

Tomasz Walczykiewicz

WPŁYW DZIAŁALNOŚCI ANTROPOGENICZNEJ NA SYSTEM KLIMATYCZNY I JEGO KONSEKWENCJE – W OCZEKIWANIU NA VI RAPORT MIĘDZYRZĄDOWEGO PANELU DO SPRAW ZMIANY KLIMATU

1. Wprowadzenie

Atmosfera Ziemi jest powłoką złożoną z mieszaniny gazów zwanej powietrzem. Głównymi składnikami suchego powietrza są: azot (78,084% objętości), tlen (20,946%), argon (0,934%), dwutlenek węgla (0,0408%). Zawartość dwutlenku węgla zmienia się w cyklu rocznym i systematycznie wzrasta. Ważnym składnikiem jest również niewzględzona tutaj para wodna – jej zawartość przy powierzchni zwykle zmienia się w granicach 1–4%. Szkodliwa działalność człowieka w sferze rolniczej i produkcji energii jest odpowiedzialna za znaczącą część efektu szklarniowego. Objawia się to w ogromnym wzroście emisji dwutlenku węgla (CO₂), metanu (CH₄) i podtlenku azotu (N₂O) do atmosfery. W historii Ziemi były okresy, kiedy poziom CO₂ był wyższy niż obecnie, co nie stoi w sprzeczności z tym, że obecny wzrost koncentracji CO₂ w atmosferze skutkuje globalnym ociepleniem. Obserwatorium Mauna Loa na Hawajach, które





































Tabela 5.1. Emisja gazów cieplarnianych na 1 mieszkańca

Państwo	Emisja na 1 mieszkańca w tonach ekwiwalentu CO ₂		
	2000	2010	2014
Belgia	15,0	12,7	10,5
Czechy	14,7	13,5	12,1
Francja	9,4	8,2	7,2
Irlandia	18,8	14,2	13,1
Luksemburg	24,8	27,0	23,0
Niemcy	12,9	11,8	11,8
Polska	10,3	10,7	10,1
Szwecja	8,0	7,2	5,9

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych European Environment Agency.

ZMIANA KLIMATU

Rysunek 5.1. Kierunki ewolucji scenariuszy SRES dla różnych wskaźników

Scenario	Population	Economy	Environment	Equity	Technology	Globalization
A1FI						
A1B						
A1T						
B1						
A2						
B2						

Źródło: (według danych z Trzeciego Raportu Oceniającego (IPCC, 2001).

ma najdłuższy na Ziemi nieprzerwany zapis bezpośrednich pomiarów atmosferycznego dwutlenku węgla (CO₂), zanotowała średnie stężenie CO₂ w sierpniu 2020 roku na poziomie 411,29 ppm, a rok wcześniej 408,54 ppm, podczas kiedy średnie roczne stężenie na początku pomiarów wynosiło 325,98 ppm (Global Monitoring Laboratory, 2020).

Według Nataniela Rich'a (2019) niemal wszystko, co wiemy o globalnym ociepleniu, wiedzieliśmy już w 1979 roku dzięki raportowi Environmental Protection Agency (Budden i Zieger, 1978). W raporcie tym stwierdzono, że dalsze używanie paliw kopalnych może w ciągu dwóch lub trzech dziesięcioleci spowodować „poważne i wyniszczające” zmiany w atmosferze ziemskiej. Zmiana klimatu wywołuje naturalne zagrożenia. Naturalne zagrożenia są coraz częstsze i intensywne, a tym samym mają coraz bardziej istotny wpływ na ludność i warunki jej egzystencji, gospodarkę oraz infrastrukturę. Również kombinacja błędów wynikających z działalności antropogenicznej oraz wpływu zmiany klimatu na dynamikę zjawisk zwiększa intensywność oddziaływań, będących wynikiem zagrożeń naturalnych i katastrof. Cykliczne oceny zmian klimatu w ramach raportów przygotowuje Międzyrządowy Panel do spraw Zmiany Klimatu. Wspomniana wzrastająca częstotliwość niebezpiecznych zjawisk powoduje, że kolejne raporty są oczekiwane i szeroko komentowane.

Międzyrządowy Panel ds. Zmiany Klimatu (International Panel on Climate Change – IPCC) to organ ONZ, założony w 1988 roku przez Światową Organizację Meteorologiczną i Program Środowiskowy ONZ w celu dostarczania decydom regularnych ocen naukowych podstaw zmiany klimatu, jej skutków i przyszłych zagrożeń, a także opcji adaptacji i łagodzenia (WMO/UNEP, 1988). IPCC nie prowadzi własnych badań. Określa, gdzie istnieje zgoda w społeczności naukowej, gdzie istnieją różnice opinii i gdzie potrzebne są dalsze badania. Jest to

partnerstwo między naukowcami a decydentami i to właśnie sprawia, że jego praca jest wiarygodnym źródłem informacji dla decydentów. Od 1988 r. IPCC opracował w ramach kolejnych cykli 5 kompleksowych raportów oceniających i kilka raportów specjalnych na określone tematy. IPCC opracował również Raporty Metodologiczne, które zawierają praktyczne wytyczne dotyczące sporządzania wykazów gazów cieplarnianych na potrzeby raportowania wykazów Stron Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie Zmiany Klimatu (UNFCCC). Piąty Raport Oceniający (Assessment Report-AR5) (IPCC, 2014) został ukończony w latach 2013–2014.

Jego generalne ustalenia to:

- Wpływ człowieka na system klimatyczny jest jasny.
- Im bardziej zaburzamy klimat, tym bardziej ryzykujemy poważnymi, wszechobecnymi i nieodwracalnymi skutkami.
- Mamy środki, aby ograniczyć zmiany klimatyczne i budować zamożniejszą, zrównoważoną przyszłość.

Na 41. sesji w Nairobi w Kenii, w lutym 2015 r., Panel zdecydował o dalszym przygotowywaniu raportów oceniających co 5–7 lat i podjął szereg decyzji dotyczących przygotowania Szóstego Raportu Oceniającego – AR-6. Na 42. sesji w Dubrowniku w Chorwacji, w październiku 2015 r., Panel powołał Biuro do spraw opracowania Raportu w ramach 6. cyklu (AR6).

2. Scenariusze i alternatywne wizje oddziaływań antropogenicznych

Modelowanie zmiany klimatu wymaga konstruowania wariantowych scenariuszy rozwoju, za którymi stoją alternatywne wizje oddziaływań antropogenicznych. Scenariusze te definiowane są na podstawie scenariuszy rozwoju społeczno-gospodarczego świata, w których próbuje się przewidywać różne ścieżki rozwojowe. Międzyrządowy Panel ds. Zmian Klimatu (IPCC) opracował w 2000 roku, modyfikując poprzednie scenariusze, Special Report of Emission Scenarios (SRES) (IPCC, 2000) zawierający ich zestaw, będący podstawą dalszych prac dotyczących zmiany klimatu. Podstawowe założenia różnicujące scenariusze dotyczyły odpowiedzi na pytania:

- Czy świat będzie rozwijał się głównie w oparciu o kryteria ekonomiczne (A), czy też nastąpi odejście od postaw konsumpcyjnych na rzecz zrównoważonego rozwoju (B)?
- Czy świat będzie się rozwijał globalnie, skutkiem czego nastąpi zatarcie różnic między krajami bogatymi i biednymi (1), czy będziemy mieli do czynienia z podziałem świata na regiony z bardziej zróżnicowanym rozwojem regionalnym (2)?

