAZ SKORYGOWANYCH SYMULACJI DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

	Średnio ile razy w ciągu roku kalendarzowego	Ile razy w ciągu trzydziestolecia
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	0.0000	0
EC-EARTH-CCLM4-8-17	0.0000	0
EC-EARTH-HIRHAM5	0.0333	1
EC-EARTH-RACMO22E	0.0000	0
EC-EARTH-RCA4	0.0000	0
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	0.0000	0
MPI-ESM-LR-RCA4	0.0000	0
MPI-ESM-LR-REMO2009	0.0000	0
IPSL-WRF331F	0.0000	0
CNRM-CM5-RCA4	0.0000	0
Średnia z wiązki	0.0033	0.1
Wartość maksymalna z wiązki	0.0333	1
Wartość minimalna z wiązki	0.0000	0

TABELA 61 ZMIANY LICZBY DNI Z WIATREM MAX WIĘKSZYM NIŻ 20M/S NA PODSTAWIE WYNIKÓW Z DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

Dane surowe				
	clim1-ref		clim2-ref	
	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85
CNRM-CM5-CCLM4-8-17	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

EC-EARTH-CCLM4-8-17	0.0000	0.0000	0.0333	0.0000
EC-EARTH-HIRHAM5	-0.0333	-0.0333	-0.0333	-0.0333
EC-EARTH-RACMO22E	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
EC-EARTH-RCA4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
MPI-ESM-LR-RCA4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
MPI-ESM-LR-REMO2009	0.0000	0.0000	0.0000	0.0333
IPSL-WRF331F	0.0000	0.0000	0.0333	0.0333
CNRM-CM5-RCA4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Średnia z wiązki	-0.0033	-0.0033	0.0033	0.0033
Wartość minimalna z wiązki	0.0000	0.0000	0.0333	0.0333
Wartość maksymalna z wiązki	-0.0333	-0.0333	-0.0333	-0.0333

PODSUMOWANIE

Oszacowania zmian liczby dni z maksymalną dobową prędkością wiatru większą niż 20m/s wskazują na nieznaczny spadek liczby dni w pierwszym okresie zmienionego klimatu oraz nieznaczny wzrost liczby dni dla drugiego okresu zmienionego klimatu w stosunku do okresu referencyjnego.

Najdłuższy okres z wiatrem max > 20 m/s (wskaźnik stosowany w ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020)

Kolejnym ze wskaźników dotyczącym prędkości wiatru jest liczba dni najdłuższego okresu w ciągu roku kalendarzowego z maksymalną dobową prędkością wiatru większą niż 20m/s. Wartości tego wskaźnika zostały wyznaczone na podstawie symulacji dziesięciu modeli klimatycznych dla trzech okresów: 1971-2000, 2021-2050 i 2071-2100. W opracowaniach bazujących na maksymalnej dobowej prędkości wiatru wykorzystano tylko dane surowe z modeli klimatycznych ze względu na brak odpowiednich danych obserwacyjnych. Na podstawie wyznaczonych wartości indeksu dla trzech okresów 30 letnich obliczono zmiany wartości średniej z wielolecia. Wyniki obliczeń dla dziesięciu modeli klimatycznych oraz średnia, wartość minimalna i maksymalna z wiązki symulacji przedstawione są w Tabeli 63.

TABELA 62 OSZACOWANIA DŁUGOŚCI NAJDŁUŻSZEGO OKRESU W CIĄGU ROKU KALENDARZOWEGO Z MAKSYMALNĄ DOBOWĄ PRĘDKOŚCIĄ WIATRU WIĘKSZĄ NIŻ 20M/S. WARTOŚCI ŚREDNIE DLA 30-LECIA 1971-2000 NA PODSTAWIE WIĄZKI SUROWYCH ORAZ SKORYGOWANYCH SYMULACJI DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

Dane surowe	
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	0.0000
EC-EARTH-CCLM4-8-17	0.0000
EC-EARTH-HIRHAM5	0.0333
EC-EARTH-RACMO22E	0.0000
EC-EARTH-RCA4	0.0000
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	0.0000
MPI-ESM-LR-RCA4	0.0000
MPI-ESM-LR-REMO2009	0.0000
IPSL-WRF331F	0.0000
CNRM-CM5-RCA4	0.0000
Średnia z wiązki	0.0033
Wartość maksymalna z wiązki	0.0333
Wartość minimalna z wiązki	0.0000

TABELA 63 ZMIANY LICZBY DNI W NAJDŁUŻSZYM OKRESIE Z WIATREM MAX WIĘKSZYM NIŻ 20M/S NA PODSTAWIE WYNIKÓW Z DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

Dane surowe				
clim1-ref		clim2-ref		
rcp45	rcp85	rcp45	rcp85	
CNRM-CM5-CCLM4-8-17	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

EC-EARTH-CCLM4-8-17	0.0000	0.0000	0.0333	0.0000
EC-EARTH-HIRHAM5	-0.0333	-0.0333	-0.0333	-0.0333
EC-EARTH-RACMO22E	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
EC-EARTH-RCA4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
MPI-ESM-LR-RCA4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
MPI-ESM-LR-REMO2009	0.0000	0.0000	0.0000	0.0333
IPSL-WRF331F	0.0000	0.0000	0.0333	0.0333
CNRM-CM5-RCA4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Średnia z wiązki	-0.0033	-0.0033	0.0033	0.0033
Wartość minimalna z wiązki	0.0000	0.0000	0.0333	0.0333
Wartość maksymalna z wiązki	-0.0333	-0.0333	-0.0333	-0.0333

PODSUMOWANIE

Oszacowania zmian najdłuższego okresu z maksymalną dobową prędkością wiatru większą niż 20m/s wskazują na nieznaczny spadek dla pierwszego okresu zmienionego klimatu oraz nieznaczny wzrost dla drugiego okresu zmienionego klimatu w stosunku do okresu referencyjnego.

Przeciętne wartości wskaźnika SPI dla poszczególnych okresów

W opracowaniach dotyczących wpływu zmian klimatu na susze korzystamy z Standaryzowanego Wskaźnika Opadu (ang. Standardized Precipitation Index, SPI) opracowanego przez McKee et al. (1993) oraz powszechnie stosowanego zarówno w opracowaniach naukowych jak też operacyjnie (między innymi Osuch et al., 2016a; Meresa et al., 2016). SPI jest stosunkowo prostym indeksem bazującym na miesięcznych sumach opadu, który kwantyfikuje deficyt opadu w wybranym horyzoncie czasowym. Zgodnie z metodą, wartości SPI są wyznaczone poprzez aproksymowane poprzez rozkład gamma a następnie standaryzowane (transformowane do rozkładu normalnego o średniej równej zero i wariancji równej 1. Wyznaczone w ten sposób wartości charakteryzują deficyty opadu. Wartości ujemne wskazują na warunki uwilgotnienia niższe niż mediana sum opadów w analizowanym wieloleciu. Pozytywne wartości SPI wskazują na opady wyższe niż mediana z wielolecia. W ocenie suszy meteorologicznej stosuje się różne progi wartości SPI. W planowanych opracowaniach będziemy posługiwali się skalą zaproponowaną przez Agnew (2000) oraz Łabędzki (2007). Zgodnie z tą skalą warunki posuszne zaczynają się SPI = -1. Dalsza kwantyfikacja suszy meteorologicznej przedstawiona jest w Tabeli 4.

TABELA 64 KLASYFIKACJA SUSZY METEOROLOGICZNEJ PODSTAWIE SPI.

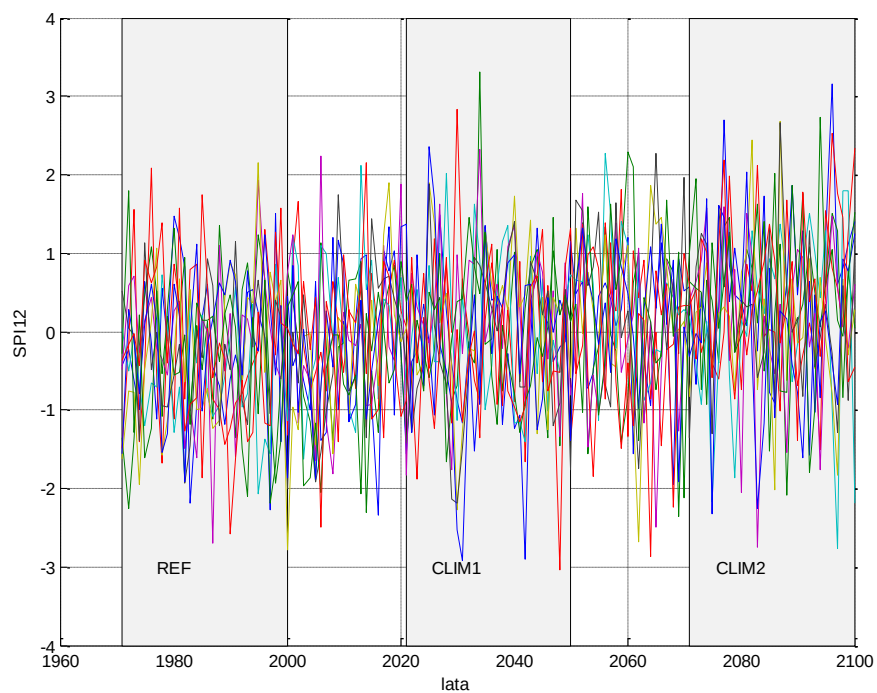
Kategoria suszy meteorologicznej	Wartość SPI
Umiarkowanie suchy	-1.49 to -1.00
Bardzo suche	-1.99 to -1.50
Ekstremalnie suche	≤ -2.00

Analizę suszy meteorologicznej przeprowadza się dla różnych skal czasowych (różnych czasów agregacji), które odzwierciedlają wpływ niedoborów opadu na krótkoterminowe dostawy wody (niezbędne dla rolnictwa) jak również w dłuższych okresach, które mają wpływ na zasoby wodne.

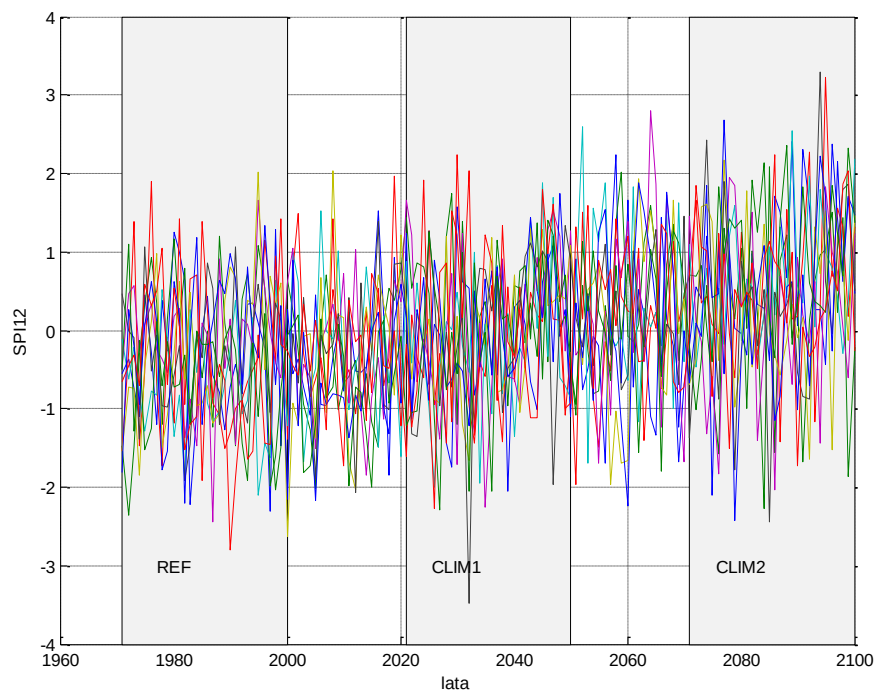
W raporcie przedstawiono oszacowania przeciętnych wartości standaryzowanego wskaźnika opadu dla trzech analizowanych trzydziestolecia. Wartości wskaźnika SPI wyznaczano dla: rocznych sum opadu (SPI12), półroczna ciepłego (maj-październik), kalendarzowego lata (czerwiec-sierpień) oraz jesieni (wrzesień-listopad). Wyniki dla kolejnych skal czasowych przedstawione są w kolejnych podrozdziałach.

SPI12

W pierwszym kroku analizy na podstawie rocznych sum opadu w układzie roku kalendarzowego z okresu 1971-2100 wyznaczono wartości SPI12. Analizę przeprowadzono niezależnie dla dwóch scenariuszy emisji RCP 4.5 i RCP 8.5. Wyniki w postaci przebiegów wyznaczonych wartości SPI 12 przedstawione są na Rysunkach 59 i 60. Widoczny jest wzrost wartości SPI12 z czasem.

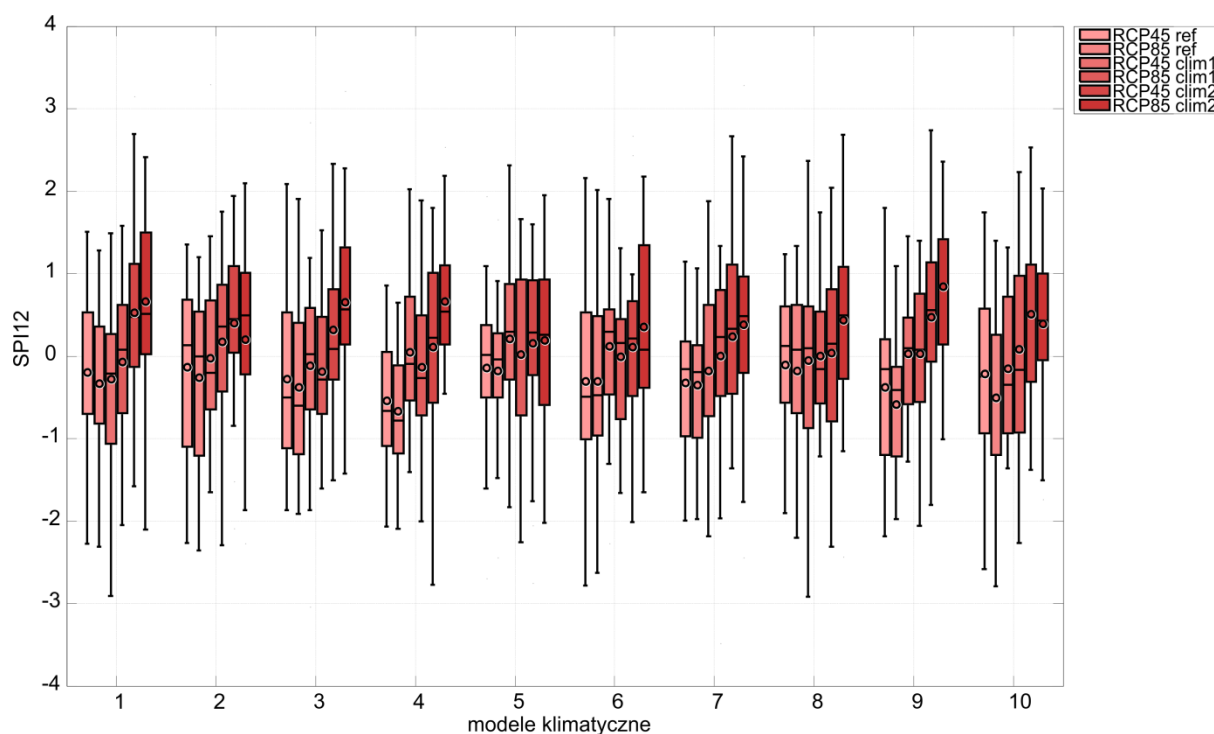


RYSUNEK 59 OSZACOWANIA SPI12 NA PODSTAWIE WYNIKÓW DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH DLA SCENARIUSZA EMISJI RCP4.5



RYSUNEK 60 OSZACOWANIA SPI12 NA PODSTAWIE WYNIKÓW DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH DLA SCENARIUSZA EMISJI RCP4.5

W kolejnym kroku analizy, dokonano porównania wyznaczonych wartości SPI12 w trzech analizowanych okresach: okresie referencyjnym 1971-2000, bliskiej przyszłości 2021-2050 oraz dalekiej przyszłości 2071-2100. Wyniki porównania przedstawione są w postaci wykresu pudełkowego zamieszczonego na Rysunku 61. Warunki średnie dla każdego okresu oraz scenariusza emisji przedstawione są w postaci kółka. Widoczne jest, że oszacowania dla bliższej i dalszej przyszłości są większe niż dla okresu referencyjnego. Oszacowanie dla poszczególnych modeli klimatycznych charakteryzują się znacznymi różnicami.



