

Makroekonomiczne skutki wdrażania działań adaptacyjnych do zmian klimatu w Polsce

Maciej Cygler (red.), Maciej Pyrka, Izabela Tobiasz, Marta Roślaniec,
Aneta Tylka, Sebastian Lizak, Eugeniusz Smol, Robert Jeszke

Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy
Warszawa 2022

AUTORZY I PRAWA AUTORSKIE

Maciej Cygler (red.), Maciej Pyrka, Izabela Tobiasz, Marta Roślaniec, Aneta Tylka, Sebastian Lizak, Eugeniusz Smol, Robert Jeszke

Copyright © 2022 Instytut Ochrony Środowiska - Państwowy Instytut Badawczy (IOŚ-PIB).
Wszelkie prawa zastrzeżone

Opracowanie zostało przygotowane w Instytucie Ochrony Środowiska – Państwowym Instytucie Badawczym w ramach projektu Klimada 2.0 - Baza wiedzy o zmianach klimatu i adaptacji do ich skutków oraz kanałów jej upowszechniania w kontekście zwiększenia odporności gospodarki, środowiska i społeczeństwa na zmiany klimatu oraz przeciwdziałania i minimalizowania skutków nadzwyczajnych zagrożeń, współfinansowanego ze środków pochodzących z Unii Europejskiej z Programu Operacyjnego Infrastruktura i Środowisko (POIS.02.01.00-00-0007/17- 00).

Kontakt:

Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy

Adres: Krucza 5/11 d, 00-548 Warszawa

WWW: www.ios.edu.pl

E-mail: sekretariat@ios.edu.pl

Tel.: 22 37 50 525 (sekretariat)

22 37 50 511

37 50 556 (centrala)

SPIS TREŚCI

Spis tabel	3
Spis rysunków	3
Wprowadzenie - adaptacja jako obszar polityki klimatycznej	6
Ekonomiczny kontekst adaptacji do skutków zmian klimatu	10
Przegląd oceny ekonomicznej działań adaptacyjnych w Unii Europejskiej	14
Metodyka analizy i warsztat analityczny	20
Opis działania modelu makroekonomicznego d-PLACE	21
Połączenie modelu d-PLACE z modelami sektorowymi	23
Opis analizowanych scenariuszy	28
Scenariusz referencyjny (NEU)	29
Scenariusz adaptacji (ADAPT)	33
Wyniki modelowania	42
Wskaźniki makroekonomiczne	43
Zmiany w przekroju sektorowym	50
Podsumowanie	56
Bibliografia i źródła	61

SPIS TABEL

Tabela 1. Kryteria percepcji oraz różnice i podobieństwa między działaniami adaptacyjnymi i mitygacyjnymi w polityce klimatycznej	8
Tabela 2. Wykaz danych wymienianych pomiędzy modelem d-PLACE a modelami sektorowymi MEESA, TR3E i EPICA	25
Tabela 3. Cele redukcyjne w scenariuszu referencyjnym	31
Tabela 4. Wielkość rocznych nakładów inwestycyjnych w ramach scenariusza ADAPT-przyjęta w symulacji modelowej	40

SPIS RYSUNKÓW

Rys. 1 Rozkład geograficzny państw o najwyższej emisji gazów cieplarnianych na mieszkańca (1) oraz stopnia wrażliwości na zmiany klimatu (2)	8
Rys. 2 Zmiany PKB w makroregionach UE w zależności od scenariusza zmian klimatu i scenariusza adaptacyjnego (na wykresie pokazano odchylenie od scenariusza bazowego, (%))	18
Rys. 3 Spadek zatrudnienia w makroregionach UE w zależności od scenariusza zmian	19

klimatu i scenariusza adaptacyjnego (na wykresie pokazano odchylenie od scenariusza bazowego, (%))