Dało to cztery grupy scenariuszy: A1, A2, B1 i B2. W grupie A1 wydzielono trzy podgrupy ze względu na dominujące źródła energii: A1T (rozwój elektrowni słonecznych i nuklearnych, ogniwa paliwowe etc.), A1FI (rozwój

ZMIANA KLIMATU

w oparciu o paliwa kopalne) i A1B (zrównoważone wykorzystanie różnych źródeł energii). Scenariusze A2 dotyczą bardziej podzielonego świata. Rodzina scenariuszy A2 dotyczy świata niezależnie działających, samodzielnych narodów, stale rosnącej populacji, regionalnego zróżnicowania w rozwoju gospodarczym zorientowanym na region i wysoką emisję. Z kolei Scenariusze B1 dotyczą świata bardziej zintegrowanego i bardziej przyjaznego dla środowiska. Scenariusze B1 charakteryzują się szybkim wzrostem gospodarczym jak w A1, ale także szybkimi zmianami w kierunku gospodarki usługowo-informacyjnej. Przewiduje się, że populacja wzrośnie do 9 miliardów w 2050 roku, a następnie spadnie, podobnie jak w A1. Nastąpi zmniejszenie materiałochłonności oraz wprowadzenie czystych i oszczędnych technologii. W scenariuszu B1 charakterystyczny jest nacisk na globalne rozwiązania stabilności gospodarczej, społecznej i środowiskowej. Scenariusz B2 dotyczy świata bardziej podzielonego, ale bardziej przyjaznego dla środowiska. Scenariusze B2 charakteryzują się stale rosnącą populacją, ale w nieco wolniejszym tempie niż w A2, z naciskiem na lokalne, a nie globalne rozwiązania stabilności gospodarczej, społecznej i środowiskowej. Fragmentarycznie i nieco wolniej niż w A1 i B1 przebiegać ma zmiana technologiczna. Kierunki ewolucji scenariuszy SRES dla różnych wskaźników przedstawiono na rysunku 5.2.

W projekcie KLIMAT (Majewski, Walczykiewicz red., 2012), zrealizowanym przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowym Instytucie Badawczym (IMGW-PIB) jako podstawę analiz przyjęto trzy spośród opracowanych przez IPCC scenariuszy emisyjnych o kodowych nazwach przyjętych w Special Report of Emission Scenarios. W projekcie noszą one nazwy: A1B – rynkowy, A2 – regionalny, B1 – zrównoważony. W IMGW-PIB scenariusze te zostały poddane analizie i zaadaptowane dla Polski, dla perspektywy 2030 roku. Interpretacja ta została zweryfikowana i uzupełniona w oparciu o rezultaty badania ankietowego i dyskusji z ekspertami. Scenariusze SRES są scenariuszami referencyjnymi, co oznacza, że nie uwzględniają żadnych obecnych ani przyszłych działań ograniczających emisję gazów cieplarnianych. Scenariusze SRES zostały wykorzystane w Trzecim Raporcie Oceniającym IPCC, jak również w Czwartym Raporcie Oceniającym IPCC (AR4) (IPCC, 2007), opublikowanym w 2007 r. Nowy zestaw scenariuszy, reprezentatywne ścieżki koncentracji (RCP – Representative Concentration Pathways) (IPCC, 2014), został wykorzystany do nowych symulacji modelu klimatycznego w trakcie opracowywania AR5. Nazwę „reprezentatywne ścieżki koncentracji” wybrano, aby podkreślić, że ich głównym celem jest dostarczenie zależnych od czasu prognoz stężeń gazów cieplarnianych. Termin ścieżka podkreśla nie tylko konkretny, długoterminowy wynik koncentracji, ale także przebieg w czasie dla osiągnięcia tego wyniku. Dla każdej kategorii emisji RCP zawiera zestaw wartości początkowych i szacowanych emisji do roku 2100, w oparciu o założenia dotyczące działalności gospodarczej, źródeł energii, wzrostu liczby ludności i innych czynników społeczno-ekonomicznych (dane zawierają również historyczne, rzeczywiste informacje). Chociaż prognozy społeczno-ekonomiczne zostały zaczerpnięte z literatury w celu opracowania ścieżek

emisji, opracowana baza danych nie zawiera danych społeczno-ekonomicznych. Jak wspomniano, ze scenariuszem wiąże się określona emisja gazów zatrzymujących energię słoneczną w atmosferze ziemskiej nazywanych gazami cieplarnianymi i wpływających na dodatnie wymuszenie radiacyjne (radiative forcing). W przypadku dodatkowego wymuszenia radiacyjnego mamy do czynienia ze wzrostem energii pochłanianej przez system klimatyczny, co prowadzi do ocieplenia klimatu. Reprezentatywne cztery scenariusze zmian koncentracji dwutlenku węgla zostały zaakceptowane przez IPCC w projekcie porównania globalnych modeli klimatu (projekt CMIP5 – Piąta Faza Porównywania Modeli (CMIP5)). Coupled model intercomparison project (CMIP) jest międzynarodową inicjatywą porównywania połączonych modeli klimatu, opisujących oddziaływanie atmosfery i oceanu. W przypadku Piątej Fazy w analizach wzięto pod uwagę kilkanaście modeli.

Zaproponowane cztery scenariusze mają nazwy RCP2.6, RCP4.5, RCP6, i RCP8.5. Określają one przybliżone wymuszenie radiacyjne w 2100 roku względem 1750 roku. Rok 1750 jest rokiem odniesienia jako umowy koniec ery przedindustrialnej.

Reprezentowane przez scenariusze wartości przedstawiają oszacowane wielkości wymuszenia radiacyjnego przez gazy cieplarniane w roku 2100 (2.6, 4.5, 6.0 i 8.5 W/m²). Scenariusz ograniczania emisji to scenariusz RCP2.6, następane dwa scenariusze to scenariusze pośrednie (RCP4.5 i RCP6.0) i ostatni scenariusz to scenariusz bardzo wysokich emisji gazów cieplarnianych (RCP8.5). Scenariusze bez dodatkowych działań na rzecz ograniczenia emisji („scenariusze bazowe”) prowadzą do koncentracji gazów w zakresie scenariuszy od RCP6.0 i RCP8.5. RCP2.6 jest reprezentatywny dla scenariusza, który ma na celu utrzymać globalne ocieplenie prawdopodobnie mniej niż 2°C powyżej temperatury sprzed rewolucji przemysłowej.