RYСУNEK 61 OSZACOWANIA WARTOŚCI SPI12 SYMUŁOWANYCH PRZEZ DZIESIĘĆ MODELI KLIMATYCZNYCH W TRZECH ANALIZOWANYCH OKRESACH.

Oszacowania średniej z trzydziestolecia wartości SPI12 dla trzech analizowanych okresów oraz dwóch scenariuszy emisji przedstawione są w Tabeli 65. Oszacowania przedstawione są dla dziesięciu analizowanych modeli klimatycznych oraz trzech charakterystyk z wiązki modeli (średniej, wartości minimalnej oraz wartości maksymalnej). Oszacowania dla okresu referencyjnego dla wszystkich modeli są negatywne. Wyniki dla dwóch przyszłych okresów wskazują na wzrost wartości SPI12, czyli zwiększenie rocznych sum opadu w stosunku do okresu referencyjnego.

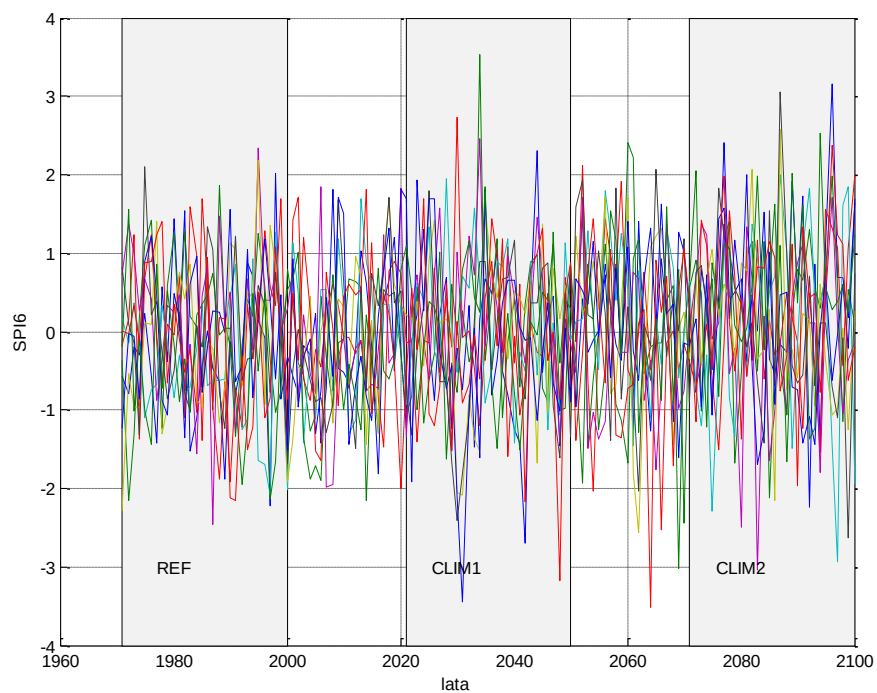
TABELA 65 OSZACOWANIA ŚREDNIEJ WARUNKÓW (SPI12) W TRZECH ANALIZOWANYCH OKRESACH. WYNIKI DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH DLA DWÓCH SCENARIUSZY EMISJI (RCP4.5 I RCP8.5).

	REF		CLIM1		CLIM2	
	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	-0.19	-0.33	-0.28	-0.06	0.53	0.66
EC-EARTH-CCLM4-8-17	-0.13	-0.26	-0.02	0.18	0.41	0.20

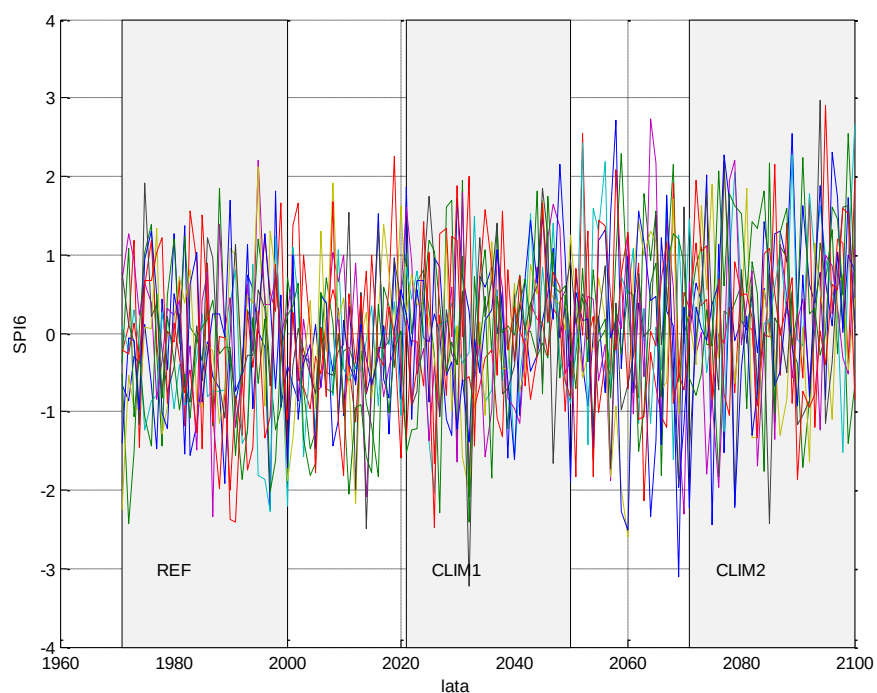
EC-EARTH-HIRHAM5	-0.28	-0.38	-0.11	-0.18	0.32	0.66
EC-EARTH-RACMO22E	-0.54	-0.66	0.05	-0.13	0.11	0.67
EC-EARTH-RCA4	-0.14	-0.18	0.22	0.03	0.16	0.20
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	-0.30	-0.30	0.12	-0.01	0.12	0.35
MPI-ESM-LR-RCA4	-0.32	-0.35	-0.18	0.01	0.24	0.39
MPI-ESM-LR-REMO2009	-0.11	-0.18	-0.05	0.01	0.04	0.44
IPSL-WRF331F	-0.38	-0.58	0.03	0.03	0.48	0.85
CNRM-CM5-RCA4	-0.22	-0.50	-0.15	0.09	0.51	0.40
Średnia z wiązki	-0.26	-0.37	-0.04	-0.01	0.29	0.48
Wartość minimalna z wiązki	-0.54	-0.66	-0.28	-0.18	0.04	0.20
Wartość maksymalna z wiązki	-0.11	-0.18	0.22	0.18	0.53	0.85

SPI6

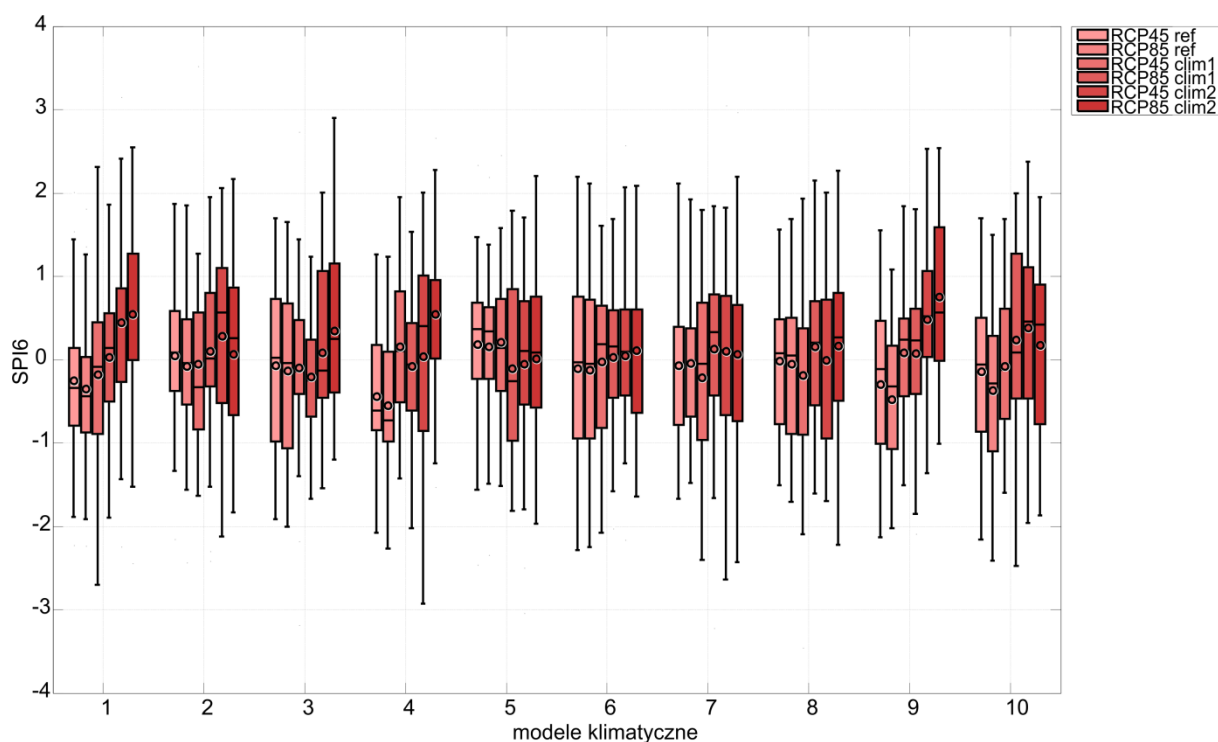
Wartości SPI6 wyznaczono na podstawie sum opadu od kwietnia do października z okresu 1971-2100. Analizę przeprowadzono niezależnie dla dwóch scenariuszy emisji RCP 4.5 i RCP 8.5. Wyniki w postaci przebiegów wyznaczonych wartości SPI 6 przedstawione są na Rysunkach 62 i 63. Widoczny jest wzrost wartości SPI6 z czasem.



RYSUNEK 62 OSZACOWANIA SPI6 NA PODSTAWIE WYNIKÓW DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH DLA SCENARIUSZA EMISJI RCP4.5



RYSUNEK 63 OSZACOWANIA SPI6 NA PODSTAWIE WYNIKÓW DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH DLA SCENARIUSZA EMISJI RCP8.5



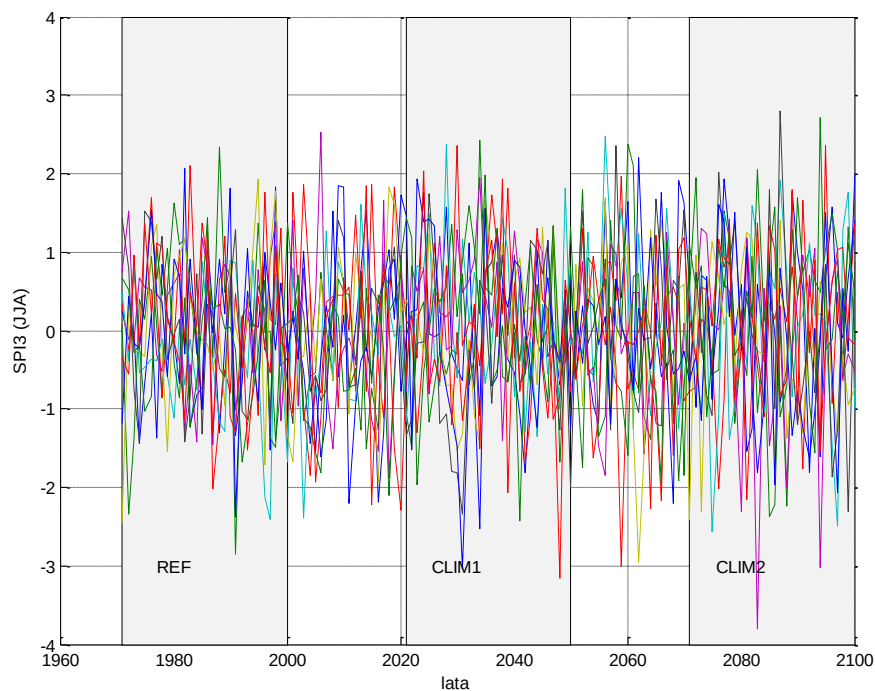
RYСУNEK 64 OSZACOWANIA WARTOŚCI SPI6 SYMULOWANYCH PRZEZ DZIESIĘĆ MODELÍ KLIMATYCZNYCH W TRZECH ANALIZOWANYCH OKRESACH.

TABELA 66 OSZACOWANIA ŚREDNICH WARUNKÓW (SPI6) W TRZECH ANALIZOWANYCH OKRESACH. WYNIKI DZIESIECIU MODELÍ KLIMATYCZNYCH DLA DWÓCH SCENARIUSZY EMISJI (RCP4.5 I RCP8.5).

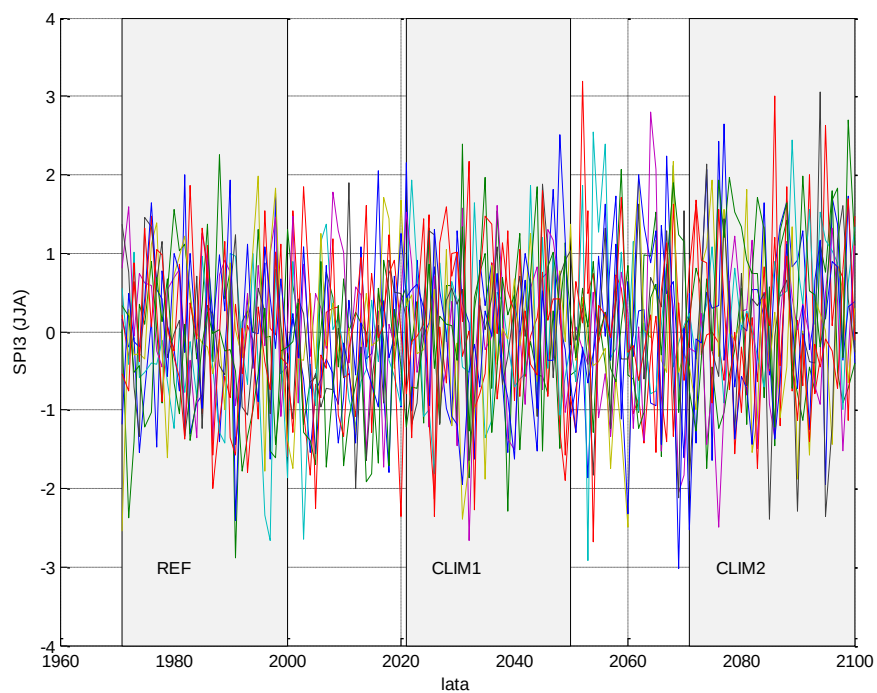
	REF		CLIM1		CLIM2	
	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85
CNRM-CM5-CCLM4-8-17	-0.25	-0.35	-0.18	0.04	0.44	0.54
EC-EARTH-CCLM4-8-17	0.05	-0.08	-0.05	0.10	0.28	0.06
EC-EARTH-HIRHAM5	-0.07	-0.13	-0.09	-0.20	0.09	0.35
EC-EARTH-RACMO22E	-0.44	-0.55	0.15	-0.08	0.04	0.55
EC-EARTH-RCA4	0.18	0.16	0.21	-0.10	-0.05	0.02
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	-0.11	-0.13	-0.02	0.04	0.05	0.11
MPI-ESM-LR-RCA4	-0.07	-0.04	-0.21	0.13	0.10	0.07
MPI-ESM-LR-REMO2009	-0.01	-0.05	-0.18	0.16	-0.01	0.17
IPSL-WRF331F	-0.30	-0.47	0.09	0.07	0.48	0.75
CNRM-CM5-RCA4	-0.14	-0.37	-0.08	0.24	0.38	0.18
Średnia z wiązki	-0.11	-0.20	-0.04	0.04	0.18	0.28
Wartość minimalna z wiązki	-0.44	-0.55	-0.21	-0.20	-0.05	0.02
Wartość maksymalna z wiązki	0.18	0.16	0.21	0.24	0.48	0.75