Rys. 4 Schemat iteracji pomiędzy modelami d-PLACE, MEESA, TR3E i EPICA	24
Rys. 5 Podział celów redukcyjnych w non-ETS na państwa członkowskie	32
Rys. 6 Cele redukcji emisji w non-ETS dla Polski w scenariuszu referencyjnym (NEU)	33
Rys. 7 Ekonomiczne skutki realizacji działań adaptacyjnych wg scenariusza ADAPT jako procentowa zmiana PKB w Polsce	44
Rys. 8 Ekonomiczne skutki realizacji działań adaptacyjnych wg scenariusza ADAPT jako zmiana wartości PKB w Polsce	44
Rys. 9 Procentowa zmiana konsumpcji rządowej jako skutek realizacji działań adaptacyjnych wg scenariusza ADAPT	45
Rys. 10 Zmiana konsumpcji rządowej jako skutek realizacji działań adaptacyjnych wg scenariusza ADAPT wyrażona kwotowo	45
Rys. 11 Procentowa zmiana konsumpcji gospodarstw domowych jako skutek realizacji działań adaptacyjnych wg scenariusza ADAPT	46
Rys. 12 Zmiana konsumpcji gospodarstw domowych jako skutek realizacji działań adaptacyjnych wg scenariusza ADAPT wyrażona kwotowo	47
Rys. 13 Zmiana indeksu wynagrodzeń jako efekt realizacji scenariusza ADAPAT	47
Rys. 14 Zmiany PKB oraz konsumpcji gospodarstw domowych na tle zmian inwestycji związanych z realizacją scenariusza ADAPT [%]	48
Rys. 15 Procentowa zmiana wartości eksportu i importu dla Polski jako efekt realizacji scenariusza ADAPAT	49
Rys. 16 Wyrażone kwotowo zmiany w wartości eksportu i importu dla Polski jako efekt realizacji scenariusza ADAPAT	49
Rys. 17 Zmiany poziomu produkcji w sektorach jako efekt realizacji scenariusza ADAPAT	50
Rys. 18 Wyrażone kwotowo zmiany poziomu produkcji w sektorach jako efekt realizacji scenariusza ADAPAT	51
Rys. 19 Zmiany importu w sektorach jako efekt realizacji scenariusza ADAPAT	52
Rys. 20 Wyrażone kwotowo zmiany importu w sektorach jako efekt realizacji scenariusza ADAPAT	53
Rys. 21 Zmiany eksportu w sektorach jako efekt realizacji scenariusza ADAPAT	54
Rys. 22 Wyrażone kwotowo zmiany eksportu w sektorach jako efekt realizacji scenariusza ADAPAT	55



Wprowadzenie

- adaptacja jako obszar polityki klimatycznej

Polityka klimatyczna, zarówno w wymiarze globalnym, regionalnym, jak i lokalnym obejmuje przede wszystkim dwa współzależne obszary: mitygację i adaptację. Mitygacja, inaczej łagodzenie zmian klimatu, odnosi się do różnego rodzaju działań na rzecz ograniczenia lub zapobiegania emisji gazów cieplarnianych (w tym eliminację paliw kopalnych i korzystanie z energii odnawialnej, nowych technologii, zwiększanie efektywności energetycznej starszych urządzeń oraz zmianę praktyk zarządzania i zachowań konsumentów). Adaptacja natomiast oznacza dostosowanie się w wymiarze środowiskowym, społecznym i/lub ekonomicznym w reakcji na już odczuwane, lub oczekiwane zmiany klimatu oraz ich skutki. Przystosowania te obejmują zmiany w procesach, praktykach i strukturach wyżej wymienionych wymiarów mające na celu złagodzenie potencjalnych szkód, ale także wykorzystanie możliwości związanych ze zmianą klimatu. Mówiąc prościej, chodzi o potrzebę opracowania i wdrożenia rozwiązań przystosowawczych w skali globalnej, regionalnej i lokalnej w odpowiedzi na już zachodzące skutki zmian klimatu, a także przygotowania się na przyszłe skutki.