Powyższe dwie rodziny scenariuszy są powszechnie używane w prognozach klimatycznych. Na rysunku poniżej (rys. 5.2) przedstawiono porównanie scenariuszy SRES i RCP. Piąty Raport z oceny IPCC (AR5) opiera się głównie na wynikach modelowania w projekcie CMIP5 przy użyciu RCP. Raport wykorzystuje również wyniki modelowania SRES w projekcie Trzeciej Fazy Porównywania Modeli (CMIP3) i dlatego identyfikuje podobne scenariusze z każdego zestawu.

Scenariusze SRES są definiowane według rodzin (A1, A2, B1 i B2), gdzie każda rodzina jest zaprojektowana w oparciu o zestaw spójnych założeń. W przeciwieństwie do tego scenariusze RCP są klasyfikowane zgodnie ze zmianą wymuszenia radiacyjnego (od +2,6 do +8,5 W/m²), która nastąpi do 2100 r.

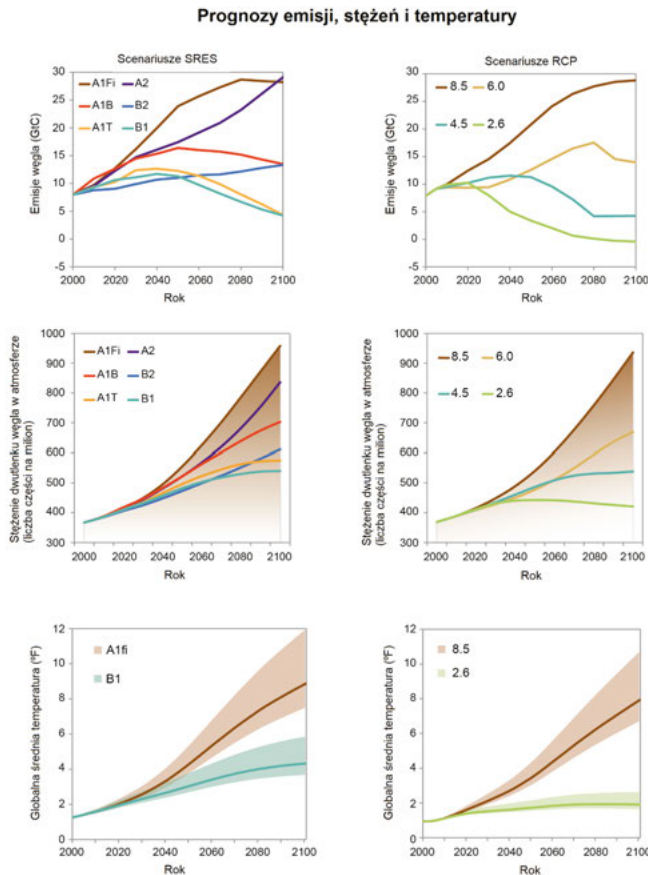
W drugiej połowie XXI wieku SRES A2 ma podobną trajektorię do trajektorii RCP8.5, przy czym obie osiągają około 8 W/m² do 2100 r. SRES A2 jest również podobny do RCP8.5 pod względem zmian średniej globalnej temperatury.

Scenariusz RCP2.6 osiąga niższe wartości niż jakikolwiek scenariusz SRES, ponieważ zawiera opcję wykorzystania polityk w celu osiągnięcia ujemnych emisji dwutlenku węgla netto przed końcem wieku.

ZMIANA KLIMATU

IPCC jest obecnie w szóstym cyklu oceny, w którym organizacja ta przygotowuje raport oceniający (AR6) z udziałem trzech grup roboczych oraz raport podsumowujący, trzy raporty specjalne i udoskonalenie swojego najnowszego raportu metodologicznego. Raport podsumowujący będzie ostatnim z produktów AR6, który ma zostać wydany w 2022 roku. SRES i RCP zostały zastąpiony przez Shared Socio-economic Pathways (Wspólne Ścieżki Społeczno-ekonomiczne [O'Neill i in., 2015]) w ramach przygotowań do Szóstego Raportu Oceniającego IPCC 2021.

Rysunek 5.2. Porównanie scenariuszy SRES i RCP



Źródło: (na podstawie Melillo i in. 2014).

Shared Socio-economic Pathways (SSP) to scenariusze prognozowanych globalnych zmian społeczno-ekonomicznych do 2100 r. Są one wykorzystywane do tworzenia scenariuszy emisji gazów cieplarnianych z różnymi politykami klimatycznymi. SSP zawierają narracje opisujące alternatywne zmiany społeczno-

Tomasz Walczykiewicz *Wpływ działalności antropogenicznej na system klimatyczny...*

-gospodarcze. Scenariusze pod względem elementów ilościowych dostarczają danych towarzyszących scenariuszom dotyczącym ludności kraju, urbanizacji i PKB. Są wypadkową wyzwań społeczno-ekonomicznych w zakresie adaptacji i wyzwań społeczno-ekonomicznych w zakresie łagodzenia skutków zmiany klimatu.

SSP1: Zrównoważony rozwój (Zielona Droga) – małe wyzwania

Świat przesuwa się stopniowo, ale wszechobecnie, w kierunku bardziej zrównoważonej ścieżki, kładąc nacisk na bardziej integracyjny rozwój, który szanuje postrzegane granice środowiskowe. Zarządzanie globalnymi dobrami powoli się poprawia, inwestycje edukacyjne i zdrowotne przyspieszają przemiany demograficzne, a nacisk na wzrost gospodarczy przesuwa się w kierunku większego nacisku na dobrostan ludzi. Napędzane coraz większym zaangażowaniem w osiąganie celów rozwojowych, nierówności zmniejszają się zarówno w poszczególnych krajach, jak i pomiędzy nimi. Zużycie jest ukierunkowane na niski przyrost materiału oraz niższą energochłonność i zasoby.

SSP2: (Środek Drogi) – średnie wyzwania

Świat podąża ścieżką, na której trendy społeczne, gospodarcze i technologiczne nie odchodzą znacząco od wzorców historycznych. Rozwój i wzrost dochodów przebiegają nierównomiernie, przy czym niektóre kraje osiągają stosunkowo dobre postępy, podczas gdy inne nie spełniają oczekiwań. Instytucje globalne i krajowe dążą do osiągnięcia celów zrównoważonego rozwoju, ale powoli je osiągają. Systemy środowiskowe ulegają degradacji, chociaż następuje pewna poprawa, a ogólna intensywność zużycia zasobów i energii spada. Globalny wzrost liczby ludności jest umiarkowany i stabilizuje się w drugiej połowie wieku. Nierówność dochodów utrzymuje się lub poprawia się powoli, a wyzwania związane ze zmniejszeniem podatności na zmiany społeczne i środowiskowe nadal istnieją.