SPI3 (JJA)

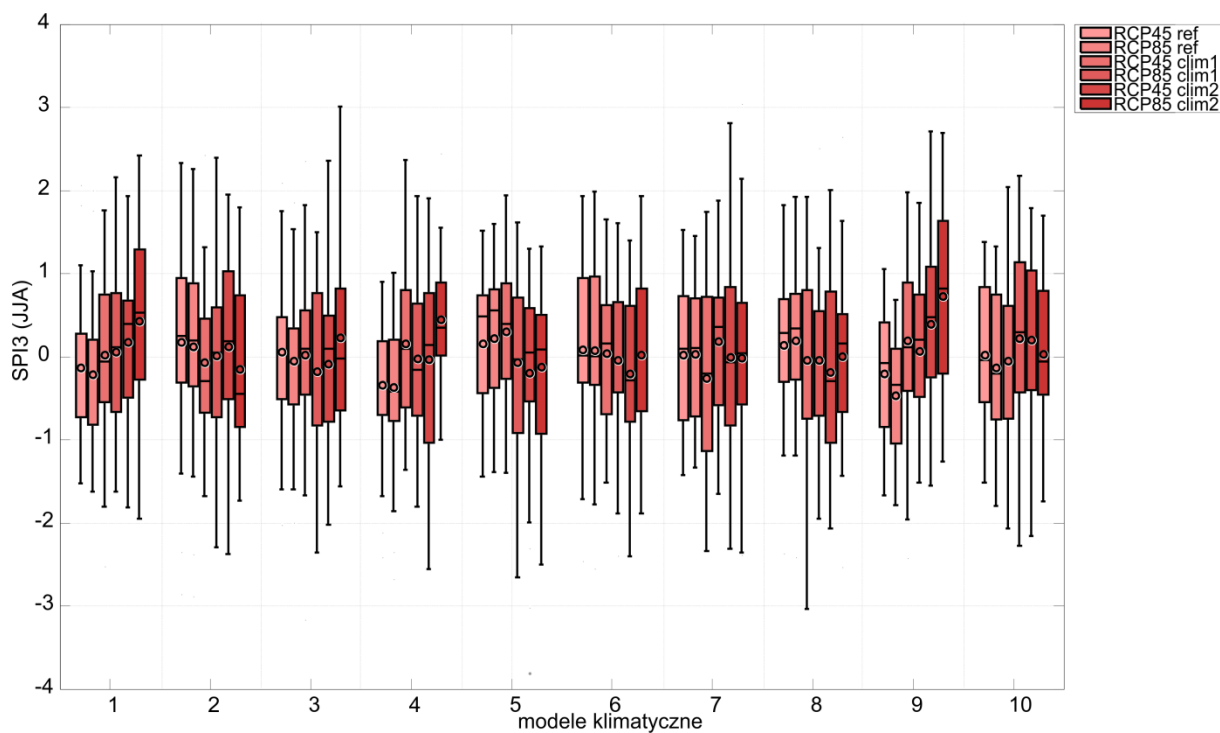
Wartości SPI3 (JJA) wyznaczono na podstawie sum opadu od czerwca do sierpnia z okresu 1971-2100. Analizę przeprowadzono niezależnie dla dwóch scenariuszy emisji RCP 4.5 i RCP 8.5. Wyniki w postaci przebiegów wyznaczonych wartości SPI3(JJA) przedstawione są na Rysunkach 65 i 66.



RYСУNEK 65 OSZACOWANIA SPI3 (JJA) NA PODSTAWIE WYNIKÓW DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH DLA SCENARIUSZA EMISJI RCP4.5



RYSUNEK 66 OSZACOWANIA SPI3 (JJA) NA PODSTAWIE WYNIKÓW DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH DLA SCENARIUSZA EMISJI RCP4.5



RYSUNEK 67 OSZACOWANIA WARTOŚCI SPI3(JJA) SYMULOWANYCH PRZEZ DZIESIĘĆ MODELI KLIMATYCZNYCH W TRZECH ANALIZOWANYCH OKRESACH.

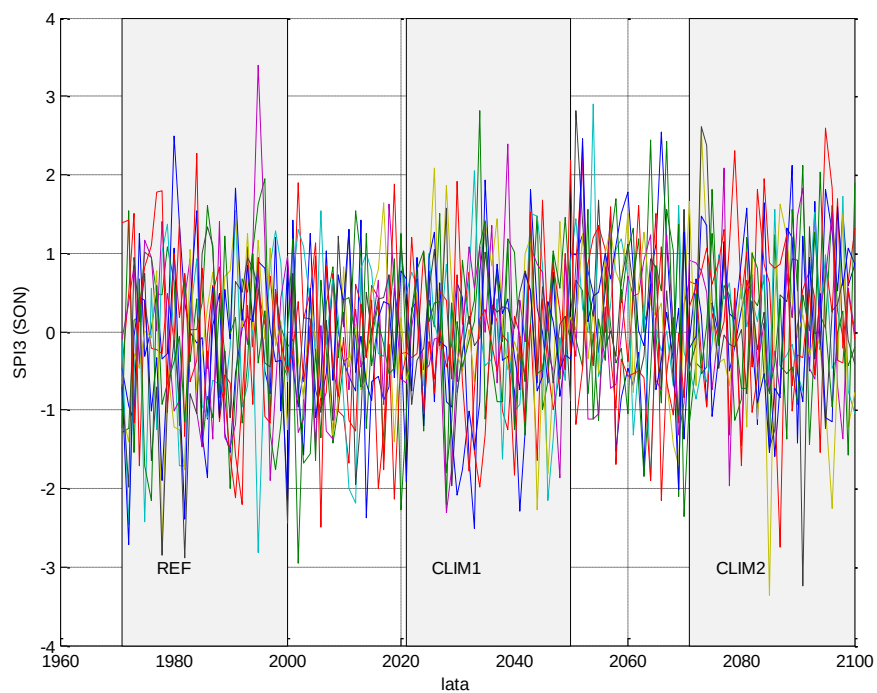
TABELA 67 OSZACOWANIA ŚREDNICH WARUNKÓW (SPI3 JJA) W TRZECH ANALIZOWANYCH OKRESACH. WYNIKI DZIESIECIU MODELI KLIMATYCZNYCH DLA DWÓCH SCENARIUSZY EMISJI (RCP4.5 i RCP8.5).

WZJESTIECIU MODELI KLIMATYCZNYCH DLA DWÓCH SCENARIUSZY EMISJI (RCP4.5 I RCP6.5).

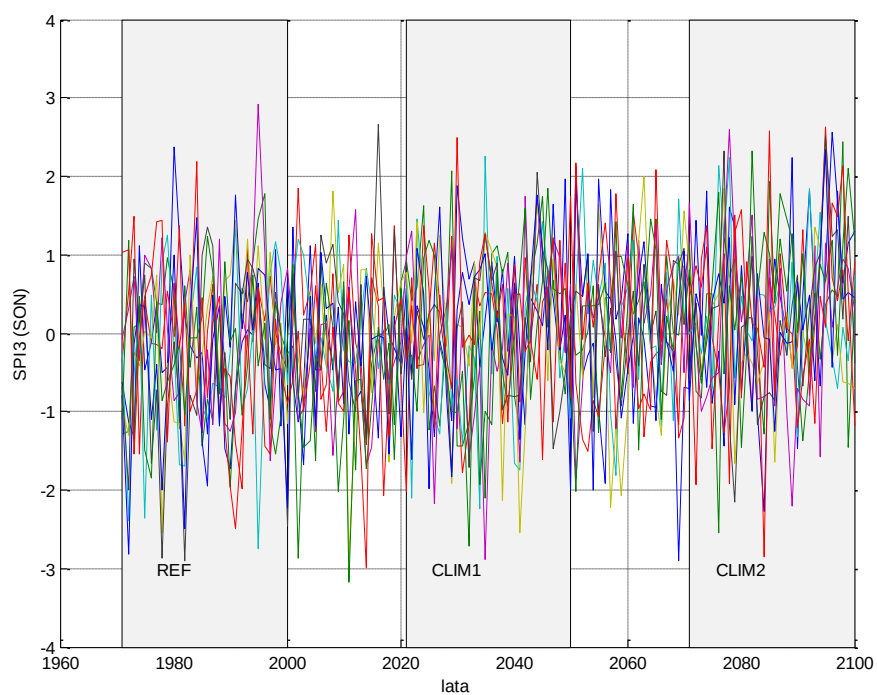
	REF	CLIM1		CLIM2		
	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	-0.13	-0.21	0.02	0.06	0.17	0.43
EC-EARTH-CCLM4-8-17	0.17	0.12	-0.06	0.01	0.13	-0.15
EC-EARTH-HIRHAM5	0.06	-0.05	0.02	-0.17	-0.08	0.23
EC-EARTH-RACMO22E	-0.34	-0.37	0.16	-0.02	-0.03	0.45
EC-EARTH-RCA4	0.16	0.22	0.30	-0.07	-0.20	-0.12
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	0.08	0.07	0.04	-0.04	-0.20	0.02
MPI-ESM-LR-RCA4	0.02	0.03	-0.26	0.18	-0.01	-0.01
MPI-ESM-LR-REMO2009	0.14	0.19	-0.04	-0.04	-0.19	0.00
IPSL-WRF331F	-0.21	-0.46	0.19	0.07	0.40	0.73
CNRM-CM5-RCA4	0.03	-0.13	-0.05	0.22	0.20	0.04
Średnia z wiązki	0.00	-0.06	0.03	0.02	0.02	0.16
Wartość minimalna z wiązki	-0.34	-0.46	-0.26	-0.17	-0.20	-0.15
Wartość maksymalna z wiązki	0.17	0.22	0.30	0.22	0.40	0.73

SPI3 (SON)

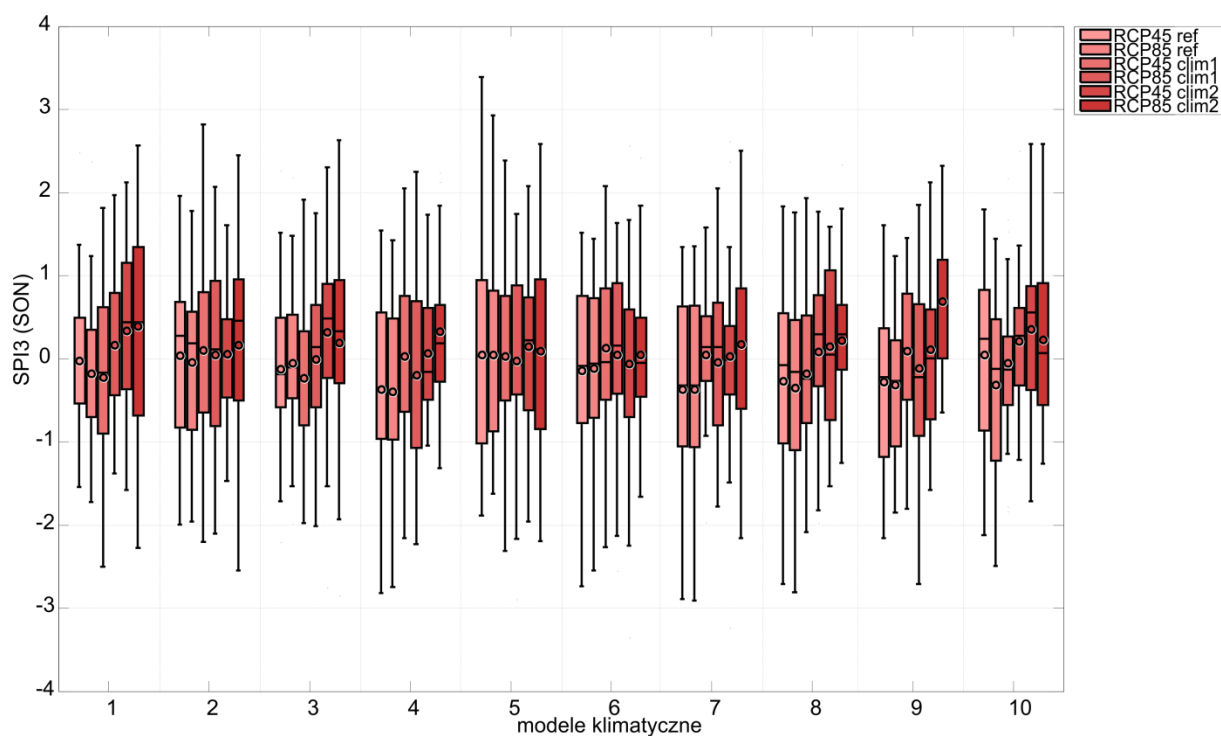
Wartości SPI3 (SON) wyznaczono na podstawie sum opadu od września do listopada z okresu 1971-2100. Analizę przeprowadzono niezależnie dla dwóch scenariuszy emisji RCP 4.5 i RCP 8.5. Wyniki w postaci przebiegów wyznaczonych wartości SPI3(SON) przedstawione są na Rysunkach 68 i 69. Widoczny jest wzrost wartości SPI3(SON) z czasem.



RYSUNEK 68 OSZACOWANIA SPI3 (SON) NA PODSTAWIE WYNIKÓW DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH DLA SCENARIUSZA EMISJI RCP4.5



RYSUNEK 69 OSZACOWANIA SPI3(SON) NA PODSTAWIE WYNIKÓW DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH DLA SCENARIUSZA EMISJI RCP8.5.



RYSUNEK 70 OSZACOWANIA WARTOŚCI SPI3(SON) SYMULOWANYCH PRZEZ DZIESIĘĆ MODELI KLIMATYCZNYCH W TRZECH ANALIZOWANYCH OKRESACH.

TABELA 68 OSZACOWANIA ŚREDNICH WARUNKÓW (SPI3 SON) W TRZECH ANALIZOWANYCH OKRESACH. WYNIKI DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH DLA DWÓCH SCENARIUSZY EMISJI (RCP4.5 I RCP8.5).

	REF		CLIM1		CLIM2	
	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	-0.03	-0.18	-0.23	0.17	0.34	0.39
EC-EARTH-CCLM4-8-17	0.04	-0.04	0.10	0.05	0.05	0.17
EC-EARTH-HIRHAM5	-0.13	-0.05	-0.23	-0.01	0.32	0.20
EC-EARTH-RACMO22E	-0.36	-0.40	0.03	-0.19	0.07	0.33
EC-EARTH-RCA4	0.05	0.05	0.03	-0.02	0.15	0.09
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	-0.14	-0.11	0.13	0.05	-0.06	0.05
MPI-ESM-LR-RCA4	-0.37	-0.37	0.05	-0.04	0.04	0.17
MPI-ESM-LR-REMO2009	-0.27	-0.35	-0.17	0.09	0.15	0.22
IPSL-WRF331F	-0.28	-0.31	0.09	-0.11	0.11	0.69
CNRM-CM5-RCA4	0.05	-0.31	-0.05	0.22	0.36	0.23
Średnia z wiązki	-0.14	-0.21	-0.03	0.02	0.15	0.25
Wartość minimalna z wiązki	-0.37	-0.40	-0.23	-0.19	-0.06	0.05

Wartość maksymalna z wiązki	0.05	0.05	0.13	0.22	0.36	0.69
-----------------------------	------	------	------	------	------	------

PODSUMOWANIE

Zestawienie oszacowanych średnich z wiązki modeli klimatycznych wskazuje na większe sumy opadu dla większości przypadków w dwóch przyszłych okresach. Większe zmiany otrzymano dla dalszej przyszłości niż bliskiej przyszłości a także dla scenariusza emisji RCP8.5 niż dla RCP4.5.