Wprawdzie niniejsze opracowanie skupia się na kwestiach adaptacji, należy wyraźnie zaznaczyć, że wzajemne zależności między nimi są na tyle istotne, iż obu tych kluczowych filarów polityki klimatycznej nie da się rozdzielić. Z jednej strony, nawet przy daleko idących i ambitnych działaniach na rzecz redukcji emisji gazów cieplarnianych i wzmacniania potencjału absorpcji dwutlenku węgla, klimat będzie się zmieniał w następnych dziesięcioleciach, stąd adaptacja do tych zmian jest i będzie nieuniknioną koniecznością. Z drugiej strony, działania adaptacyjne nie są i nie będą w stanie wyeliminować wszystkich negatywnych skutków zmian klimatu, niemniej postęp i skuteczność w zakresie wysiłków mitygacyjnych mają istotne znaczenie dla ograniczenia skutków tych zmian, a w konsekwencji skali wysiłku dostosowania się do nich.

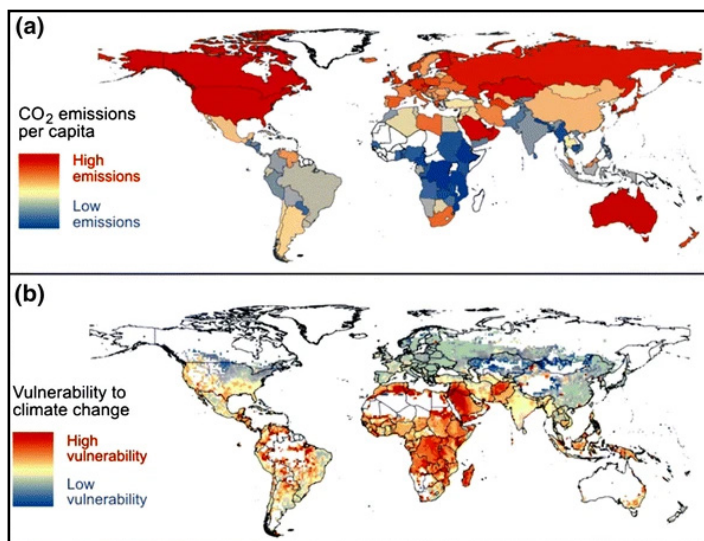
Działania adaptacyjne i mitygacyjne różnią się pod względem wymiaru przestrzennego, horyzontu czasowego oraz sektorów, których w głównej mierze dotyczą. Wprawdzie zmiany klimatu są wyzwaniem dla całej społeczności międzynarodowej, korzyści z działań adaptacyjnych osiągane są przede wszystkim w skali lokalnej, podczas gdy pozytywny efekt wysiłków mitygacyjnych ma wymiar globalny. W odniesieniu do horyzontu czasowego można stwierdzić, iż działania na rzecz redukcji emisji przyniosą skutki w dłuższym okresie, natomiast działania adaptacyjne dają efekty w stosunkowo krótkim czasie. Także sektory, w których lokowane są wysiłki, pokrywają się w nieznanym zakresie – głównie dotyczy to rolnictwa i leśnictwa, obszarów ważnych zarówno dla mitygacji, jak i adaptacji. Poza nimi działania na rzecz łagodzenia przyczyn zmian klimatu muszą być realizowane przede wszystkim w sektorach energii, transportu, przemysłu i gospodarki odpadami, zaś działania dostosowawcze – poza najbardziej chyba wrażliwym rolnictwem – dotyczą kwestii związanych z gospodarowaniem zasobami wodnymi, skutkami zdrowotnymi, ochroną stref nadmorskich, dostosowaniem infrastruktury oraz zagrożeniami terenów (państw) nisko położonych. Różnice i podobieństwa podsumowano w tabeli (Tabela 1).