SSP3: Regionalna rywalizacja (Kamienista Droga) – duże wyzwania

Odradzający się nacjonalizm, obawy o konkurencyjność i bezpieczeństwo oraz konflikty regionalne powodują, że kraje coraz bardziej koncentrują się na kwestiach krajowych lub co najwyżej regionalnych. Polityka zmienia się z biegiem czasu i staje się coraz bardziej ukierunkowana na kwestie bezpieczeństwa narodowego i regionalnego. Kraje koncentrują się na osiąganiu celów w zakresie bezpieczeństwa energetycznego i żywnościowego w swoich regionach kosztem szerszego rozwoju. Spadają inwestycje na edukację i rozwój technologiczny. Rozwój gospodarczy jest powolny, konsumpcja jest materiałochłonna, a nierówności utrzymują się lub pogarszają z czasem. Wzrost liczby ludności jest niski w krajach uprzemysłowionych i wysoki w krajach rozwijających się. Niski międzynarodowy priorytet w rozwiązywaniu problemów środowiskowych prowadzi do silnej degradacji środowiska w niektórych regionach.

SSP4: Nierówność (Podzielona Droga) – dominują wyzwania adaptacyjne

Bardzo nierówne inwestycje w kapitał ludzki, w połączeniu z rosnącymi dysproporcjami w możliwościach gospodarczych i sile politycznej, prowadzą do rosnących nierówności i rozwarstwień zarówno w poszczególnych krajach, jak i pomiędzy nimi. Z biegiem czasu powiększa się przepaść między społeczeństwem połączonym na arenie międzynarodowej, które wnosi wkład do sektorów gospodarki globalnej, wymagających dużej ilości wiedzy i kapitału, a fragmentarycznym zbiorem ubogich i słabo wykształconych społeczeństw, które funkcjonują w pracochłonnej i nisko zaawansowanej technologicznie gospodarce. Spójność społeczna degraduje się, a konflikty i niepokoje stają się coraz bardziej powszechne. Rozwój technologii jest wysoki w gospodarce i sektorach zaawansowanych technologii. Globalnie połączony sektor energetyczny dywersyfikuje się, inwestując zarówno w paliwa wysokoemisyjne, takie jak węgiel i niekonwencjonalna ropa, ale także w niskoemisyjne źródła energii. Polityka środowiskowa koncentruje się na kwestiach lokalnych w obszarach o średnich i wysokich dochodach.

SSP5: Rozwój napędzany paliwami kopalnymi (Autostrada) – dominują wyzwania łagodzące

Ten świat coraz bardziej wierzy w konkurencyjne rynki, innowacje i społeczeństwa partycypacyjne, które prowadzą do szybkiego postępu technologicznego i rozwoju kapitału ludzkiego jako drogi do zrównoważonego rozwoju. Rynki globalne są coraz bardziej zintegrowane. Istnieją również znaczne inwestycje w zdrowie, edukację i instytucje w celu wzmocnienia kapitału ludzkiego i społecznego. Jednocześnie dążenie do rozwoju gospodarczego i społecznego jest połączone z eksploatacją obfitych zasobów paliw kopalnych oraz przyjęciem na całym świecie stylu życia wymagającego dużej ilości zasobów i energii. Wszystkie te czynniki prowadzą do szybkiego wzrostu światowej gospodarki oraz stabilizacji liczby ludności w XXI wieku. Z powodzeniem rozwiązuje się lokalne problemy środowiskowe, takie jak zanieczyszczenie powietrza. Istnieje wiara w umiejętność skutecznego zarządzania systemami społecznymi i ekologicznymi, w tym – w razie potrzeby – za pomocą geoinżynierii.

Przeprowadzone badania w 2020 roku (Chi Xu, 2020) analizujące przewidywane konsekwencje scenariuszy wskazują, że regiony zamieszkałe przez jedną trzecią populacji ludzkiej mogą stać się tak gorące, jak najgorętsze części Sahary w ciągu 50 lat bez zmiany wzorców wzrostu populacji i bez migracji, chyba że emisje gazów cieplarnianych zostaną zredukowane. Przewidywana średnia roczna temperatura powyżej 29°C dla tych regionów znajdowałaby się poza „ludzką niszą temperaturową” – sugerowany zakres dla klimatu biologicznie odpowiedniego dla ludzi na podstawie danych historycznych, dotyczących średnich rocznych temperatur.

Globalne emisje CO₂ różnią się znacznie w zależności od SSP (Hausfather, 2018). W zorientowanym na zrównoważony rozwój SSP1, emisje osiągają szczyt

w latach 2040–2060 – nawet przy braku określonej polityki klimatycznej, spadając do około 22–48 gigaton CO₂ (Gt CO₂) rocznie do 2100 r. Skutkuje to ociepleniem o 3–3,5°C do 2100 roku. W SSP2 emisje nadal rosną do końca wieku, osiągając od 65 GtCO₂ do 85 GtCO₂, powodując ocieplenie o 3,8–4,2°C. Modele pokazują szeroki zakres możliwych emisji bazowych dla „regionalnej rywalizacji” SSP3, przy czym większość przebiegów wykazuje wzrost do około 76–86 GtCO₂ do 2100 roku. Ocieplenie w 2100 roku w SSP3 szacuje się na 3,9–4,6°C. Pomimo dużej nierówności emisje w SSP4 są stosunkowo niskie ze względu na szybki postęp technologiczny w zakresie niskoemisyjnych źródeł energii. Emisje SSP4 wahają się od 34 GtCO₂ do 45 GtCO₂ do 2100 roku, z ociepleniem o 3,5–3,8°C. Wreszcie szybko rosnąca energochłonna SSP5 wykazuje największe całkowite emisje ze wszystkich SSP, od 104 GtCO₂ do 126 GtCO₂ w 2100 roku, powodując ocieplenie o 4,7–5,1°C.

3. Kluczowe ustalenia AR5

W piątym (AR5) raporcie IPCC (2014) stwierdza się, że wpływ działalności antropogenicznej na system klimatyczny jest oczywisty i ostatnie zanotowane emisje gazów cieplarnianych są najwyższe w historii. Emisja gazów cieplarnianych od czasów preindustrialnych spowodowała ich koncentrację w ilości nienotowanej od 800 000 lat. Od 1950 roku notuje się wzrost zjawisk ekstremalnych. Ostatnie zmiany klimatu mają szeroki wpływ na ludność i systemy naturalne. Atmosfera i oceany ocieplają się, zmniejsza się pokrywa śniegu i lodu oraz podnoszą się poziomy mórz. Od początku ery industrialnej w związku z emisją CO₂ i jego depozycją w wodach oceanów ich pH zmalało o 0,1, a kwasowość wzrosła o 26%. Zasięg pokrywy lodowej Morza Arktycznego zmniejszył się w okresie od 1979 do 2012 roku w tempie od 3,5% do 4,1% na dekadę. Globalna średnia temperatura powierzchni lądu i oceanów wykazuje trend wzrostowy i zanotowany średni wzrost wynosi 0,85°C (od 0,65 do 1,06) w okresie od 1880 do 2012 roku. W skali globalnej zmniejszyła się liczba chłodnych dni i nocy. W Europie wzrosła częstotliwość występowania fal upałów. Emisja gazów cieplarnianych wynika ze wzrostu populacji, aktywności gospodarczej, stylu życia, wykorzystania energii, zagospodarowania powierzchni terenu, technologii i polityki klimatycznej. W raporcie podkreśla się, że adaptacja może zmniejszyć ryzyko skutków zmian klimatu, ale są granice jej skuteczności, szczególnie dla wielkości i tempa zmian klimatycznych. Biorąc pod uwagę perspektywę długoterminową, w kontekście zrównoważonego rozwoju zwiększa się prawdopodobieństwo, że działania dostosowawcze będą także bardziej bezpośrednio oddziaływać we wzmocnieniu przyszłych opcji działań i gotowości.