Liczba przypadków z określonym typem suszy

W oszacowaniach suszy meteorologicznej dodatkowo ocenia się liczbę przypadków z wartościami SPI mniejszymi niż -1 odpowiadające kategoriom suszy umiarkowanie suchy, bardzo suchy oraz ekstremalnie suchy. W tym przypadku zliczano liczbę przypadków w trzech analizowanych okresach dla dwóch scenariuszy emisji.

Wyniki takiej analizy dla SPI12, SPI6, SPI3(JJA) oraz SPI3(SON) przedstawiono w kolejnych tabelach.

TABELA 69 OSZACOWANIA LICZBY PRZYPADKÓW Z $SPI_{12} < -1$ W TRZECH ANALIZOWANYCH OKRESACH. WYNIKI DZIESIECIU MODELI KLIMATYCZNYCH DLA DWÓCH SCENARIUSZY EMISJI (RCP4.5 I RCP8.5).

	REF		CLIM1		CLIM2	
	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	5	7	8	6	1	1
EC-EARTH-CCLM4-8-17	9	10	4	4	2	6
EC-EARTH-HIRHAM5	9	9	4	5	2	2
EC-EARTH-RACMO22E	8	10	5	4	4	0
EC-EARTH-RCA4	4	4	3	4	4	5
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	7	7	4	4	2	2
MPI-ESM-LR-RCA4	7	7	6	5	3	3
MPI-ESM-LR-REMO2009	6	6	5	2	6	3
IPSL-WRF331F	9	9	2	5	1	1
CNRM-CM5-RCA4	7	9	5	6	1	2
Średnia z wiązki	7.10	7.80	4.60	4.50	2.60	2.50
Wartość minimalna z wiązki	4.00	4.00	2.00	2.00	1.00	0.00
Wartość maksymalna z wiązki	9.00	10.00	8.00	6.00	6.00	6.00

TABELA 70 OSZACOWANIA LICZBY PRZYPADKÓW Z $SPI_6 < -1$ W TRZECH ANALIZOWANYCH OKRESACH. WYNIKI DZIESIECIU MODELI KLIMATYCZNYCH DLA DWÓCH SCENARIUSZY EMISJI (RCP4.5 I RCP8.5).

	REF		CLIM1		CLIM2	
	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	5	5	7	6	2	2
EC-EARTH-CCLM4-8-17	5	6	4	4	5	5
EC-EARTH-HIRHAM5	7	8	4	5	4	1
EC-EARTH-RACMO22E	7	7	3	3	7	2

EC-EARTH-RCA4	3	3	3	6	7	5
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	4	4	7	3	3	5
MPI-ESM-LR-RCA4	4	3	7	3	3	6
MPI-ESM-LR-REMO2009	4	5	6	3	6	3
IPSL-WRF331F	8	8	2	5	4	1
CNRM-CM5-RCA4	6	9	5	2	2	3
Średnia z wiązki	5.30	5.80	4.80	4.00	4.30	3.30
Wartość minimalna z wiązki	3.00	3.00	2.00	2.00	2.00	1.00
Wartość maksymalna z wiązki	8.00	9.00	7.00	6.00	7.00	6.00

TABELA 71 OSZACOWANIA LICZBY PRZYPADKÓW Z SPI3 (JJA)<-1 W TRZECH ANALIZOWANYCH OKRESACH. WYNIKI DZIESIECIU MODELI KLIMATYCZNYCH DLA DWÓCH SCENARIUSZY EMISJI (RCP4.5 I RCP8.5).

	REF		CLIM1		CLIM2	
	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	6	6	3	6	4	3
EC-EARTH-CCLM4-8-17	4	4	4	6	5	6
EC-EARTH-HIRHAM5	5	5	5	3	5	3
EC-EARTH-RACMO22E	6	6	3	5	8	0
EC-EARTH-RCA4	5	4	1	6	5	5
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	4	5	5	6	6	7
MPI-ESM-LR-RCA4	6	5	9	4	5	6
MPI-ESM-LR-REMO2009	2	2	7	4	8	5
IPSL-WRF331F	6	9	2	5	3	2
CNRM-CM5-RCA4	5	5	5	5	3	4
Średnia z wiązki	4.90	5.10	4.40	5.00	5.20	4.10
Wartość minimalna z wiązki	2.00	2.00	1.00	3.00	3.00	0.00
Wartość maksymalna z wiązki	6.00	9.00	9.00	6.00	8.00	7.00

TABELA 72 OSZACOWANIA LICZBY PRZYPADKÓW Z SPI3 (SON)<-1 W TRZECH ANALIZOWANYCH OKRESACH. WYNIKI DZIESIECIU MODELI KLIMATYCZNYCH DLA DWÓCH SCENARIUSZY EMISJI (RCP4.5 I RCP8.5).

	REF		CLIM1		CLIM2	
	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	5	6	6	4	3	4

EC-EARTH-CCLM4-8-17	7	7	5	7	3	5
EC-EARTH-HIRHAM5	6	6	6	6	2	4
EC-EARTH-RACMO22E	7	7	5	8	1	1
EC-EARTH-RCA4	8	6	4	6	3	3
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	7	6	2	5	5	2
MPI-ESM-LR-RCA4	8	8	1	3	4	3
MPI-ESM-LR-REMO2009	8	8	6	5	4	1
IPSL-WRF331F	9	9	3	4	3	0
CNRM-CM5-RCA4	6	9	4	2	4	4
Średnia z wiązki	7.10	7.20	4.20	5.00	3.20	2.70
Wartość minimalna z wiązki	5.00	6.00	1.00	2.00	1.00	0.00
Wartość maksymalna z wiązki	9.00	9.00	6.00	8.00	5.00	5.00

PODSUMOWANIE

Na podstawie wyznaczonych liczby przypadków z wartościami SPI mniejszymi niż -1 wyznaczono względne zmiany pomiędzy dwoma przyszłymi okresami a okresem referencyjnym. Dla większości przypadków wyniki wskazują na spadek liczby przypadków z $SPI < -1$ co świadczy o mniejszej liczbie susz meteorologicznych. Jedynie wyniki dla SPI3 (JJA) dla drugiego okresu zmienionego klimatu i scenariusza emisji RCP4.5 wskazują na pogorszenie się warunków w tym okresie. Największe zmiany estymowano w skali roku (SPI12) dla drugiego okresu zmienionego klimatu oraz scenariusza emisji RCP8.5.

TABELA 73 ESTYMOVANE WZGLĘDNE ZMIANY LICZBY PRZYPADKÓW Z $SPI < -1$ POMIĘDZY DWOMA PRZYSZŁYMI OKRESAMI A OKRESEM REFERENCYJNYM. OSZACOWANIA DLA DWÓCH SCENARIUSZY EMISJI NA PODSTAWIE ŚREDNIEJ Z WIĄZKI DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

	Clim1 RCP4.5 [%]	Clim1 RCP8.5 [%]	Clim2 RCP4.5 [%]	Clim2 RCP8.5 [%]
SPI12	-35.21	-42.31	-63.38	-67.95
SPI6	-9.43	-31.03	-18.87	-43.10
SPI3 (JJA)	-10.20	-1.96	6.12	-19.61
SPI3 (SON)	-40.85	-30.56	-54.93	-62.50

Dotkliwość suszy

Innym sposobem wskaźnikiem oceny suszy meteorologicznej jest dotkliwość suszy. Wskaźnik ten jest obliczany, jako suma wartości SPI mniejszych niż zero w analizowanym okresie. Wyniki obliczeń dotkliwości suszy meteorologicznej w trzech analizowanych okresach: 1971-2000, 2021-2050, 2071-2100 dla dwóch scenariuszy emisji przedstawione są w poniższych czterech tabelach. Kolejno przedstawiono wyniki dla SPI12, SPI6, SPI3(JJA) oraz SPI3(SON).

TABELA 74 OSZACOWANIA LICZBY PRZYPADKÓW Z $SPI_{12} < -1$ W TRZECH ANALIZOWANYCH OKRESACH. WYNIKI DZIESIECIU MODELI KLIMATYCZNYCH DLA DWÓCH SCENARIUSZY EMISJI (RCP4.5 I RCP8.5).

	REF		CLIM1		CLIM2	
	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	-14.43	-16.35	-15.49	-11.98	-5.51	-4.03
EC-EARTH-CCLM4-8-17	-14.80	-16.34	-12.20	-9.04	-5.83	-10.98
EC-EARTH-HIRHAM5	-18.68	-20.44	-13.60	-13.23	-5.87	-3.58
EC-EARTH-RACMO22E	-19.48	-21.92	-10.80	-13.18	-13.06	-1.74
EC-EARTH-RCA4	-11.86	-11.36	-8.55	-12.56	-10.09	-10.41
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	-18.27	-17.42	-9.44	-10.36	-9.22	-7.71
MPI-ESM-LR-RCA4	-15.28	-15.67	-15.47	-12.30	-8.50	-8.94
MPI-ESM-LR-REMO2009	-11.70	-14.02	-14.56	-9.44	-12.74	-7.85
IPSL-WRF331F	-16.77	-18.99	-8.04	-10.60	-6.09	-2.43
CNRM-CM5-RCA4	-15.38	-20.69	-13.83	-13.92	-5.22	-5.41
Średnia z wiązki	-15.66	-17.32	-12.20	-11.66	-8.21	-6.31
Wartość minimalna z wiązki	-19.48	-21.92	-15.49	-13.92	-13.06	-10.98
Wartość maksymalna z wiązki	-11.70	-11.36	-8.04	-9.04	-5.22	-1.74

TABELA 75 OSZACOWANIA LICZBY PRZYPADKÓW Z $SPI_6 < -1$ W TRZECH ANALIZOWANYCH OKRESACH. WYNIKI DZIESIECIU MODELI KLIMATYCZNYCH DLA DWÓCH SCENARIUSZY EMISJI (RCP4.5 I RCP8.5).

	REF		CLIM1		CLIM2	
	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	-15.03	-16.73	-14.74	-9.65	-7.07	-5.18
EC-EARTH-CCLM4-8-17	-10.21	-12.81	-13.20	-10.59	-9.91	-11.44
EC-EARTH-HIRHAM5	-14.06	-15.26	-12.12	-12.70	-10.29	-6.40
EC-EARTH-RACMO22E	-18.03	-20.77	-8.93	-11.09	-15.63	-4.53
EC-EARTH-RCA4	-8.19	-7.88	-7.38	-14.81	-13.48	-11.94

MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	-14.57	-14.51	-12.46	-9.91	-10.00	-10.47
MPI-ESM-LR-RCA4	-11.39	-9.87	-16.31	-10.23	-11.18	-12.81
MPI-ESM-LR-REMO2009	-10.49	-12.16	-16.76	-8.68	-12.81	-10.04
IPSL-WRF331F	-15.21	-17.25	-7.85	-10.01	-5.66	-3.49
CNRM-CM5-RCA4	-13.66	-17.94	-12.22	-9.25	-7.28	-9.60
Średnia z wiązki	-13.08	-14.52	-12.20	-10.69	-10.33	-8.59
Wartość minimalna z wiązki	-18.03	-20.77	-16.76	-14.81	-15.63	-12.81
Wartość maksymalna z wiązki	-8.19	-7.88	-7.38	-8.68	-5.66	-3.49

TABELA 76 OSZACOWANIA LICZBY PRZYPADKÓW Z SPI3(JJA)<-1 W TRZECH ANALIZOWANYCH OKRESACH. WYNIKI DZIESIECIU MODELI KLIMATYCZNYCH DLA DWÓCH SCENARIUSZY EMISJI (RCP4.5 I RCP8.5).

	REF		CLIM1		CLIM2	
	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	-12.99	-14.53	-10.70	-10.80	-9.59	-7.57
EC-EARTH-CCLM4-8-17	-10.20	-10.62	-11.94	-13.37	-12.14	-14.85
EC-EARTH-HIRHAM5	-10.34	-11.24	-10.92	-13.99	-12.66	-9.75
EC-EARTH-RACMO22E	-15.94	-17.66	-9.07	-12.44	-14.66	-3.34
EC-EARTH-RCA4	-8.83	-8.07	-5.38	-14.09	-16.44	-13.40
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	-10.29	-10.82	-10.33	-11.72	-15.86	-12.08
MPI-ESM-LR-RCA4	-11.58	-10.78	-17.73	-8.50	-13.67	-14.42
MPI-ESM-LR-REMO2009	-7.98	-7.67	-14.56	-11.93	-17.83	-11.79
IPSL-WRF331F	-12.54	-16.55	-8.36	-9.98	-6.53	-5.23
CNRM-CM5-RCA4	-9.87	-13.18	-11.92	-10.64	-9.32	-9.70
Średnia z wiązki	-11.06	-12.11	-11.09	-11.75	-12.87	-10.21
Wartość minimalna z wiązki	-15.94	-17.66	-17.73	-14.09	-17.83	-14.85
Wartość maksymalna z wiązki	-7.98	-7.67	-5.38	-8.50	-6.53	-3.34

TABELA 77 OSZACOWANIA LICZBY PRZYPADKÓW Z SPI3 (SON)<-1 W TRZECH ANALIZOWANYCH OKRESACH. WYNIKI DZIESIECIU MODELI KLIMATYCZNYCH DLA DWÓCH SCENARIUSZY EMISJI (RCP4.5 I RCP8.5).

	REF		CLIM1		CLIM2	
	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85
CNRM- CM5-CCLM4-8-17	-10.52	-13.50	-16.76	-7.70	-7.80	-9.49
EC-EARTH-CCLM4-8-17	-11.73	-11.97	-10.26	-12.83	-8.65	-11.40

EC-EARTH-HIRHAM5	-13.34	-11.19	-13.93	-11.95	-7.90	-10.94
EC-EARTH-RACMO22E	-20.02	-20.03	-10.89	-17.34	-8.31	-4.69
EC-EARTH-RCA4	-13.29	-11.35	-10.84	-12.89	-9.58	-12.83
MPI-ESM-LR-CCLM4-8-17	-13.92	-12.73	-9.58	-11.29	-14.18	-9.04
MPI-ESM-LR-RCA4	-20.24	-20.31	-7.15	-11.35	-10.29	-9.51
MPI-ESM-LR-REMO2009	-17.52	-18.97	-14.34	-11.28	-10.41	-6.23
IPSL-WRF331F	-16.91	-15.52	-8.99	-14.31	-10.71	-2.33
CNRM-CM5-RCA4	-12.91	-18.25	-10.75	-6.45	-7.70	-8.72
Średnia z wiązki	-15.04	-15.38	-11.35	-11.74	-9.55	-8.52
Wartość minimalna z wiązki	-20.24	-20.31	-16.76	-17.34	-14.18	-12.83
Wartość maksymalna z wiązki	-10.52	-11.19	-7.15	-6.45	-7.70	-2.33

PODSUMOWANIE

Na podstawie wyznaczonych wartości dotkliwości suszy meteorologicznej wyznaczono względne zmiany tego wskaźnika dla dwóch przyszłych okresów a także dwóch scenariuszy emisji. Dla większości przypadków (różnych skal czasowych) wyniki symulacji wskazują na spadek dotkliwości suszy meteorologicznej. Jedynie wyniki analizy dla SPI3 (JJA) dla scenariusza emisji RCP4.5 w obu przyszłych okresach wskazują na zmniejszenie opadów w stosunku do okresu referencyjnego. W pozostałych przypadkach zmiany są negatywne, co wskazuje na wzrost sum opadu w przyszłości. Największe zmiany estymowano dla rocznej skali czasowej, drugiego okresu zmienionego klimatu oraz scenariusza emisji RCP8.5.

TABELA 78 ESTYMOWANE WZGLĘDNE ZMIANY DOTKLIWOŚCI SUSZY METEOROLOGICZNEJ POMIĘDZY DWOMA PRZYSZŁYMI OKRESAMI A OKRESEM REFERENCYJNYM. OSZACOWANIA DLA DWÓCH SCENARIUSZY EMISJI NA PODSTAWIE ŚREDNIEJ Z WIĄZKI DZIESIĘCIU MODELI KLIMATYCZNYCH.