Znaczenie dla wdrażania polityki klimatycznej w skali świata, a w szczególności rozkładu wysiłków między działania mitygacyjne i adaptacyjne, ma także fakt, iż kraje o największych emisjach gazów cieplarnianych są w znacznej mierze bardziej odporne na konsekwencje zmian klimatu, podczas gdy te najbardziej wrażliwe i narażone w pierwszej kolejności na negatywne skutki globalnego ocieplenia mają w większości znikomy udział w globalnej emisji gazów cieplarnianych. Ilustracją

Kryterium	Działania mitygacyjne	Działania adaptacyjne
Wymiar przestrzenny	Wspólny wysiłek w wymiarze globalnym warunkiem skuteczności działań. Korzyści w wymiarze globalnym.	Działania o charakterze międzynarodowym, ale przede wszystkim regionalnym i lokalnym. Korzyści głównie lokalne.
Horyzont czasowy	Efekty odczuwalne w dłuższym okresie (skala problemu i swoista inercja zmian klimatu).	Efekty osiągane w krótszym okresie, zarówno w zakresie dostosowania się do skutków, jak i zmniejszenia wrażliwości.
Kluczowe sektory	Sektor energii, transport, przemysł, gospodarka odpadami Leśnictwo (bo wysoka wrażliwość ekosystemów na skutki zmian klimatu i znaczenie dla potencjału pochłaniania dwutlenku oraz węgla) Rolnictwo (wysoka wrażliwość na skutki zmian klimatu oraz istotny udział w emisji gazów cieplarnianych)	Gospodarka zasobami wodnymi, ochrona zdrowia, infrastruktura, strefy przybrzeżne, tereny nisko położone

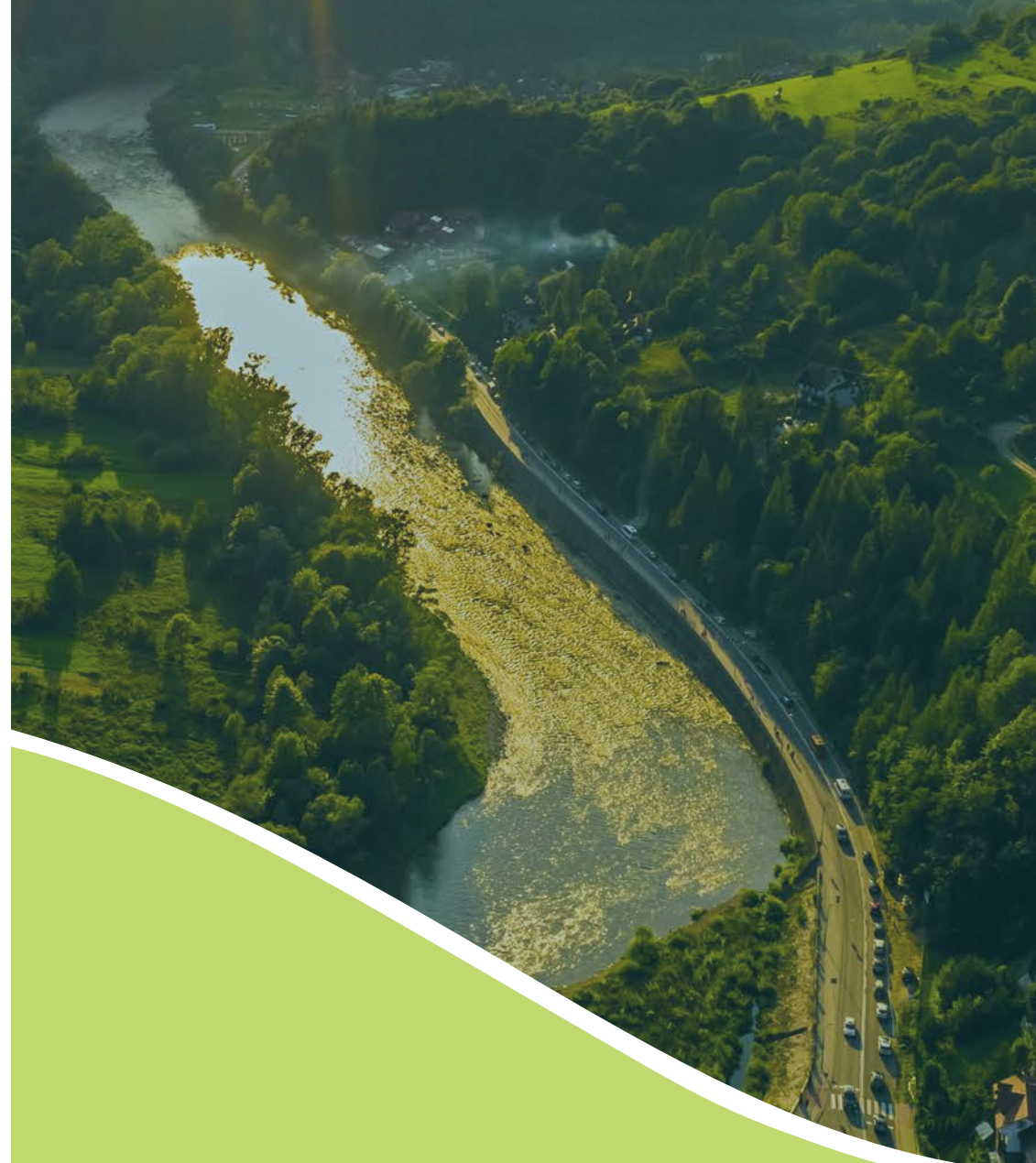
Tabela 1: Kryteria percepcji oraz różnice i podobieństwa między działaniami adaptacyjnymi i mitygacyjnymi w polityce klimatycznej
Źródło: Opracowanie własne CAKE/KOBiZE na podstawie Tol, R.S.J. (2005) Adaptation and mitigation: trade-offs in substance and methods. Environmental Science and Policy 8(6): 572-578.