Charakterystykę zmiany klimatu w podstawowych elementach składających się na system klimatyczny przedstawiono poniżej (IPCC, 2013. Podsumowanie dla decydentów). Przyjmuje się, że utrzymywanie emisji gazów cieplarnianych spowoduje dalsze ocieplenie oraz zmiany w tych elementach.

ZMIANA KLIMATU

Atmosfera: Wzrost temperatury

Wzrost temperatury powierzchni Ziemi w końcu XXI wieku względem okresu 1850–1900, dla wszystkich scenariuszy RCP, poza scenariuszem RCP2.6, prawdopodobnie przekroczy 1,5°C. Dla scenariuszy RCP6.0 i RCP8.5 jest prawdopodobne, że przekroczy on 2°C i raczej prawdopodobne, że przekroczy 2°C dla scenariusza RCP4.5. Niezwykle istotne jest, że we wszystkich scenariuszach ocieplenie będzie dalej postępowało również po roku 2100 i tylko realizacja scenariusza RCP2.6 może ten trend zatrzymać. Należy spodziewać się więcej ekstremów ciepła, a mniej ekstremów chłodu, zarówno dobowych, jak i sezonowych. Jest bardzo prawdopodobne, że fale upałów będą pojawiać się znacznie częściej i będą znacznie dłuższe. W ograniczonym zakresie zimą mogą też pojawiać się ekstrema chłodu.

Atmosfera: Zmiany w cyklu hydrologicznym

Zmiany w globalnym cyklu hydrologicznym nie będą jednorodne. Generalnie zaznaczy się większa różnica w wielkości opadu pomiędzy wilgotnymi i suchymi regionami oraz porami roku. W scenariuszu RCP8.5 w perspektywie końca stulecia wzrost średniej ilości opadów będzie zauważalny w obszarach położonych na wysokich szerokościach geograficznych oraz w równikowych rejonach Pacyfiku. Na wielu suchych obszarach położonych na średnich szerokościach geograficznych i w regionach subtropikalnych średnia wielkość opadu prawdopodobnie spadnie, a w wielu wilgotnych regionach umiarkowanych szerokości geograficznych średnie opady prawdopodobnie wzrosną.

Atmosfera: Jakość powietrza

W zanieczyszczonych regionach lokalny wzrost temperatury powierzchni Ziemi przy braku zmiany pozostałych czynników uruchomi regionalne sprzężenia zwrotne w reakcjach chemicznych i lokalnych emisjach, co może doprowadzić do wzrostu szczytowych stężeń ozonu i PM_{2.5}.

Ocean

Nastąpi wzrost temperatury wody, co spowoduje, że ciepło rozchodzące się od powierzchni oceanu światowego będzie penetrować głębinę i wpływać na krążenie wody i prądy w oceanach.

Najsilniejsze ocieplenie powierzchni oceanów przewidywane jest w tropikach i regionach subtropikalnych półkuli północnej. Ocieplenia górnej 100-metrowej warstwy oceanu może wynieść do końca tego stulecia od około 0,6°C (RCP2.6) do 2,0°C (RCP8.5), a na głębokości 1000 m od około 0,3°C (RCP2.6) do 0,6°C (RCP8.5).

Kriosfera

W miarę wzrostu średniej temperatury powierzchni Ziemi w XXI wieku pokrywa lodu morskiego w Arktyce będzie nadal się kurczyć i tracić na grubości, a wiosenna pokrywa śnieżna na półkuli północnej będzie maleć. Analizując trendy zmian lodu morskiego w Arktyce w latach 1979–2012, w scenariuszu RCP8.5 do połowy stulecia prawdopodobnie prawie zaniknie wrześnieowe zlodzenie Oceanu Arktycznego.

Poziom morza

Średni globalny poziom morza w XXI wieku będzie się podnosił. Globalny średni wzrost poziomu morza w latach 2081–2100 względem okresu 1986–2005 prawdopodobnie będzie mieścić się w zakresie 0,26–0,55 m dla RCP2.6, 0,32–0,63 dla RCP4.5, 0,33–0,63 dla RCP6.0 i 0,45–0,82 dla RCP8.5. Dla RCP8.5 wzrost poziomu oceanów do roku 2100 wyniesie 0,52–0,98 m, a tempo przyrostu w latach 2081–2100 może wynieść 8–16 mm/rok.

Cykl węglowy i inne cykle biogeochemiczne

Zmiana klimatu wpłynie na procesy cyklu węglowego w sposób, który nasili wzrost stężenia CO₂ w atmosferze. Pochłanianie dwutlenku węgla przez oceany nasili proces ich zakwaszania.

Stabilizacja klimatu, opóźniona reakcja klimatu i nieodwracalność zmian

Wzrost średniej temperatury powierzchni Ziemi będzie spowodowany głównie skumulowanymi emisjami CO₂. Większość następstw zmiany klimatu będzie trwać przez wiele stuleci, nawet jeśli emisje CO₂ ulegną zatrzymaniu. Pokazuje to jak opóźnione są zmiany klimatu wywołane przez przeszłe, obecne i przyszłe emisje CO₂.

Znacznej części zmiany klimatu, będącej skutkiem antropogenicznych emisji CO₂, nie da się odwrócić przez setki i tysiące lat, o ile nie zostaną podjęte długotrwałe i wielkoskalowe działania na rzecz usuwania CO₂ (spadku koncentracji) z atmosfery. Temperatura powierzchni Ziemi pozostanie podniesiona przez wiele stuleci po całkowitym wstrzymaniu wszystkich emisji antropogenicznych.

4. Istotne prognozy dla obszaru Polski

Dla Europy symulacje przeprowadzono w projekcie EURO-CORDEX (Coordinated Downscaling Experiment European Domain). EURO-CORDEX to europejska część międzynarodowej inicjatywy CORDEX, programu sponsorowanego

ZMIANA KLIMATU

przez Światowy Program Badań nad Klimatem (WRCP). Jego zadaniem jest organizacja ram w celu opracowania ulepszonych prognoz regionalnych zmian klimatu dla wszystkich regionów lądowych na całym świecie. EURO-CORDEX jest ochotniczą inicjatywą europejskich instytucji badawczych.