	Clim1 RCP4.5	Clim1 RCP8.5	Clim2 RCP4.5	Clim2 RCP8.5
SPI12	-22.09%	-32.68%	-47.57%	-63.57%
SPI6	-6.73%	-26.38%	-21.02%	-40.84%
SPI3 (JJA)	0.27%	-2.97%	16.37%	-15.69%
SPI3 (SON)	-24.53%	-23.67%	-36.50%	-44.60%

4. Podsumowanie

W tym raporcie przedstawiono ocenę ekspozycji przestrzeni miejskiej Radomia na zmiany klimatu opracowaną na potrzeby realizacji projektu RADOMKLIMA „Adaptacja do zmian klimatu poprzez zrównoważoną gospodarkę wodą w przestrzeni miejskiej Radomia” (LIFERADOMKLIMA-PL, LIFE14 CCA/PL/000101).

W opracowaniu wykorzystano szeregu wskaźników za pomocą, których szacowano wpływ zmian klimatu. Zostały one opracowane w sposób bezpośredni lub pośredni na podstawie opracowanych zmiennych klimatycznych. Zestawienie wskaźników ekspozycji oraz szacowane zmiany pomiędzy dwoma przyszłymi okresami 2021-2050 i 2071-2100 w porównaniu do okresu referencyjnego 1971-2000 przedstawione są w poniższej tabeli. Dla każdego z analizowanych wskaźników ekspozycji przedstawiono:

- oszacowania zmian,
- porównano wyniki dla dwóch przyszłych okresów z okresem referencyjnym,
- porównano wyniki dla dwóch scenariuszy emisji RCP4.5 i RCP8.5,
- porównano wyniki dla surowych oraz skorygowanych projekcji klimatycznych,
- porównano zgodność wyników dziesięciu modeli klimatycznych dotyczącą kierunku i intensywności szacowanych zmian.

TABELA 79 ZESTAWIENIE PLANOWANYCH WSKAŹNIKÓW EKSPOZYCJI, ANALIZ, ORAZ WYKORZYSTANYCH DANYCH OBSERWACYJNYCH WRAZ ZE ŹRÓDŁAMI ICH POZYSKANIA

Zmienna klimatyczna	Wskaźniki ekspozycji	Wyniki oszacowania
Temperatura maksymalna dobową	najdłuższy okres z temperaturą maksymalną większą niż 30°C (wskaźnik zaproponowany przez Gorgoń i inni (2014)). W ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020 stosowano inną wartość graniczną (25 0C).	wzrost liczby dni w ciągu roku z temperaturą maksymalną większą niż 30°C o 1.2 i 2.2 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100. większe zmiany dla scenariusza emisji RCP 8.5 (1.8 dnia) niż dla RCP4.5 (1.6 dnia). większe zmiany dla danych surowych (1.9 dnia) niż dla danych skorygowanych (1.5 dnia). Zgodność analizowanych modeli odnośnie kierunku zmian (wydłużenie okresu z Tmax>30°C), lecz w zależności od modelu różnią się intensywnością zmian.
	liczba dni w roku z temperaturą maksymalną większą niż 30°C (wskaźnik zaproponowany przez Gorgoń i inni (2014)). W ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020 stosowano inną wartość graniczną (25 0C).	wydłużenie okresu o 4.2 i 7.7 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100 większe zmiany dla scenariusza emisji RCP8.5 (zmiany o 6.2 dnia) niż dla RCP4.5 (zmiany o 5.7 dnia)

		większe zmiany dla danych surowych (6.3 dnia) niż dla danych skorygowanych (5.7 dnia) wyniki dla wszystkich modeli wskazują na wzrost liczby dni z temperaturą maksymalną większą niż 30°C, lecz w zależności od modelu różnią się intensywnością zmian
Temperatura minimalna dobową	najdłuższy okres z temperaturą minimalną niższą niż 0°C (wskaźnik stosowany w ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020),	skrócenie okresu o 8.5 i 15.6 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100. większe zmiany dla scenariusza emisji RCP8.5 (zmiana o -13.6 dnia) niż dla RCP4.5 (zmiana o -10.5 dnia). większe zmiany dla danych surowych (-15.8 dnia) niż dla danych skorygowanych (-8.3 dnia). we wszystkich przypadkach modele klimatyczne wskazują na skrócenie czasu trwania okresu z temperaturą minimalną mniejszą niż 0°C, lecz w zależności od modelu różnią się intensywnością zmian.
	liczba dni w roku z temperaturą minimalną niższą niż 0°C (wskaźnik stosowany w ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020),	spadek liczby dni w ciągu roku z temperaturą minimalną dobową niższą niż 0°C o 22.2 i 40.2 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100. większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP8.5 (-34.1 dnia) niż dla RCP4.5 (-28.4 dnia). większe zmiany otrzymano dla danych surowych (-34.9 dnia) niż dla danych skorygowanych (-27.6 dnia). Wszystkie modele klimatyczne wskazują na skrócenie okresu z $T_{min} < 0^{\circ}C$, lecz w zależności od modelu różnią się intensywnością zmian.
	liczba dni w roku z temperaturą minimalną dobową niższą niż -10°C (wskaźnik stosowany w ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020),	spadek liczby dni o 7.6 i 12.8 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100. większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP8.5 (-10.4 dnia) niż dla RCP4.5 (-9.9 dnia). większe zmiany otrzymano dla danych surowych (-12.0 dnia) niż dla danych skorygowanych (-8.4 dnia). Wszystkie modele klimatyczne wskazują na skrócenie okresu z $T_{min} < -10^{\circ}C$, lecz w zależności od modelu różnią się intensywnością zmian.

	liczba dni w roku z temperaturą minimalną niższą niż -20°C (wskaźnik stosowany w ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020), spadek liczby dni z temperaturą minimalną dobową niższą niż -20°C o 1.1 i 1.7 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100. większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP4.5 (-1.4 dnia) niż dla RCP8.5 (-1.2 dnia). większe zmiany otrzymano dla danych surowych (-1.7 dnia) niż dla danych skorygowanych (-1.0 dzień). Wszystkie modele klimatyczne wskazują na skrócenie okresu z $T_{\min} < -20^{\circ}\text{C}$, lecz w zależności od modelu różnią się intensywnością zmian.
	liczba dni w roku z temperaturą minimalną wyższą niż 20°C (tak zwane upalne noce) wzrost liczby dni o 1.9 i 4.8 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100. większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP8.5 (4.1 dnia) niż dla RCP4.5 (2.6 dnia). większe zmiany dla danych surowych (5.3 dnia) niż dla danych skorygowanych (1.4 dnia). Wszystkie modele klimatyczne wskazują na wydłużenie okresu z $T_{\min} > 20^{\circ}\text{C}$, lecz w zależności od modelu różnią się intensywnością zmian.
Temperatura średnia dobową	Liczba stopniodni grzania, zakłada się ze ogrzewanie jest wyłączone w dniach, kiedy średnia dobową temperatura jest większa od założonej temperatury bazowej (17°C), wskaźnik stosowany w ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020, spadek liczby stopniodni grzania o 370.8 i 671.6 stopniodni grzania odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100. większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP8.5 (zmiana o -561.8 stopniodni grzania) niż dla RCP4.5 (zmiana o -480.6 stopniodni grzania). większe zmiany otrzymano dla danych surowych (-597.9 stopniodni grzania) niż dla danych skorygowanych (-444.5 stopniodni grzania). Wyniki wszystkich modeli klimatycznych wskazują na zmniejszenie liczby stopniodni grzania dla przyszłych warunków klimatycznych, lecz w zależności od modelu różnią się intensywnością zmian.
	Liczba stopniodni grzania, zakłada się ze ogrzewanie jest wyłączone w dniach, kiedy średnia dobową temperatura jest większa od założonej temperatury bazowej (20°C), wskaźnik stosowany w ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020, spadek wartości średniej o 412.7 i 745.4 stopniodni grzania odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100. większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP8.5 (zmiana o -

533.5 stopniodni grzania) niż dla RCP4.5 (zmiana o -624.7 stopniodni grzania).

większe zmiany otrzymano dla danych surowych (-661.4 stopniodni grzania) niż dla danych skorygowanych (-496.7 stopniodni grzania).

Wyniki wszystkich modeli klimatycznych wskazują na zmniejszenie liczby stopniodni grzania dla przyszłych warunków klimatycznych, lecz w zależności od modelu różnią się intensywnością zmian.

Długość okresu wegetacyjnego (okres ze średnią dobową temperaturą powietrza większą niż 5°C), wskaźnik stosowany w ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020

wydłużenie czasu jego trwania średnio o 13.7 i 24.0 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100.

większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP8.5 (zmiana o 20.6 dnia) niż dla RCP4.5 (zmiana o 17.1 dnia).

większe zmiany otrzymano dla danych surowych (20.7 dnia) niż dla danych skorygowanych (17.0 dnia).

Wyniki wszystkich modeli klimatycznych wskazują na wydłużenie czasu trwania okresu wegetacji, lecz w zależności od modelu różnią się intensywnością zmian.

Długość okresu wegetacyjnego (okres ze średnią dobową temperaturą powietrza większą niż 10°C), wskaźnik stosowany w ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020

wydłużenie średniego czasu trwania o 14.6 i 24.4 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100.

większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP8.5 (zmiana o 21.2 dnia) niż dla RCP4.5 (zmiana o 17.8 dnia).

większe zmiany otrzymano dla danych surowych (22.0 dnia) niż dla danych skorygowanych (17.0 dnia).

Wyniki wszystkich modeli klimatycznych wskazują na wydłużenie czasu trwania okresu wegetacji, lecz w zależności od modelu różnią się intensywnością zmian.

Start okresu wegetacyjnego, data początku okresu ze średnią dobową temperaturą powietrza większą niż 5°C), wskaźnik stosowany w ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020

szybszy start wegetacji o 12.8 i 25.5 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100.

większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP8.5 (start wegetacji szybszy o 19.6 dnia) niż dla RCP4.5 (start wegetacji szybszy o 18.7 dnia).

większe zmiany otrzymano dla danych surowych (start wegetacji szybszy o 26.8

		dnia) niż dla danych skorygowanych (11.5 dnia). Wyniki wszystkich modeli klimatycznych wskazują na przyspieszenie startu wegetacji, lecz w zależności od modelu różnią się intensywnością zmian.
	Start okresu wegetacyjnego, data początku okresu ze średnią dobową temperaturą powietrza większą niż 10°C), wskaźnik stosowany w ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020	szybszy start wegetacji o 14.2 i 25.9 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100. większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP8.5 (start wegetacji szybszy o 20.8 dnia) niż dla RCP4.5 (start wegetacji szybszy 19.3 dnia). większe zmiany otrzymano dla danych skorygowanych (start wegetacji szybszy o 22.6 dnia) niż dla danych surowych (17.5 dnia). Wyniki wszystkich modeli klimatycznych wskazują na przyspieszenie startu wegetacji, lecz w zależności od modelu różnią się intensywnością zmian.
Opad	liczba dni w roku z opadem większym lub równym 30mm/dobę (pierwszy próg opadów stwarzający zagrożenie podtopieniami) wskaźnik zaproponowany przez Gorgoń i inni (2014),	wzrost liczby dni o 0.3 i 0.6 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100. większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP8.5 (liczba dni większa o 0.5 dnia) niż dla RCP4.5. zbliżone wyniki dla danych surowych jak i skorygowanych. Wyniki wszystkich modeli klimatycznych wskazują na wzrost liczby dni z opadem wyższym niż 30mm/dobę.
	liczba dni w roku z opadem większym lub równym 50mm/dobę (opad klasyfikowany jako groźny powodziowo) wskaźnik zaproponowany przez Gorgoń i inni (2014),	wzrost liczby dni z opadem wyższym niż 50 mm/dobę o 0.11 i 0.19 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100. zbliżone wyniki uzyskano dla obu scenariuszy. wyższy wzrost liczby dni z opadem większym niż 50m dla danych skorygowanych(0.17 dnia) niż z dla surowych (0.12 dnia). Wyniki wszystkich modeli klimatycznych wskazują na wzrost liczby dni z opadem wyższym niż 50mm/dobę. Największe zmiany są wynikiem modelu CNRM-CM5-RCA4 (średnia zmiana o 0.3 dnia).
	liczba dni w roku z opadem większym lub równym 70mm/dobę (klasyfikowany jako opad powodziowy) wskaźnik zaproponowany przez Gorgoń i inni (2014),	wzrost liczby dni z opadem wyższym niż 70 mm/dobę o 0.03 i 0.07 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100.

	zbliżone wyniki uzyskano dla obu scenariuszy. wyższy wzrost liczby dni z opadem większym niż 70mm dla danych skorygowanych (0.08 dnia) niż z dla surowych (0.02 dnia). Porównanie szacowanych zmian pomiędzy dziesięcioma modelami klimatycznymi wskazuje na różnice w kierunku jak i intensywności zmian.
liczba dni w roku z opadem większym lub równym 100mm/dobę (klasyfikowany jako opad katastrofalny) wskaźnik zaproponowany przez Gorgoń i inni (2014),	wzrost liczby dni z opadem wyższym niż 100 mm/dobę do okresu 2071-2100 oraz spadek w pierwszym okresie zmienionego klimatu. zbliżone wyniki uzyskano dla obu scenariuszy. wzrost liczby dni z opadem większym niż 100mm dla danych skorygowanych natomiast spadek dla danych surowych. Oszacowania dla 10 modeli klimatycznych różnią się kierunkiem jak i intensywnością zmian.
opad maksymalny (wskaźnik stosowany w ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020),	wzrost maksymalnych rocznych opadów o 2.2 i 6.8 mm/dobę odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100. większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP8.5 (4.9 mm/dobę) niż dla RCP4.5 (4.1 mm/dobę). większe zmiany otrzymano dla danych skorygowanych (5.3 mm/dobę) niż dla danych surowych (3.6 mm/dobę). Wyniki wszystkich modeli wskazują na wzrost wartości maksymalnego rocznego opadu, lecz w zależności od modelu różnią się intensywnością zmian.
najdłuższy okres bez opadu (wskaźnik stosowany w ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020),	skrócenie czasu trwania najdłuższego okresu bez opadów o -0.9 i -0.6 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100. większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP8.5 (-0.8 dnia) niż dla RCP4.5 (-0.7 dnia). większe zmiany otrzymano dla danych skorygowanych (-1.1 dnia) niż dla danych surowych (-0.4 dnia). Porównanie szacowanych zmian czasu trwania najdłuższego okresu bez opadu pomiędzy dziesięcioma modelami klimatycznymi dla wszystkich modeli za wyjątkiem CNRM-CM5-CCLM4-8-17

		wskazują na skrócenie czasu trwania najdłuższego okresu bez opadu, w zależności od modelu różnią się intensywnością zmian.
	liczba dni w roku bez opadu (wskaźnik stosowany w ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020),	zmniejszenie ich liczby o -3.2 i -5.4 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100. większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP8.5 (-4.9 mm/dobę) niż dla RCP4.5 (-3.7 dnia). większe zmiany otrzymano dla danych skorygowanych (-4.7 dnia) niż dla danych surowych (-4.0 dnia). Wyniki wszystkich modeli wskazują na spadek liczby dni bez opadu, lecz w zależności od modelu różnią się intensywnością zmian.
	liczba okresów w ciągu roku z opadem większym niż 1 mm (wskaźnik stosowany w ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020),	wzrost liczby okresów z opadem wyższym niż 1mm/dobę o 0.2 i 0.3 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100. większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP8.5 (0.3) niż dla RCP4.5 (0.2). większe zmiany otrzymano dla danych surowych (0.3) niż dla danych skorygowanych (0.2). Porównanie wyników pomiędzy dziesięcioma modelami klimatycznymi dla większości modeli wskazują na wzrost liczby okresów z opadem, lecz w zależności od modelu różnią się intensywnością zmian. Jedynie model CNRM-CM5-RCA4 symuluje spadek liczby okresów z opadem. Największe zmiany otrzymano dla wyników modelu EC-EARTH-HIRHAM5 (zmiana o 0.4).
Opad śniegu	Liczba dni w ciągu roku z intensywnymi opadami śniegu powyżej określonej wartości granicznej.	spadek liczby dni z intensywnymi opadami śniegu w ciągu roku kalendarzowego o 0.1 i 0.2 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100. większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP8.5 (-0.2) niż dla RCP4.5 (-0.1). Porównanie szacowanych zmian liczby okresów z opadem pomiędzy dziesięcioma modelami klimatycznymi wskazuje na różnice odnośnie kierunku zmian oraz ich intensywnością. Spadek liczby dni z intensywnymi opadami śniegu otrzymano dla wyników modelu