tej dysproporcji może być porównanie wielkości emisji oraz stopnia wrażliwości, co przedstawia **Rysunek 1**. W państwach rozwijających się konsekwencje zmian klimatu będą najbardziej odczuwalne, gdyż ludzie tam mieszkający są najbardziej zależni od środowiska naturalnego oraz mają oni mniejsze możliwości i zasoby, aby przeciwdziałać zmianom klimatu.



Rys.1 Rozkład geograficzny państw o najwyższej emisji gazów cieplarnianych na mieszkańca (1) oraz stopnia wrażliwości na zmiany klimatu (2)

Źródło: Saraswat, C., Kumar, P. (2016). *Climate justice in lieu of climate change: a sustainable approach to respond to the climate change injustice and an awakening of the environmental movement*. *Energ. Ecol. Environ.* 1, 67–74.



**Ekonomiczny kontekst
adaptacji do skutków
zmian klimatu**

Opisane we wprowadzeniu różnice i zależności między działaniami mitygacyjnymi i adaptacyjnymi mają znaczenie nie tylko dla samej polityki klimatycznej, ale są też wyzwaniem w kontekście badawczym, także w wymiarze ekonomicznym. W bogatej już literaturze dotyczącej makroekonomicznej skali polityki klimatycznej najwięcej uwagi poświęcono działaniom mitygacyjnym, co w świetle wyżej opisanych rozważań wydaje się racjonalne, jako że ten filar polityki z uwagi na skalę i skuteczność działań ma wymiar globalny. Analizy ekonomiczne odnoszące się do działań adaptacyjnych dotyczą najczęściej wskaźników jednostkowych, studiów przypadków, badań regionalnych. Dostępne opracowania dotyczące wymiaru globalnego obejmują zazwyczaj szacunki wartości strat związanych ze skutkami zmian klimatu oraz konsekwencje zaniechań, w mniejszym stopniu analizy makroekonomiczne skutków samych działań adaptacyjnych. Uzyskanie pełnego obrazu wymaga zatem zestawienia ze sobą w analizach zarówno kosztów zaniechań, jak i ekonomicznych skutków wdrażania działań adaptacyjnych. W dalszej części opracowania przedstawiono dostępne analizy tego rodzaju wykonane dla Unii Europejskiej w związku z przygotowaniem nowej strategii adaptacyjnej.