Analizę zmiany klimatu Polski prowadzono między innymi w ramach wcześniej wspomnianego projektu KLIMAT, projektu KLIMADA (KLIMADA, 2013) i projektu CHASE-PL (Kundzewicz, Hov i Okruszko red., 2017).

Wyniki projektu EURO-CORDEX pozwalają na uwzględnienie różnych możliwości rozwoju systemu klimatycznego. Zmiany wskaźników termicznych pokazują wzrost globalnej temperatury, skutkujący spadkiem liczby dni przymrozkowych i mroźnych oraz wzrostem liczby dni gorących.

Wykorzystywane modele prognozują duży wzrost opadów w zimie w Europie środkowej i północnej, natomiast lata mogą być bardziej suche w wielu częściach Europy. Względnie małe zmiany wysokości opadów przewiduje się w okresie wiosny i jesieni.

Dla Europy jako całości prawdopodobny jest wzrost częstotliwości intensywnych opadów. W lecie spadnie liczba dni mokrych, lecz intensywność ekstremalnych opadów może wzrosnąć. Zakłada się również wzrost częstotliwości występowania wielodniowych epizodów opadowych. Jeśli chodzi o opady ekstremalne, to liczba takich przypadków może wzrosnąć w północnej i w centralnej części Europy w XXI wieku. Nie prognozuje się natomiast ich wzrostu w południowej Europie.

Kombinacja wyższej temperatury i niższej średniej wysokości opadu w lecie powodować może zwiększenie częstotliwości i intensywności występowania susz w Europie.

Wykorzystane w projekcie różne modele regionalne dla tego samego scenariusza i rozdzielczości przestrzennej przedstawiają różne wyniki dotyczące liczby dni z opadem. Największy wzrost liczby dni z opadem przewiduje się dla RCP8.5. Średnio na obszarze całego kraju wzrost ten ma wynieść 9 dni w roku, a w skrajnych przypadkach może to być 16 dni w roku (dla Polski południowo-wschodniej). Inny model przewiduje średnio dla całego kraju spadek liczby dni z opadem (2 dni w roku), a dla Polski zachodniej nawet 6 dni w roku. Nie występują obszary, na których zaobserwować można dla wszystkich symulacji spadek bądź wzrost opadów, jedynie dla obszaru Polski centralnej wyniki modelowania wskazują na wzrost liczby dni z opadem dla prawie wszystkich symulacji. Bardziej jednoznaczne są wyniki dotyczące zmiany liczby dni z dobową sumą opadu powyżej 10 mm i 20 mm. Większość wyników symulacji wskazuje na wzrost liczby dni z takimi opadami (średnio w skali kraju 4 dni w roku dla opadów powyżej 10 mm i 1 dzień w roku dla opadów powyżej 20 mm).

Nawiązując do wcześniej opisanych podobieństw scenariusza A2 do scenariusza RCP8.5, dla zilustrowania zmian w zasobach wodnych na rysunkach 5.3–5.7 przedstawiono zmianę procentową średniego przepływu rocznego i średnich przepływów sezonowych w rzekach w latach 2071–2100 w stosunku do okresu 1961–1990 dla scenariusza A2 (KLIMAT, 2012). Przedmiotowe analizy

wykonano w IMGW-PIB w ramach projektu KLIMAT w ramach zadania 3 pt. „Zrównoważone gospodarowanie wodą, zasobami geologicznymi i leśnymi kraju” i podzadania 3.1 pt. „Opracowanie struktury bazy danych o zasobach wodnych w układzie zlewniowym umożliwiającym ich kompozycję do dowolnego układu administracyjnego w odniesieniu do wód powierzchniowych, podziemnych, spełniające w zakresie zawartości wymagania merytoryczne polityki wodnej Unii Europejskiej i dyrektyw z nią związanych”.

W ramach powyższego podzadania, hipotetyczną zmianę przepływów w wybranych rzekach Polski na koniec XXI wieku opracowano na podstawie informacji zamieszczonych w raporcie europejskim (EEA, 2008), gdyż w projekcie KLIMAT nie zastosowano modelowania obliczającego wartości odpływu dla tak odległego horyzontu czasowego. Przygotowano mapy wizualizujące zmiany przepływów w okresie 2071–2100 w stosunku do lat 1961–1990 dla jednego ze scenariuszy rozwojowych, a mianowicie dla scenariusza A2.

Dane o zmianie przepływu na koniec wieku pochodzą z map opublikowanych w raporcie (EEA, 2008), a te konkretnie dane z symulacji przeprowadzonych z użyciem modelu LISFLOOD. Jest to model hydrologiczny typu opad–odpływ, który został w tym przypadku wykorzystany do modelowania zmian klimatu. Zmiana wartości pól meteorologicznych użyta w tym modelowaniu pochodziła z regionalnego modelu klimatycznego HIRHAM.

Rysunek 5.3. Procentowa hipotetyczna zmiana średniego rocznego przepływu dla głównych rzek Polski w okresie 2071–2100 w stosunku do okresu 1961–1990 dla scenariusza A2



Źródło: IMGW-PIB, 2012 Projekt: KLIMAT „Wpływ zmian klimatu na środowisko, gospodarkę i społeczeństwo” (zmiany, skutki i sposoby ich ograniczania, wnioski dla nauki, praktyki inżynierskiej i planowania gospodarczego)

ZMIANA KLIMATU

Rysunek 5.4. Procentowa hipotetyczna zmiana średniego przepływu na wiosnę dla głównych rzek Polski w okresie 2071–2100 w stosunku do okresu 1961–1990 dla scenariusza A2



Źródło: IMGW-PIB, 2012 Projekt : KLIMAT „Wpływ zmian klimatu na środowisko, gospodarkę i społeczeństwo” (zmiany, skutki i sposoby ich ograniczania, wnioski dla nauki, praktyki inżynierskiej i planowania gospodarczego)

Rysunek 5.5. Procentowa hipotetyczna zmiana średniego przepływu w lecie dla głównych rzek Polski w okresie 2071–2100 w stosunku do okresu 1961–1990 dla scenariusza A2



Źródło: IMGW-PIB, 2012 Projekt: KLIMAT „Wpływ zmian klimatu na środowisko, gospodarkę i społeczeństwo” (zmiany, skutki i sposoby ich ograniczania, wnioski dla nauki, praktyki inżynierskiej i planowania gospodarczego)

Rysunek 5.6. Procentowa hipotetyczna zmiana średniego przepływu w jesieni dla głównych rzek Polski w okresie 2071–2100 w stosunku do okresu 1961–1990 dla scenariusza A2



Źródło: IMGW-PIB, 2012 Projekt : KLIMAT „Wpływ zmian klimatu na środowisko, gospodarkę i społeczeństwo” (zmiany, skutki i sposoby ich ograniczania, wnioski dla nauki, praktyki inżynierskiej i planowania gospodarczego)

Rysunek 5.7. Procentowa hipotetyczna zmiana średniego przepływu w zimie dla głównych rzek Polski w okresie 2071–2100 w stosunku do okresu 1961–1990 dla scenariusza A2



Źródło: IMGW-PIB, 2012 Projekt : KLIMAT „Wpływ zmian klimatu na środowisko, gospodarkę i społeczeństwo” (zmiany, skutki i sposoby ich ograniczania, wnioski dla nauki, praktyki inżynierskiej i planowania gospodarczego)

ZMIANA KLIMATU

Z opublikowanych map wyodrębniono za pomocą oprogramowania GIS dane dotyczące rzek polskich. Z warstwy mapy MPHP (Mapa Podziału Hydrograficznego Polski) wyselekcjonowano większe rzeki, którym przyporządkowano wartości procentowej zmiany przepływu średniego rocznego oraz średnich dla poszczególnych pór roku. Wartości te przyporządkowano odcinkom rzek. Dla roku oraz poszczególnych pór roku podział rzek na odcinki jest inny, dopasowany do miejsca hipotetycznej zmiany przepływu.