		MPI-ESM-LR-REMO2009 (-3.4 dnia), IPSL-WRF331F (-1.3dnia), EC-EARTH-RACMO22E (-0.3 dnia). Z kolei wzrost liczby dni z intensywnymi opadami śniegu otrzymano dla EC-EARTH-RCA (1.6 dnia), CNRM-CM5-RCA4 (1.1 dnia), MPI-ESM-LR-RCA4 (0.7 dnia). W pozostałych przypadkach średnia zmiana dla modelu jest mniejsza niż 0.1 dnia.
Wysokość pokrywy śnieżnej	liczba dni z pokrywą śnieżną (wskaźnik stosowany w ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020).	spadek wartości tego wskaźnika o 15.2 (RCP4.5) i 19.9 dnia (RCP8.5) dla pierwszego okresu zmienionego klimatu w stosunku do okresu referencyjnego. Oszacowania dla drugiego okresu zmienionego klimatu wskazują na dalszy spadek liczby dni z pokrywą śnieżną o 29.0 i 51.8 dnia odpowiednio dla scenariusza emisji RCP4.5 i RCP8.5. W przypadku tego wskaźnika wyniki wszystkich modeli klimatycznych wskazują na spadek liczby dni z pokrywą śnieżną, lecz w zależności od modelu różnią się intensywnością zmian.
Prędkość wiatru	Liczba dni z wiatrem max > 10 m/s (wskaźnik stosowany w ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020)	spadek liczby dni o 0.6 i 0.8 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100. Porównanie zmian liczby dni pomiędzy scenariuszami emisji RCP4.5 i RCP8.5 większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP4.5 (-1.0) niż dla RCP8.5 (-0.5). różnice w oszacowaniach pomiędzy modelami.
	Najdłuższy okres z wiatrem max > 10 m/s (wskaźnik stosowany w ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020)	skrócenie okresu z maksymalną dobową prędkością wiatru większą niż 10m/s w ciągu roku kalendarzowego o 0.08 i 0.14 dnia odpowiednio do okresu 2021-2050 i 2071-2100. większe zmiany otrzymano dla scenariusza emisji RCP4.5 (-0.15) niż dla RCP8.5 (-0.05). znaczące różnice pomiędzy modelami. Część modeli (EC-EARTH-RACMO22E, IPSL-WRF331F, EC-EARTH-RCA4) wskazuje na skrócenie okresu z maksymalną dobową prędkością wiatru większą niż 10m/s.
	Liczba dni z wiatrem max > 15 m/s (wskaźnik stosowany w ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020)	nieznaczny wzrost dla dwóch przyszłych okresów w stosunku do okresu referencyjnego za wyjątkiem pierwszego okresu zmienionego klimatu dla scenariusza RCP4.5
	Najdłuższy okres z wiatrem max > 15 m/s (wskaźnik stosowany w ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020)	nieznaczne wydłużenie czasu trwania dla dwóch przyszłych okresów w stosunku do okresu referencyjnego. Wyniki oszacowania dla pierwszego okresu zmienionego klimatu i scenariusza emisji

		RCP4.5 wskazują na nieznaczne skrócenie tego okresu
	Liczba dni z wiatrem max > 20 m/s (wskaźnik stosowany w ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020)	nieznaczny spadek liczby dni w pierwszym okresie zmienionego klimatu oraz nieznaczny wzrost liczby dni dla drugiego okresu zmienionego klimatu w stosunku do okresu referencyjnego
	Najdłuższy okres z wiatrem max > 20 m/s (wskaźnik stosowany w ramach projektu KLIMADA oraz SPA2020)	nieznaczny spadek dla pierwszego okresu zmienionego klimatu oraz nieznaczny wzrost dla drugiego okresu zmienionego klimatu w stosunku do okresu referencyjnego
Susze meteorologiczne	Przeciętne wartości wskaźnika SPI dla poszczególnych okresów	Zestawienie oszacowanych średnich z wiązki modeli klimatycznych wskazuje na większe sumy opadu dla większości przypadków w dwóch przyszłych okresach. Większe zmiany otrzymano dla dalszej przyszłości niż bliskiej przyszłości a także dla scenariusza emisji RCP8.5 niż dla RCP4.5.
	Liczba przypadków z określonym typem suszy	Dla większości przypadków wyniki wskazują na spadek liczby przypadków z $SPI < -1$ co świadczy o mniejszej liczbie susz meteorologicznych. Jedynie wyniki dla SPI3 (JJA) dla drugiego okresu zmienionego klimatu i scenariusza emisji RCP4.5 wskazują na pogorszenie się warunków w tym okresie.
	Dotkliwość suszy (suma wartości SPI)	spadek dotkliwości suszy meteorologicznej dla większości przypadków (różnych skal czasowych) Jedynie wyniki analizy dla SPI3 (JJA) dla scenariusza emisji RCP4.5 w obu przyszłych okresach wskazują na zmniejszenie opadów w stosunku do okresu referencyjnego.

5. Bibliografia

1. Agnew C. T. (2000): Using the SPI to Identify Drought, Drought Network News (1994-2001), Paper 1.
2. EEA (2008) Impact of Europe's changing climate – 2008 indicator-based assessment. European Environment Agency Report no 4/2008 – JRC Reference Report no. JRC47756.
3. Giorgi F, Jones C, Asrar GR (2009) Addressing climate information needs at the regional level: the CORDEX framework. WMO Bulletin 58 (3).
4. Gorgoń J., Starzewska-Sikorska A., Staszewski T., Bronder J., Nowak B., Krupanek J., Działoszyńska-Wawrzekiewicz M., Michaliszyn-Gabryś B., Strzelecka-Jastrząb E., Cenowski M. (2014) Ocena wrażliwości terenów miejskich na możliwe zagrożenia wynikające ze zmian klimatu. Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowionych w Katowicach.

5. Gudmundsson L, Bremnes JB, Haugen JE, Engen-Skaugen T (2012) Technical Note: Downscaling RCM precipitation to the station scale using statistical transformations – a comparison of methods. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 16(9): 3383–3390. doi:10.5194/hess-16-3383-2012.
6. IPCC AR5 (2013) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
7. Jacob D, Petersen J, Eggert B, Alias A, Christensen OB, Bouwer LM, Braun A, Colette A, Deque M, Georgievski G, Georgopoulou E, Gobiet A, Menut L, Nikulin G, Haensler A, Hempelmann N, Jones C, Keuler K, Kovats S, Kroner N, Kotlarski S, Kriegsmann A, Martin E, van Meijgaard E, Moseley C, Pfeifer S, Preuschmann S, Radermacher C, Radtke K, Rechid D, Rounsevell M, Samuelsson P, Somot S, Soussana JF, Teichmann C, Valentini R, Vautard R, Weber B, Yiou P (2014) EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Reg. Environ. Change* 14(2): 563-578.
8. Kotlarski S, Keuler K, Christensen OB, Colette A, Deque M, Gobiet A, Goergen K, Jacob D, Luthi D, van Meijgaard E, Nikulin G, Schar C, Teichmann C, Vautard R, Warrach-Sagi K, Wulfmeyer V (2014) Regional climate modelling on European scales: a joint standard evaluation of the Euro-CORDEX RCM ensemble. *Geoscientific Model Development* 7(4): 1297-1333.
9. Łabędzki, L.: Estimation of local drought frequency in Central Poland using the standardized precipitation index SPI, *Irrig. Drain.*, 56, 67–77, 2007.
10. McKee, T. B., Doeskin, N. J., and Kleist, J.: The relationship of drought frequency and duration to time scales, In: *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, January 17–22, Anaheim, CA, Am. Meteor. Soc., 179–184, 1993.
11. Meresa HK, Osuch M, Romanowicz R (2016) Hydro-meteorological drought projections into the 21-st century for selected Polish catchments. *Water*, 8, 206; doi:10.3390/w8050206
12. Moss RH, Edmonds JA, Hibbard KA, Manning MR, Rose SK, van Vuuren DP, Carter TR, Emori S, Kainuma M, Kram T, Meehl GA, Mitchell JFB, Nakicenovic N, Riahi K, Smith SJ, Stouffer RJ, Thomson AM, Weyant JP, Wilbanks TJ (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* 463: 747-756. doi:10.1038/nature08823.
13. MŚ (2015) *Podręcznik adaptacji dla miast. Wytyczne do przygotowania Miejskiego Planu Adaptacji do zmian klimatu*. Ministerstwo Środowiska.
14. Osuch M, Romanowicz RJ, Lawrence D, Wong WK (2016) Trends in projections of Standardized Precipitation Indices in a future climate in Poland. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20, 1947–1969, doi:10.5194/hess-20-1947-2016.
15. Osuch M, Lawrence D, Meresa HK, Napiórkowski JJ, Romanowicz RJ (2016) Projected changes in flood indices in selected catchments in Poland in the 21st century. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*; DOI:10.1007/s00477-016-1296-5.
16. Piani C, Haerter JO, Coppola E (2010) Statistical bias correction for daily precipitation in regional climate models over Europe. *Theor. Appl. Climatol.* 99: 187–192.

17. Sunyer MA, Madsen H, Ang PH (2012) A comparison of different regional climate models and statistical downscaling methods for extreme rainfall estimation under climate change. *Atmos. Res.* 103: 119–128. doi:10.1016/j.atmosres.2011.06.011.
18. Sorteberg A, Haddeland I, Haugen JE, Sobolowski S, Wong WK (2014) Evaluation of distribution mapping based bias correction methods. Norwegian Centre for Climate Services report no 1/2014.
19. Tukey J (1949) Comparing individual means in the analysis of variance. *Biometrics* 5(2): 99-114.
20. Von Storch H, Zwiers F (2001) *Statistical Analysis in Climate Research*. Cambridge University Press, 484 pp.
21. Yip S, Ferro C, Stephenson DB (2011) A simple, coherent framework for partitioning uncertainty in climate predictions. *J. Clim.* 24: 4634-4643. doi: 10.1175/2011JCLI4085.1.

6. Spis rysunków

Rysunek 1 Porównanie średnich miesięcznych maksymalnych dobowych temperatur powietrza na podstawie danych z okresu 01.01.1977-31.12.2000.....	12
Rysunek 2 Porównie błędów symulacji z wykorzystaniem analizy ANOVA ze względu na różnice w błędach oszacowań temperatury maksymalnej pomiędzy dziesięcioma różnymi modelami klimatycznymi oraz dla poszczególnych miesięcy.....	13
Rysunek 3 Porównanie średnich miesięcznych minimalnych dobowych temperatur powietrza na podstawie danych z okresu 01.01.1977-31.12.2000.....	14
Rysunek 4 Porównie błędów symulacji z wykorzystaniem analizy ANOVA ze względu na różnice w błędach oszacowań temperatury minimalnej pomiędzy dziesięcioma różnymi modelami klimatycznymi oraz dla poszczególnych miesięcy.....	15
Rysunek 5 Porównanie średnich miesięcznych minimalnych dobowych temperatur powietrza na podstawie danych z okresu 01.01.1977-31.12.2000.....	16
Rysunek 6 Porównie błędów symulacji [°C] z wykorzystaniem analizy ANOVA ze względu na różnice w błędach oszacowań temperatury średniej dobowej pomiędzy dziesięcioma różnymi modelami klimatycznymi oraz dla poszczególnych miesięcy.....	17
Rysunek 7 Porównanie symulowanych i obserwowanych średnich miesięcznych sum opadów z okresu 01.01.1977-31.12.2000.....	18
Rysunek 8 Porównie błędów symulacji [mm/miesiąc] z wykorzystaniem analizy ANOVA ze względu na różnice w błędach oszacowań pomiędzy dziesięcioma różnymi modelami klimatycznymi oraz dla poszczególnych miesięcy.	19
Rysunek 9 Porównanie miesięcznych sum opadów z okresu 1971-2000 symulowanego przez dziesięć modeli klimatycznych z obserwacjami na stacji meteorologicznej w Łaziskach.	20
Rysunek 10 Porównanie symulowanych i obserwowanych średnich miesięcznych wysokości pokrywy śnieżnej z okresu 01.01.1977-31.12.2000.	21
Rysunek 10 Porównie błędów symulacji [cm] z wykorzystaniem analizy ANOVA ze względu na różnice w błędach oszacowań pomiędzy dziesięcioma różnymi modelami klimatycznymi oraz dla poszczególnych miesięcy.	22
Rysunek 11 Zmienność Liczby dni z temperaturą maksymalną wyższą niż 30°C w ciągu trzydziestolecia. Wykres przedstawia medianę (środek pudełka), kwartyłe (dolna i górna granica pudełka), obserwacje odstające (zaznaczane kropkami) oraz maksimum i minimum po usunięciu obserwacji odstających.....	23

Rysunek 12 Oszacowania zmian liczby dni z temperaturą maksymalną dobową wyższą niż 30°C. Analiza rozrzutu otrzymanych wyników w zależności od analizowanego okresu, scenariusza emisji, korekcji danych oraz modelu klimatycznego.	26
Rysunek 13 Zmienność Długości najdłuższego okresu w ciągu roku kalendarzowego z temperaturą maksymalną wyższą niż 30°C w ciągu trzydziestolecia. Wykres przedstawia medianę (środek pudełka), kwartyle (dolna i górna granica pudełka), obserwacje odstające (zaznaczane kropkami) oraz maksimum i minimum po usunięciu obserwacji odstających.	27
Rysunek 14 Oszacowania zmian najdłuższego okresu z temperaturą maksymalną dobową wyższą niż 30°C. Analiza rozrzutu otrzymanych wyników w zależności od analizowanego okresu, scenariusza emisji, korekcji danych oraz modelu klimatycznego.	30
Rysunek 15 Zmienność Liczby dni z temperaturą minimalną wyższą niż 20°C w ciągu roku kalendarzowego dla trzydziestolecia. Wykres przedstawia medianę (środek pudełka), kwartyle (dolna i górna granica pudełka), obserwacje odstające (zaznaczane kropkami) oraz maksimum i minimum po usunięciu obserwacji odstających.	31
Rysunek 16 Oszacowania zmian liczby dni z temperaturą minimalną dobową wyższą niż 20°C w ciągu roku kalendarzowego. Analiza rozrzutu otrzymanych wyników w zależności od analizowanego okresu, scenariusza emisji, korekcji danych oraz modelu klimatycznego.	34
Rysunek 17 Zmienność w trzydziestoleciu Liczby dni z temperaturą minimalną niższą niż 0°C w ciągu roku. Wykres przedstawia medianę (środek pudełka), kwartyle (dolna i górna granica pudełka), obserwacje odstające (zaznaczane kropkami) oraz maksimum i minimum po usunięciu obserwacji odstających.	35
Rysunek 18 Oszacowania zmian liczby dni z temperaturą minimalną dobową Niższą niż 0°C w ciągu roku kalendarzowego. Analiza rozrzutu otrzymanych wyników w zależności od analizowanego okresu, scenariusza emisji, korekcji danych oraz modelu klimatycznego.	38
Rysunek 19 Zmienność w trzydziestoleciu Liczby dni z temperaturą minimalną dobową niższą niż -10°C w ciągu roku. Wykres przedstawia medianę (środek pudełka), kwartyle (dolna i górna granica pudełka), obserwacje odstające (zaznaczane kropkami) oraz maksimum i minimum po usunięciu obserwacji odstających.	39
Rysunek 20 Oszacowania zmian liczby dni z temperaturą minimalną dobową Niższą niż -10°C w ciągu roku kalendarzowego. Analiza rozrzutu otrzymanych wyników w zależności od analizowanego okresu, scenariusza emisji, korekcji danych oraz modelu klimatycznego.	42
Rysunek 21 Zmienność w trzydziestoleciu Liczby dni z temperaturą minimalną dobową niższą niż -20°C w ciągu roku. Wykres przedstawia medianę (środek pudełka), kwartyle (dolna i górna granica pudełka), obserwacje odstające (zaznaczane kropkami) oraz maksimum i minimum po usunięciu obserwacji odstających.	43
Rysunek 22 Oszacowania zmian liczby dni z temperaturą minimalną dobową Niższą niż -20°C w ciągu roku kalendarzowego. Analiza rozrzutu otrzymanych wyników w zależności od analizowanego okresu, scenariusza emisji, korekcji danych oraz modelu klimatycznego.	46
Rysunek 23 Zmienność w wieloleciu najdłuższego okresu z temperaturą minimalną niższą niż 0°C w ciągu roku. Wykres przedstawia medianę (środek pudełka), kwartyle (dolna i górna granica pudełka), obserwacje odstające (zaznaczane kropkami) oraz maksimum i minimum po usunięciu obserwacji odstających.	47
Rysunek 24 Oszacowania zmian długości najdłuższego okresu w roku z temperaturą minimalną dobową Niższą niż 0°C. Analiza rozrzutu otrzymanych wyników w zależności od analizowanego okresu, scenariusza emisji, korekcji danych oraz modelu klimatycznego.	50
Rysunek 25 Zmienność w wieloleciu liczby stopniodni grzania wyznaczonej dla temperatury bazowej 17°C. Wykres przedstawia medianę (środek pudełka), kwartyle (dolna i górna granica pudełka),	