Kluczowym elementem oceny adaptacji do zmian klimatu jest posiadanie wymiernych wskaźników, które są konkretne, wymierne, osiągalne, realistyczne i aktualne (z ang. SMART: Specific, Measurable, Achievable, Realistic and Timely). Określenie rozsądnych wskaźników dla projektów dotyczących zmian klimatu jest skomplikowane ze względu na długoterminowy horyzont zarówno projektów mitygacyjnych, jak i adaptacyjnych, a także niepewność związaną ze skutkami zmian klimatu. Działania podejmowane obecnie mają często wpływ na niepewną i odległą przyszłość. Ponadto można podjąć bieżące działania, aby nie łagodzić bezpośrednio skutków zmiany klimatu lub przystosowywać się do nich, ale jako krok w przygotowaniu do przyszłych działań, które pozwolą osiągnąć ostateczne cele łagodzenia i adaptacji. Zestaw działań, które są konieczne, aby przeciwdziałać zmianom klimatu i adaptować się do nich, należy uporządkować w sposób zapewniający postęp w realizacji celów. Zestaw taki powinien zostać opracowany dla każdego państwa z osobno i uwzględniać krajowe specyfiki, gdyż tylko wtedy może być on efektywny.

Z uwagi na charakter zmian klimatu i niejako wtórny charakter działań adaptacyjnych, nie można określić jednego stałego zestawu wskaźników dla prowadzenia projektów adaptacyjnych. Działania adaptacyjne ma raczej na celu umożliwienie gospodarkom, instytucjom, społecznościom i osobom fizycznym osiągnięcia celów rozwojowych i zmniejszenia podatności na niekorzystne skutki zmieniającego się klimatu. W związku z tym wskaźniki dla poszczególnych projektów, programów, polityki adaptacji zmian klimatu mogą czerpać z programów dotyczących innych polityk.

W opracowaniu OECD pt. „Monitoring and Evaluation for Adaptation: Lessons from Development Co-operation Agencies” wskazano, iż złożoność i niepewność nieodłącznie związane ze zmianami klimatu są efektywniej włączane do analizy w przypadku wykorzystania dokładniejszych wskaźników niż zazwyczaj jest to wymagane w prostych projektach rozwojowych. W tym celu powinien zostać utworzony odpowiedni katalog wskaźników jakościowych, ilościowych i binarnych. Natomiast w pracy pt. „Tracking adaptation and measuring development” zaleca się, aby po uzgodnieniu oczekiwanych wyników zainteresowane strony opracowały „długą listę” potencjalnych wskaźników, zadając odpowiadające na pytania, takie jak:

- Skąd będziemy wiedzieć, że zmiana nastąpiła?
- Jak poznamy sukces, kiedy go zobaczymy?
- Jakie byłyby dowody tej zmiany?

Biorąc pod uwagę globalny zasięg zmian klimatycznych i dosyć nowy charakter interwencji adaptacyjnych, pożądane jest stworzenie bazy dowodowej dostarczającej informacji o interwencjach.