Na przedstawionych mapach w okresie zimowo-wiosennym obserwuje się wzrost przepływów w rzekach Polski, przy czym w okresie wiosennym przepływ w górnych odcinkach karpaccich dopływów Wisły spada. W okresie letnim przepływy w rzekach kraju są przestrzennie zróżnicowane. Przepływy maleją głównie w rzekach zachodniej części Polski, w dorzeczu Odry i rzekach Przymorza oraz w górnych karpaccich dopływach Wisły. Na pozostałym obszarze rosną. W okresie jesiennym na obszarze Polski przeważają niskie przepływy, z wyjątkiem obszaru Pojezierza Mazurskiego oraz dorzecza Wieprza (wzrost przepływów). Roczna zmiana przepływów nieznacznie wzrasta na obszarze kraju, z wyjątkiem górnych odcinków karpaccich dopływów Wisły. Są to wartości hipotetyczne i ujęte są w szerokich przedziałach procentowych ale mimo wszystko wskazują na niebezpieczną utratę stabilności w systemie zasobów wodnych rzek przejawiającą się zwiększonymi zmianami sezonowymi.

5. Podsumowanie

Zmiany klimatu przyczyniają się do zwiększenia częstotliwości i intensywności naturalnych zagrożeń związanych z pogodą. W 2019 roku w bazie EM-DAT (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters –CRED) (CRED, 2019) zarejestrowano co najmniej 396 klęsk żywiołowych, które dotknęły 95 milionów ludzi. 11 755 osób straciło w nich życie. Straty materialne wyniosły prawie 130 miliardów USD. Liczba katastrof w 2019 roku jest nieco powyżej średniej z ostatnich 10 lat (zarejestrowano średnio 343 zdarzenia związane z katastrofami). Na poziomie regionalnym Azja była najbardziej wrażliwa jako kontynent z liczbą 40% ogółu wszystkich katastrof, 45% wszystkich ofiar i 74% ludzi dotkniętych katastrofami na całym świecie.

Najbardziej zabójczym wydarzeniem w 2019 roku były fale upałów, które dotknęły Europę, w tym Francję, Belgię i Holandię, z liczbą ponad 2500 ofiar śmiertelnych. Drugim była powódź w Indiach, trwająca od lipca do października, jako efekt wysokich opadów monsunowych, głównie na obszarze 13 stanów na północy kraju. Powódź przyniosła 2000 ofiar śmiertelnych. Kolejne najbardziej śmiertelne były dwie burze: cyklon Idai, który uderzył w Mozambik i Zimbabwe (marzec) z prawie 1000 ofiar i huragan Dorian, który miał wpływ na Stany Zjednoczone i Bahamy we wrześniu, z co najmniej 358 ofiarami lub zaginionymi. Zanotowano ponad dwukrotnie więcej powodzi (194) niż sztormów (91). Oba typy katastrof dotknęły prawie 64 miliony ludzi na całym świecie.

Rok 2019 charakteryzował się szczególnie dużą liczbą groźnych pożarów, które również spowodowały straty ludzkie i miały dramatyczny wpływ na środowisko. Szkody gospodarcze spowodowane przez pożary gwałtownie wzrosły od 2014 roku (279 mln USD) i już osiągnęły 30 mld USD w 2019 r. (25 mld USD tylko w Stanach Zjednoczonych). Australijskie pożary szczególnie dotknęły gospodarkę, społeczeństwo i środowisko. Skutki ekonomiczne tych pożarów szacuje się na około 5 mld USD.

Narasta zjawisko migracji klimatycznych, których przyczyną są zmiany klimatu i związane z nimi katastrofy naturalne. Ocenia się (GRID, 2019), że w 2018 roku z powodu zmian klimatu nowego miejsca do życia poszukiwało 28 milionów ludzi w 148 krajach świata. Ponad 17 milionów ludzi opuściło swoje miejsca zamieszkania przez zmiany klimatu i katastrofy naturalne, a ponad 10 milionów zostało przesiedlonych w związku z suszą i nieurodzajem, które były źródłem konfliktów zbrojnych. Szczegółową informację dotyczącą katastrof zawiera poniższa tabela.

Tabela 5.2. Katastrofy naturalne i klimatyczne a migracje ludności

Katastrofy naturalne – 17,2 mln migrantów, w tym:	Katastrofy klimatyczne 16,1 mln migrantów, w tym:
Trzęsienia ziemi – 0,915 mln	Huragany i cyklony – 7,9 mln
Erupcje wulkanów – 0,186 mln	Inne burze i sztormy – 1,4 mln
Ruchy piasku – 0,028 mln	Powodzie – 5,4 mln
Tąpnięcia – 0,001 mln	Susze – 0,764 mln
	Pożary – 0,424 mln
	Osuwiska – 165 mln
	Upały – 0,024 mln

Źródło: opracowanie własne na podstawie 2019 Global Report on Internal Displacement (GRID, 2019).

Według Climate Outreach (Climate Outreach, 2020) – organizacji zajmującej się opracowaniem długoterminowych strategii ochrony osób zagrożonych przesiedleniem z powodu zmian klimatycznych – zmiany te będą mieć istotny wpływ na ekonomię i popadanie społeczności w ubóstwo. Dotyczyć to będzie w szczególności regionów, w których gospodarka opiera się w dużym stopniu na rolnictwie.

Zmiany klimatu należy rozpatrywać uwzględniając towarzyszące jej aspekty niepewności:

- Niepewność wynikającą z założeń przyjmowanych w scenariuszach.
- Niepewność wynikającą z udziału UE (a tym samym Polski) w emisji gazów cieplarnianych w skali globalnej, a tym samym wpływu UE na decyzje co do globalnej polityki klimatycznej i wpływu na konsekwencje wynikające z przyjmowanych rozwiązań.