obserwacje odstające (zaznaczane kropkami) oraz maksimum i minimum po usunięciu obserwacji odstających.	52
Rysunek 26 Oszacowania zmian liczby stopniodni grzania z temperaturą bazową 17°C. Analiza rozrzutu otrzymanych wyników w zależności od analizowanego okresu, scenariusza emisji, korekcji danych oraz modelu klimatycznego.	55
Rysunek 27 Zmienność w wieloleciu liczby stopniodni grzania wyznaczonej dla temperatury bazowej 20°C. Wykres przedstawia medianę (środek pudełka), kwartyle (dolna i górna granica pudełka), obserwacje odstające (zaznaczane kropkami) oraz maksimum i minimum po usunięciu obserwacji odstających.	57
Rysunek 28 Oszacowania zmian liczby stopniodni grzania z temperaturą bazową 20°C. Analiza rozrzutu otrzymanych wyników w zależności od analizowanego okresu, scenariusza emisji, korekcji danych oraz modelu klimatycznego.	60
Rysunek 29 Zmienność w wieloleciu długości najdłuższego okresu z temperaturą średnią dobową wyższą niż 5°C w ciągu roku. Wykres przedstawia medianę (środek pudełka), kwartyle (dolna i górna granica pudełka), obserwacje odstające (zaznaczane kropkami) oraz maksimum i minimum po usunięciu obserwacji odstających.	62
Rysunek 30 Wyniki ANOVA. Zmiany czasu trwania najdłuższego okresu w roku z temperaturą średnią dobową wyższą niż 5°C. Analiza rozrzutu otrzymanych wyników w zależności od analizowanego okresu, scenariusza emisji, korekcji danych oraz modelu klimatycznego.	65
Rysunek 31 Zmienność w wieloleciu długości najdłuższego okresu z temperaturą średnią dobową wyższą niż 10°C w ciągu roku. Wykres przedstawia medianę (środek pudełka), kwartyle (dolna i górna granica pudełka), obserwacje odstające (zaznaczane kropkami) oraz maksimum i minimum po usunięciu obserwacji odstających.	67
Rysunek 32 Wyniki ANOVA. Zmiany czasu trwania najdłuższego okresu w roku z temperaturą średnią dobową wyższą niż 10°C. Analiza rozrzutu otrzymanych wyników w zależności od analizowanego okresu, scenariusza emisji, korekcji danych oraz modelu klimatycznego.	70
Rysunek 33 Zmienność w wieloleciu startu okresu wegetacyjnego z temperaturą średnią dobową wyższą niż 5°C. Wykres przedstawia medianę (środek pudełka), kwartyle (dolna i górna granica pudełka), obserwacje odstające (zaznaczane kropkami) oraz maksimum i minimum po usunięciu obserwacji odstających.	72
Rysunek 34 ANOVA start okresu wegetacyjnego (temperatura średnia dobową wyższą niż 5°C). Analiza rozrzutu otrzymanych wyników w zależności od analizowanego okresu, scenariusza emisji, korekcji danych oraz modelu klimatycznego.	75
Rysunek 35 Zmienność w wieloleciu startu okresu wegetacyjnego z temperaturą średnią dobową wyższą niż 10°C. Wykres przedstawia medianę (środek pudełka), kwartyle (dolna i górna granica pudełka), obserwacje odstające (zaznaczane kropkami) oraz maksimum i minimum po usunięciu obserwacji odstających.	77
Rysunek 36 ANOVA start okresu wegetacyjnego (temperatura średnia dobową wyższą niż 10°C). Analiza rozrzutu otrzymanych wyników w zależności od analizowanego okresu, scenariusza emisji, korekcji danych oraz modelu klimatycznego.	80
Rysunek 37 Zmienność w wieloleciu liczby dni opadem wyższym niż 30mm/dobę. Wykres przedstawia medianę (środek pudełka), kwartyle (dolna i górna granica pudełka), obserwacje odstające (zaznaczane kropkami) oraz maksimum i minimum po usunięciu obserwacji odstających.	82
Rysunek 38 ANOVA zmiana średniej liczby dni z opadem powyżej 30mm/dobę w ciągu roku kalendarzowego. Analiza rozrzutu otrzymanych wyników w zależności od analizowanego okresu, scenariusza emisji, korekcji danych oraz modelu klimatycznego.	85

Rysunek 39 ANOVA zmiana średniej liczby dni z opadem powyżej 50mm/dobę w ciągu analizowanych trzydziestolecia. Analiza rozrzutu otrzymanych wyników w zależności od analizowanego okresu, scenariusza emisji, korekcji danych oraz modelu klimatycznego.	88
Rysunek 40 ANOVA zmiana średniej liczby dni z opadem powyżej 70mm/dobę w ciągu roku kalendarzowego. Analiza rozrzutu otrzymanych wyników w zależności od analizowanego okresu, scenariusza emisji, korekcji danych oraz modelu klimatycznego.	92
Rysunek 41 ANOVA zmiana średniej liczby dni z opadem powyżej 100mm/dobę w ciągu roku kalendarzowego. Analiza rozrzutu otrzymanych wyników w zależności od analizowanego okresu, scenariusza emisji, korekcji danych oraz modelu klimatycznego.	96
Rysunek 42 Zmienność w wieloleciu opadu maksymalnego rocznego. Wykres przedstawia medianę (środek pudełka), kwartyle (dolna i górna granica pudełka), obserwacje odstające (zaznaczane kropkami) oraz maksimum i minimum po usunięciu obserwacji odstających.	99
Rysunek 43 ANOVA zmiana maksymalnego rocznego opadu [mm/dobę]. Analiza rozrzutu otrzymanych wyników w zależności od analizowanego okresu, scenariusza emisji, korekcji danych oraz modelu klimatycznego.	102
Rysunek 44 Zmienność w wieloleciu (trzech analizowanych trzydziestoleciach) liczby dni najdłuższego okresu bez opadu. Wykres przedstawia medianę (środek pudełka), kwartyle (dolna i górna granica pudełka), obserwacje odstające (zaznaczane kropkami) oraz maksimum i minimum po usunięciu obserwacji odstających.	105
Rysunek 45 ANOVA zmian długości trwania najdłuższego okresu w roku bez opadu w ciągu roku kalendarzowego. Analiza rozrzutu otrzymanych wyników w zależności od analizowanego okresu, scenariusza emisji, korekcji danych oraz modelu klimatycznego.	108
Rysunek 46 Zmienność w wieloleciu (trzech analizowanych trzydziestoleciach) liczby dni bez opadu w ciągu roku kalendarzowego. Wykres przedstawia medianę (środek pudełka), kwartyle (dolna i górna granica pudełka), obserwacje odstające (zaznaczane kropkami) oraz maksimum i minimum po usunięciu obserwacji odstających.	110
Rysunek 47 ANOVA zmiana liczby dni w ciągu roku bez opadu. Analiza rozrzutu otrzymanych wyników w zależności od analizowanego okresu, scenariusza emisji, korekcji danych oraz modelu klimatycznego.	113
Rysunek 48 Zmienność w wieloleciu (trzech analizowanych trzydziestoleciach) liczby okresów z opadem wyższym niż 1mm/dobę. Wykres przedstawia medianę (środek pudełka), kwartyle (dolna i górna granica pudełka), obserwacje odstające (zaznaczane kropkami) oraz maksimum i minimum po usunięciu obserwacji odstających.	115
Rysunek 49 ANOVA zmiana liczby okresów w ciągu roku z opadem większym niż 1mm/dobę. Analiza rozrzutu otrzymanych wyników w zależności od analizowanego okresu, scenariusza emisji, korekcji danych oraz modelu klimatycznego.	118
Rysunek 50 Zmienność w wieloleciu (trzech analizowanych trzydziestoleciach) liczby dni z intensywnymi opadami śniegu. Wykres przedstawia medianę (środek pudełka), kwartyle (dolna i górna granica pudełka), obserwacje odstające (zaznaczane kropkami) oraz maksimum i minimum po usunięciu obserwacji odstających.	119
Rysunek 51 ANOVA zmiana liczby dni z intensywnymi opadami śniegu w ciągu roku kalendarzowego. Analiza rozrzutu otrzymanych wyników w zależności od analizowanego okresu, scenariusza emisji oraz modelu klimatycznego.	122
Rysunek 52 Zmienność w wieloleciu (trzech analizowanych trzydziestoleciach) liczby dni z pokrywą śnieżną w ciągu roku kalendarzowego. Wykres przedstawia medianę (środek pudełka), kwartyle (dolna i górna granica pudełka), obserwacje odstające (zaznaczane kropkami) oraz maksimum i minimum po usunięciu obserwacji odstających.	123

Rysunek 53 ANOVA zmiana liczby dni z pokrywą śnieżną w ciągu roku kalendarzowego. Analiza rozrzutu otrzymanych wyników w zależności od analizowanego okresu, scenariusza emisji oraz modelu klimatycznego	126
Rysunek 54 Zmienność w wieloletniu (trzech analizowanych trzydziestoleciach) liczby dni z maksymalną dobową prędkością wiatru większą niż 10m/s w ciągu roku kalendarzowego. Wykres przedstawia medianę (środek pudełka), kwartyle (dolna i górna granica pudełka), obserwacje odstające (zaznaczane kropkami) oraz maksimum i minimum po usunięciu obserwacji odstających	127
Rysunek 55 ANOVA zmiana liczby dni z maksymalną dobową prędkością wiatru większą niż 10m/s w ciągu roku kalendarzowego. Analiza rozrzutu otrzymanych wyników w zależności od analizowanego okresu, scenariusza emisji oraz modelu klimatycznego	130
Rysunek 56 Zmienność w wieloletniu (trzech analizowanych trzydziestoleciach) liczby dni najdłuższego okresu w ciągu roku kalendarzowego z maksymalną dobową prędkością wiatru większą niż 10m/s. Wykres przedstawia medianę (środek pudełka), kwartyle (dolna i górna granica pudełka), obserwacje odstające (zaznaczane kropkami) oraz maksimum i minimum po usunięciu obserwacji odstających	131
Rysunek 57 ANOVA zmiana liczby dni najdłuższego okresu w ciągu roku kalendarzowego z maksymalną dobową prędkością wiatru większą niż 10m/s. Analiza rozrzutu otrzymanych wyników w zależności od analizowanego okresu, scenariusza emisji oraz modelu klimatycznego	134
Rysunek 58 Oszacowania SPI12 na podstawie wyników dziesięciu modeli klimatycznych dla scenariusza emisji RCP4.5	144
Rysunek 59 Oszacowania SPI12 na podstawie wyników dziesięciu modeli klimatycznych dla scenariusza emisji RCP4.5	144
Rysunek 60 Oszacowania wartości SPI12 symulowanych przez dziesięć modeli klimatycznych w trzech analizowanych okresach.	145
Rysunek 61 Oszacowania SPI6 na podstawie wyników dziesięciu modeli klimatycznych dla scenariusza emisji RCP4.5	147
Rysunek 63 Oszacowania SPI6 na podstawie wyników dziesięciu modeli klimatycznych dla scenariusza emisji RCP8.5	147
Rysunek 64 Oszacowania wartości SPI6 symulowanych przez dziesięć modeli klimatycznych w trzech analizowanych okresach.	148
Rysunek 65 Oszacowania SPI3 (JJA) na podstawie wyników dziesięciu modeli klimatycznych dla scenariusza emisji RCP4.5	149
Rysunek 66 Oszacowania SPI3 (JJA) na podstawie wyników dziesięciu modeli klimatycznych dla scenariusza emisji RCP4.5	150
Rysunek 67 Oszacowania wartości SPI3(JJA) symulowanych przez dziesięć modeli klimatycznych w trzech analizowanych okresach.	150
Rysunek 67 Oszacowania SPI3 (SON) na podstawie wyników dziesięciu modeli klimatycznych dla scenariusza emisji RCP4.5	152
Rysunek 69 Oszacowania SPI3(SON) na podstawie wyników dziesięciu modeli klimatycznych dla scenariusza emisji RCP8.5.	152
Rysunek 70 Oszacowania wartości SPI3(SON) symulowanych przez dziesięć modeli klimatycznych w trzech analizowanych okresach.	153

7. Spis tabel

Tabela 1 Lista symulacji klimatycznych dostępnych w ramach EURO-CORDEX.....	3
Tabela 2 Lista dostępnych kombinacji RCM/GCM w ramach inicjatywy EURO-CORDEX	3

Tabela 3 zestawienie planowanych wskaźników ekspozycji, analiz, oraz wykorzystanych danych obserwacyjnych wraz ze źródłami ich pozyskania.....	7
Tabela 4 Klasyfikacja suszy meteorologicznej podstawie SPI.	9
Tabela 5 Progi wysokości dobowych sum opadu oraz odpowiadające im zagrożenia. Opracowano na podstawie Gorgoń i inni, 2009).....	10
Tabela 6 Oszacowania liczby dni w ciągu roku kalendarzowego z temperaturą maksymalną dobową wyższą niż 30°C. Wartości średnie dla 30-lecia 1971-2000 na podstawie wiązki surowych oraz skorygowanych symulacji dziesięciu modeli klimatycznych.....	24
Tabela 7 Zmiany liczby dni z temperaturą maksymalną dobową wyższą niż 30°C na podstawie danych z dziesięciu modeli klimatycznych. Oszacowania zmian na podstawie średniej z trzydziestolecia.	24
Tabela 8 Oszacowania najdłuższego okresu w ciągu roku kalendarzowego z temperaturą maksymalną wyższą niż 30°C. Wartości średnie dla 30-lecia 1971-2000 na podstawie wiązki surowych oraz skorygowanych symulacji dziesięciu modeli klimatycznych.....	28
Tabela 9 Zmiany czasu trwania najdłuższego okresu z temperaturą maksymalną wyższą niż 30°C na podstawie danych surowych oraz skorygowanych z dziesięciu modeli klimatycznych.	28
Tabela 10 Oszacowania liczby dni z temperaturą minimalną dobową niższą niż 20°C w ciągu roku kalendarzowego. Wartości średnie dla 30-lecia 1971-2000 na podstawie wiązki surowych oraz skorygowanych symulacji dziesięciu modeli klimatycznych.....	32
Tabela 11 Zmiany liczby dni z temperaturą minimalną wyższą niż 20°C na podstawie danych surowych oraz skorygowanych dla dziesięciu modeli klimatycznych.	32
Tabela 12 Oszacowania liczby dni z temperaturą minimalną dobową niższą niż 0°C w ciągu roku kalendarzowego. Wartości średnie dla 30-lecia 1971-2000 na podstawie surowych oraz skorygowanych symulacji dziesięciu modeli klimatycznych.....	36
Tabela 13 Zmiany liczby dni z temperaturą minimalną dobową niższą niż 0°C. Oszacowania dla danych surowych oraz skorygowanych.....	36
Tabela 14 Oszacowania liczby dni z temperaturą minimalną dobową niższą niż -10°C w ciągu roku kalendarzowego. Wartości średnie dla 30-lecia 1971-2000 na podstawie wiązki surowych oraz skorygowanych symulacji dziesięciu modeli klimatycznych.....	40
Tabela 15 Zmiany liczby dni z temperaturą minimalną niższą niż -10°C w ciągu roku kalendarzowego. Oszacowania dla danych surowych oraz skorygowanych.....	40
Tabela 16 Oszacowania liczby dni z temperaturą minimalną dobową niższą niż -20°C w ciągu roku kalendarzowego. Wartości średnie dla 30-lecia 1971-2000 na podstawie wiązki surowych oraz skorygowanych symulacji dziesięciu modeli klimatycznych.....	44
Tabela 17 Zmiany liczby dni z temperaturą minimalną dobową niższą niż -20°C w ciągu roku kalendarzowego. Oszacowania dla danych surowych oraz skorygowanych.....	44
Tabela 18 Oszacowania liczby dni najdłuższego okresu z temperaturą minimalną dobową niższą niż -0°C. Wartości średnie dla 30-lecia 1971-2000 na podstawie wiązki surowych oraz skorygowanych symulacji dziesięciu modeli klimatycznych.	48
Tabela 19 Zmiany długości najdłuższego okresu z temperaturą minimalną niższą niż 0°C na podstawie surowych oraz skorygowanych wyników z dziesięciu modeli klimatycznych.	48
Tabela 20 Oszacowania liczby stopniodni grzania wyznaczonej dla temperatury bazowej 17°C. Wartości średnie dla 30-lecia 1971-2000 na podstawie wiązki surowych oraz skorygowanych symulacji dziesięciu modeli klimatycznych.	52
Tabela 21 Zmiany liczby stopniodni grzania na podstawie surowych oraz skorygowanych wyników z dziesięciu modeli klimatycznych.	53
Tabela 22 Oszacowania liczby stopniodni grzania wyznaczonej dla temperatury bazowej 20°C. Wartości średnie dla 30-lecia 1971-2000 na podstawie wiązki surowych oraz skorygowanych symulacji dziesięciu modeli klimatycznych.	57

Tabela 23 Zmiany liczby stopniodni grzania dla temperatury bazowej 20°C na podstawie surowych oraz skorygowanych wyników z dziesięciu modeli klimatycznych.....	58
Tabela 24 Oszacowania długości okresu wegetacyjnego wyznaczonego dla temperatury bazowej 5°C. Wartości średnie dla 30-lecia 1971-2000 na podstawie wiązki surowych oraz skorygowanych symulacji dziesięciu modeli klimatycznych.....	62
Tabela 25 Zmiany długości okresu wegetacyjnego (najdłuższego okresu w roku z temperaturą średnia dobową wyższą niż 5°C na podstawie wyników z dziesięciu modeli klimatycznych.....	63
Tabela 26 Oszacowania długości okresu wegetacyjnego wyznaczonego dla temperatury progowej 10°C. Wartości średnie dla 30-lecia 1971-2000 na podstawie wiązki surowych oraz skorygowanych symulacji dziesięciu modeli klimatycznych.....	67
Tabela 27 Zmiany długości okresu wegetacyjnego (najdłuższego okresu w roku z temperaturą średnia dobową wyższą niż 10°C na podstawie wyników z dziesięciu modeli klimatycznych.....	68
Tabela 28 Oszacowania daty startu okresu wegetacyjnego wyznaczonego dla temperatury bazowej 5°C. Wartości średnie dla 30-lecia 1971-2000 na podstawie wiązki surowych oraz skorygowanych symulacji dziesięciu modeli klimatycznych.....	72
Tabela 29 Zmiany daty początku okresu wegetacyjnego (temperatura średnia dobową wyższą niż 5°C na podstawie wyników z dziesięciu modeli klimatycznych.....	73
Tabela 30 Oszacowania daty startu okresu wegetacyjnego wyznaczonego dla temperatury progowej 10°C. Wartości średnie dla 30-lecia 1971-2000 na podstawie wiązki surowych oraz skorygowanych symulacji dziesięciu modeli klimatycznych.....	77
Tabela 31 Zmiany daty początku okresu wegetacyjnego (temperatura średnia dobową wyższą niż 10°C na podstawie wyników z dziesięciu modeli klimatycznych.....	78
Tabela 32 Oszacowania liczby dni z opadem większym niż 30mm/dobę w ciągu roku kalendarzowego. Wartości średnie dla 30-lecia 1971-2000 na podstawie wiązki surowych oraz skorygowanych symulacji dziesięciu modeli klimatycznych.....	82
Tabela 33 Zmiany średniej liczby dni z opadem wyższym niż 30mm/dobę w ciągu roku kalendarzowego na podstawie wyników z dziesięciu modeli klimatycznych. Dane opisują zmiany średnie dla roku kalendarzowego. W celu wyznaczenia ilości przypadków w ciągu 30-lecia wyniki należy pomnożyć przez 30.	83
Tabela 34 Oszacowania liczby dni z opadem większym niż 50mm/dobę w ciągu roku kalendarzowego. Wartości średnie dla 30-lecia 1971-2000 na podstawie wiązki surowych oraz skorygowanych symulacji dziesięciu modeli klimatycznych.....	86
Tabela 35 Zmiany liczby dni z opadem wyższym niż 30mm/dobę w ciągu roku kalendarzowego na podstawie wyników z dziesięciu modeli klimatycznych.....	87
Tabela 36 Oszacowania liczby dni z opadem większym niż 70mm/dobę. Wartości średnie dla 30-lecia 1971-2000 na podstawie wiązki surowych oraz skorygowanych symulacji dziesięciu modeli klimatycznych.....	90
Tabela 37 Zmiany liczby dni z opadem wyższym niż 70mm/dobę w ciągu roku kalendarzowego na podstawie wyników z dziesięciu modeli klimatycznych.....	91
Tabela 38 Oszacowania liczby dni opadem większym niż 100mm/dobę. Wartości średnie dla 30-lecia 1971-2000 na podstawie wiązki surowych oraz skorygowanych symulacji dziesięciu modeli klimatycznych.....	94
Tabela 39 Zmiany liczby dni z opadem wyższym niż 100mm/dobę w ciągu roku kalendarzowego na podstawie wyników z dziesięciu modeli klimatycznych.....	95
Tabela 40 Oszacowania maksymalnego dobowego opadu w ciągu roku kalendarzowego. Wartości średnie dla 30-lecia 1971-2000 na podstawie wiązki surowych oraz skorygowanych symulacji dziesięciu modeli klimatycznych.....	99

Tabela 41 Zmiany wartości maksymalnego rocznego opadu [mm/dobę] na podstawie wyników z dziesięciu modeli klimatycznych.	100
Tabela 42 Oszacowania najdłuższego okresu bez opadu w ciągu roku kalendarzowego. Wartości średnie dla 30-lecia 1971-2000 na podstawie surowych oraz skorygowanych symulacji dziesięciu modeli klimatycznych.	105
Tabela 43 Zmiany liczby dni najdłuższego okresu bez opadu w ciągu roku na podstawie wyników z dziesięciu modeli klimatycznych. Oszacowania na podstawie średniej z wielolecia.	106
Tabela 44 Oszacowania liczby dni bez opadu w ciągu roku kalendarzowego. Wartości średnie dla 30-lecia 1971-2000 na podstawie wiązki surowych oraz skorygowanych symulacji dziesięciu modeli klimatycznych.	110
Tabela 45 Zmiany liczby dni bez opadu w ciągu roku kalendarzowego na podstawie wyników z dziesięciu modeli klimatycznych.	111
Tabela 46 Oszacowania liczby okresów w ciągu roku kalendarzowego z opadem wyższym niż 1mm/dobę. Wartości średnie dla 30-lecia 1971-2000 na podstawie wiązki surowych oraz skorygowanych symulacji dziesięciu modeli klimatycznych.	115
Tabela 47 Zmiany liczby okresów z opadem wyższym niż 1mm/dobę w ciągu roku kalendarzowego na podstawie wyników z dziesięciu modeli klimatycznych.	116
Tabela 48 Oszacowania liczby dni z intensywnymi opadami śniegu w ciągu roku kalendarzowego. Wartości średnie dla 30-lecia 1971-2000 na podstawie surowych oraz skorygowanych symulacji dziesięciu modeli klimatycznych.	120
Tabela 49 Zmiany liczby dni z intensywnymi opadami śniegu w ciągu roku kalendarzowego na podstawie wyników z dziesięciu modeli klimatycznych.	120
Tabela 50 Oszacowania liczby dni z pokrywą śnieżną w ciągu roku kalendarzowego. Wartości średnie dla 30-lecia 1971-2000 na podstawie wiązki surowych oraz skorygowanych symulacji dziesięciu modeli klimatycznych.	124
Tabela 51 Zmiany liczby dni z pokrywą śnieżną w ciągu roku kalendarzowego na podstawie wyników z dziesięciu modeli klimatycznych.	124
Tabela 52 Oszacowania liczby dni w ciągu roku kalendarzowego z maksymalną dobową prędkością wiatru większą niż 10m/s. Wartości średnie dla 30-lecia 1971-2000 na podstawie wiązki surowych oraz skorygowanych symulacji dziesięciu modeli klimatycznych.	127
Tabela 53 Zmiany liczby dni z wiatrem max większym niż 10m/s w ciągu roku kalendarzowego na podstawie wyników z dziesięciu modeli klimatycznych.	128
Tabela 54 Oszacowania liczby dni najdłuższego okresu w roku z maksymalną dobową prędkością wiatru większą niż 10m/s. Wartości średnie dla 30-lecia 1971-2000 na podstawie wiązki surowych symulacji dziesięciu modeli klimatycznych.	131
Tabela 55 Zmiany liczby dni z wiatrem max większym niż 10m/s na podstawie wyników z dziesięciu modeli klimatycznych.	132
Tabela 56 Oszacowania liczby dni z wiatrem max >15 m/s w ciągu roku kalendarzowego. Suma wartości dla 30-lecia 1971-2000 na podstawie wiązki surowych oraz skorygowanych symulacji dziesięciu modeli klimatycznych.	135
Tabela 57 Zmiany liczby dni z wiatrem max większym niż 15m/s na podstawie wyników z dziesięciu modeli klimatycznych.	135
Tabela 58 Oszacowania średniej liczby dni najdłuższego okresu z wiatrem maksymalnym większym niż 15m/s. Wartości średnie dla 30-lecia 1971-2000 na podstawie wiązki surowych oraz skorygowanych symulacji dziesięciu modeli klimatycznych.	137
Tabela 59 Zmiany czasu trwania najdłuższego okresu w ciągu roku z wiatrem max większym niż 15m/s na podstawie wyników z dziesięciu modeli klimatycznych.	137

Tabela 60 Oszacowania liczby dni z maksymalną dobową prędkością wiatru większą niż 20m/s. Wartości średnie dla 30-lecia 1971-2000 na podstawie wiązki surowych oraz skorygowanych symulacji dziesięciu modeli klimatycznych.	139
Tabela 61 Zmiany liczby dni z wiatrem max większym niż 20m/s na podstawie wyników z dziesięciu modeli klimatycznych.	139
Tabela 62 Oszacowania długości najdłuższego okresu w ciągu roku kalendarzowego z maksymalną dobową prędkością wiatru większą niż 20m/s. Wartości średnie dla 30-lecia 1971-2000 na podstawie wiązki surowych oraz skorygowanych symulacji dziesięciu modeli klimatycznych.	141
Tabela 63 Zmiany liczby dni w najdłuższym okresie z wiatrem max większym niż 20m/s na podstawie wyników z dziesięciu modeli klimatycznych.	141
Tabela 64 Klasyfikacja suszy meteorologicznej podstawie SPI.	143
Tabela 65 Oszacowania średniej warunków (SPI12) w trzech analizowanych okresach. Wyniki dziesięciu modeli klimatycznych dla dwóch scenariuszy emisji (RCP4.5 i RCP8.5).	145
Tabela 66 Oszacowania średnich warunków (SPI6) w trzech analizowanych okresach. Wyniki dziesięciu modeli klimatycznych dla dwóch scenariuszy emisji (RCP4.5 i RCP8.5).	148
Tabela 67 Oszacowania średnich warunków (SPI3 JJA) w trzech analizowanych okresach. Wyniki dziesięciu modeli klimatycznych dla dwóch scenariuszy emisji (RCP4.5 i RCP8.5).	151
Tabela 68 Oszacowania średnich warunków (SPI3 SON) w trzech analizowanych okresach. Wyniki dziesięciu modeli klimatycznych dla dwóch scenariuszy emisji (RCP4.5 i RCP8.5).	153
Tabela 69 Oszacowania liczby przypadków Z SPI12<-1 w trzech analizowanych okresach. Wyniki dziesięciu modeli klimatycznych dla dwóch scenariuszy emisji (RCP4.5 i RCP8.5).	155
Tabela 70 Oszacowania liczby przypadków Z SPI6<-1 w trzech analizowanych okresach. Wyniki dziesięciu modeli klimatycznych dla dwóch scenariuszy emisji (RCP4.5 i RCP8.5).	155
Tabela 71 Oszacowania liczby przypadków z SPI3 (JJA)<-1 w trzech analizowanych okresach. Wyniki dziesięciu modeli klimatycznych dla dwóch scenariuszy emisji (RCP4.5 i RCP8.5).	156
Tabela 72 Oszacowania liczby przypadków z SPI3 (SON)<-1 w trzech analizowanych okresach. Wyniki dziesięciu modeli klimatycznych dla dwóch scenariuszy emisji (RCP4.5 i RCP8.5).	156
Tabela 73 Estymowane względne zmiany liczby przypadków z SPI <-1 pomiędzy dwoma przyszłymi okresami a okresem referencyjnym. Oszacowania dla dwóch scenariuszy emisji na podstawie średniej z wiązki dziesięciu modeli klimatycznych.	157
Tabela 74 Oszacowania liczby przypadków Z SPI12<-1 w trzech analizowanych okresach. Wyniki dziesięciu modeli klimatycznych dla dwóch scenariuszy emisji (RCP4.5 i RCP8.5).	158
Tabela 75 Oszacowania liczby przypadków Z SPI6<-1 w trzech analizowanych okresach. Wyniki dziesięciu modeli klimatycznych dla dwóch scenariuszy emisji (RCP4.5 i RCP8.5).	158
Tabela 76 Oszacowania liczby przypadków Z SPI3(JJA)<-1 w trzech analizowanych okresach. Wyniki dziesięciu modeli klimatycznych dla dwóch scenariuszy emisji (RCP4.5 i RCP8.5).	159
Tabela 77 Oszacowania liczby przypadków Z SPI3 (SON)<-1 w trzech analizowanych okresach. Wyniki dziesięciu modeli klimatycznych dla dwóch scenariuszy emisji (RCP4.5 i RCP8.5).	159
Tabela 78 Estymowane względne zmiany dotkliwości suszy meteorologicznej pomiędzy dwoma przyszłymi okresami a okresem referencyjnym. Oszacowania dla dwóch scenariuszy emisji na podstawie średniej z wiązki dziesięciu modeli klimatycznych.	160
Tabela 79 zestawienie planowanych wskaźników ekspozycji, analiz, oraz wykorzystanych danych obserwacyjnych wraz ze źródłami ich pozyskania.	161