ZMIANA KLIMATU

- Niepewność związana z trwałością polityki UE w zakresie ograniczania gazów cieplarnianych.
- Niepewność wynikająca z zagrożeń politycznych, która może wpływać na politykę wewnętrzną (polityka energetyczna).
- Niepewność wynikająca z oddziaływań zewnętrznych, które mogą mieć wpływ na rozwój gospodarczy i sytuacje kryzysowe.

Zmiana klimatu przynosi dodatkowe wyzwania dla gospodarki miejskiej i procesów podejmowania decyzji przez władze miast i związana jest ściśle z rosnącą liczbą i różnorodnością oddziaływań na miasta, okoliczne ekosystemy i bezpośrednio sąsiedztwo ich mieszkańców. Zagrożenie dla miast i ich mieszkańców jest definiowane jako niebezpieczne zjawisko, substancje, działalność człowieka lub stan, który może spowodować utratę życia, uszkodzenia ciała lub inne skutki zdrowotne, uszkodzenia mienia, utratę źródeł utrzymania, zniszczenie infrastruktury społecznej i usług oraz zakłócenia gospodarcze lub szkody w środowisku. W przypadku ryzyka dla miast wyróżnić można pięć podgrup zagrożeń naturalnych: biologiczną, geofizyczną, meteorologiczną, hydrologiczną i klimatyczną. Unikalna fizyczna, społeczna, gospodarcza i środowiskowa kompozycja każdego miasta ma wpływ na stopień ryzyka i wrażliwości jego mieszkańców. Przyjmując, że szczegółowa ocena ryzyka adaptacji do zmian klimatu będzie różna w poszczególnych miastach i będzie bazować na czynnikach, do których można zaliczyć między innymi poziom ubóstwa, tempo urbanizacji, świadomość otaczającego ryzyka katastrof i zmiany klimatyczne, również opracowanie ogólnej typologii miast z punktu widzenia ryzyka może być przydatne w procesie adaptacji.

Wkrótce AR6 zostanie opublikowany. Potwierdzone zostaną tym samym ustalenia z poprzednich raportów, podkreślające antropogeniczne źródła zmiany klimatu.

W ramach 6. cyklu trzy raporty specjalne i raport metodologiczny już zostały opracowane:

- Raport specjalny: Globalne ocieplenie o 1,5°C (SR15).
- Sprawozdanie specjalne: Zmiany klimatu i Łąd (SRCCCL).
- Raport specjalny: Oceany i kriosfera w zmieniającym się klimacie (SROCC).
- Raport metodologiczny: 2019 – Wytyczne dotyczące krajowych wykazów gazów cieplarnianych.

Wkłady trzech grup roboczych mają zostać opublikowane w 2021 r.:

- Kwiecień 2021 – Grupa robocza I – Podstawy nauk fizycznych.
- Wrzesień 2021 – Grupa robocza III – Mitygacja zmiany klimatu.
- Październik 2021 – Grupa robocza II – Wpływ, adaptacja i wrażliwość.

Możliwe są pewne opóźnienia w związku z pandemią COVID-19. Raport podsumowujący ma zostać sfinalizowany w pierwszej połowie 2022 roku przed globalnym podsumowaniem UNFCCC w 2023 r., kiedy kraje dokonają przeglądu postępów w realizacji celu porozumienia paryskiego w dążeniu do utrzymania globalnego ocieplenia na poziomie znacznie poniżej 2°C i próby ograniczenia go do 1,5°C.

Bibliografia

- Budden, K. i Zieger W., ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF COAL LIQUEFACTION. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., EPA/600/7-78/019 (NTIS PB278333), 1978.
- Chi Xu, Kohler T.A, Lenton M.T., Svenning, J.C., Scheffer, M. Future of the human climate niche, PNAS May 26, 2020 117 (21) 11350-11355; <https://doi.org/10.1073/pnas.1910114117>
- Climate Outreach, 2020 Pobrano ze strony: www.climateoutreach.org 28.10.2020
- CRED, 2019 Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, Disasters in Review 2019, Issue No.58, April 2020.
- Global Monitoring Laboratory, 2020. Pobrano ze strony: <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/obop/mlo/> 20.10.2020.
- GRID, 2019 Global Report on Internal Displacement. Internal Displacement Monitoring Centre, Geneva, 2019
- Hausfather, Z. (2018-04-19). "Explainer: How 'Shared Socioeconomic Pathways' explore future climate change". Carbon Brief. Retrieved 2019-09-13.
- IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- IPCC, 2000, A Special Report of IPCC Working Group III, <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/sres-en.pdf>
- IPCC, 2001, Robert T. Watson <https://www.ipcc.ch/report/ar3/syr/> IPCC, 2001: Climate Change 2001: Synthesis Report. A Contribution of Working Groups I, II, and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Watson, R.T. and the Core Writing Team (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, and New York, NY, USA, 398 pp.
- IPCC, 2007: *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp. IPCC, 2007
- IPCC, 2013. Podsumowanie dla Decydentów: Przyczynek I Grupy Roboczej do Piątego Raportu Oceny Zmiany Klimatu Międzyrządowego Zespołu ds. Zmiany Klimatu 2013: Fizyczne Podstawy Naukowe. [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex i P.M. Midgley (red.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Wielka Brytania i Nowy Jork, NY, USA.
- Majewski, W. i Walczykiewicz, T., (red), Zrównoważone gospodarowanie zasobami wodnymi oraz infrastruktur hydrotechnicznej w świetle prognozowanych zmian klimatycznych, Warszawa, 2012, ss.317.
- Melillo, J. M., Richmond T.C, and Yohe, G.W. eds., 2014: Climate Change Impacts in the United States: The Third National Climate Assessment. U.S. Global Change Research Program, 841 pp. doi:10.7930/J0Z31WJ2
- Rich, N. Losing Earth. A Recent History, MCD 2019
- O'Neill, B.C, Kriegler, E., Ebi L.K., Benedict, E.K., Riahi, K., Rothamn S.D., van Ruijven J.B., van Vuuren P.D., Birkmann, J., Kok, K., Levy, M., Solecki, W. The roads

ZMIANA KLIMATU

- ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century *Global Environmental Change* Volume 42, January 2017, Pages 169-188 <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.01.004>
- KLIMADA, 2013 Opracowanie i wdrożenie strategicznego planu adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu
- KLIMAT, 2012 „Wpływ zmian klimatu na społeczeństwo, środowisko i gospodarkę (zmiany, skutki i sposoby ich ograniczania, wnioski dla nauki, praktyki inżynierskiej i planowania gospodarczego)” nr POIG.01.03.01-14-011/08 w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego. <http://klimat.imgw.pl>
- Kundzewicz W.Z., Hov O. Okruszko T. Zmiany klimatu i ich wpływ na wybrane sektory w Polsce, 2017, Norweski Mechanizm Finansowy 2009-2014 (Norway Grants), kontrakt nr POL-NOR/200799/90/2014.
- World Meteorological Organization, United Nations Environment Programme, Report of the First Session of the WMO/UNEP Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC-1, TD-No. 267, Geneva 1988