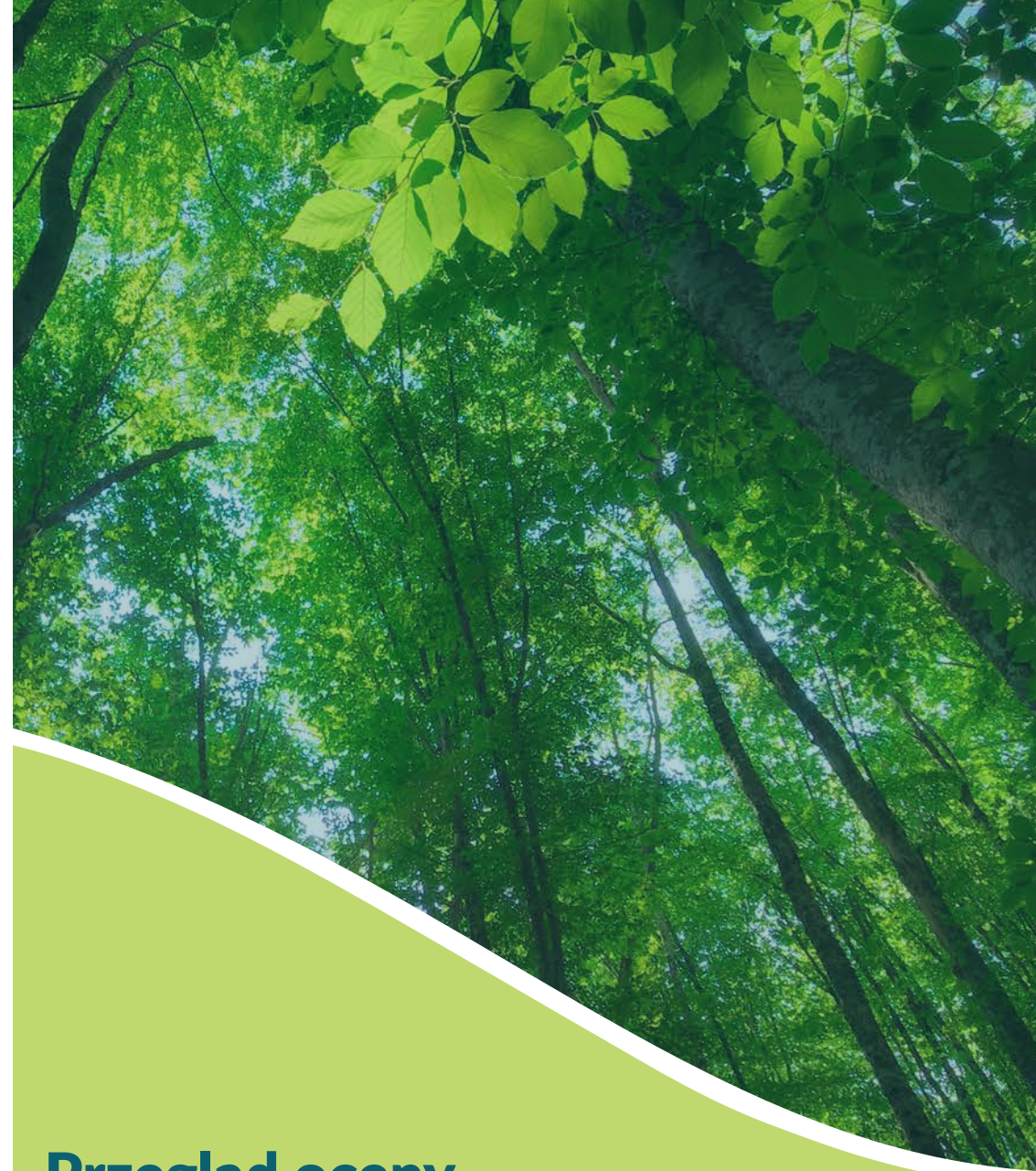
W tworzeniu wskaźników ekonomicznych (także innych) występuje szereg ograniczeń i problemów. Wśród najważniejszych warto wskazać na:

- Wskaźniki ilościowe są niezwykle przydatne, wydają się wręcz kluczowe dla procesu podejmowania decyzji, niestety nie wszystko może być policzone. Z uwagi na złożoność procesów społeczno-ekonomicznych leżących u podstaw skutecznej adaptacji, stworzenie ilościowych wskaźników często jest trudne lub wręcz niewykonalne. W celu opracowania najlepszych wskaźników należy przeanalizować dostępne dane zarówno ilościowe, jak i jakościowe, sprawdzić jak mogą się one wzajemnie uzupełniać i dopiero wtedy należy zacząć konstruowanie odpowiednich wskaźników postępu adaptacji do zmian klimatu.
- W niektórych opracowaniach coraz większy nacisk kładzie się na standaryzację i agregację wskaźników ilościowych dla adaptacji do zmian klimatu. Standardowe wskaźniki mogą być relatywnie proste do raportowania i są atrakcyjne, o ile mogą być wykorzystane do zwięzłego porównania, konsolidacji i prezentacji danych. Standaryzacja czyni je nieocenionymi w wielu krytycznych zastosowaniach, w tym w zakresie odpowiedzialności, badań porównawczych i globalnej analizy polityki. Jednak znormalizowane wskaźniki mogą nie odzwierciedlać lokalnego kontekstu i mogą zmniejszać szanse na uchwycenie kluczowych relacji. To z kolei może prowadzić do mało konkretnego lub mylącego zestawu wniosków. Czasami problemem jest nie sam wybór wskaźników, ale sposób ich późniejszego wykorzystania w procesie monitoringu i ewaluacji. Należy pamiętać, że wskaźniki dość łatwo mogą być nieprawidłowo interpretowane i nadużywane, zwłaszcza gdy są wyrwane z kontekstu i są oparte na niepełnej bazie danych. W świetle wysiłków na rzecz analiz makroekonomicznych należy nieustannie pamiętać, iż ze względu na swój charakter wszystkie globalne wskaźniki oferują wprawdzie możliwość porównania między krajami, ale adaptacja jest przede wszystkim kwestią lokalną.
- W realnych warunkach dane niezbędne do oszacowania wartości wskaźników, które wydają nam się właściwe (konieczne) do realizacji polityki, nie zawsze są stale dostępne. Na przykład mogą istnieć liczne informacje na temat zmian w zużyciu wody w jednym regionie i bardzo niewiele w innym. Przydatne jest posiadanie zestawu „podstawowych” wskaźników, które są spójne w całym projekcie lub programie, ale należy ciągle badać, w jaki sposób można te wskaźniki uzupełnić, zapewniając jednocześnie, że metodologia i ich budowa

pozostaną oparte na solidnych podstawach.

Przykłady wskaźników ekonomicznych, które rozważano w dalszej części opracowania, przedstawiono poniżej, aczkolwiek z uwagi na dostępność danych oraz wiarygodność szacunków niezbędnych do przyjęcia założeń modelowych, wykorzystano tylko niektóre z nich:

- zmniejszona wydajność pracy na skutek wzrostu temperatury,
- liczba zalanych nieruchomości rocznie,
- liczba nieruchomości położonych na terenie zalewowym (lub strefie przybrzeżnej),
- liczba przedsiębiorstw zlokalizowanych na obszarach ryzyka erozji powodziowej i przybrzeżnej,
- liczba utraconych nieruchomości w wyniku erozji brzegowej rocznie,
- roczne straty drewna powodowane przez szkodniki i patogeny,
- całkowita długość sieci kanalizacyjnej i odwadniającej zagrożona na skutek zmian klimatu,
- straty PKB w procentach rocznie z powodu ekstremalnych opadów,
- straty finansowe dla przedsiębiorstw z powodu ekstremalnych zdarzeń pogodowych,
- wzrost konsumpcja energii elektrycznej na skutek zmian klimatu,
- zmiany cen wskutek wdrażania działań adaptacyjnych,
- zmiany w handlu międzynarodowym,
- zmiany konsumpcji gospodarstw domowych.



Przegląd oceny ekonomicznej działań adaptacyjnych w Unii Europejskiej

Pierwszym ważnym dokumentem Unii Europejskiej dotyczącym wyzwań adaptacji była Biała Księga w sprawie adaptacji do zmian klimatu” (COM(2009)147). To dokument opracowany i opublikowany wydany przez Komisję Europejską, w którym określono ramy dojścia Wspólnoty do stanu umożliwiającego praktyczne zmierzenie się ze skutkami zmian klimatu i wdrożenie odpowiednich działań. Jednym z ważnych działań wskazanych w dokumencie i zapewniających skuteczność polityki miałyby być włączanie wyzwań adaptacji do kluczowych polityk Unii Europejskiej, w tym polityki zdrowotnej i społecznej, sektorów rolnictwa i leśnictwa, bioróżnorodności i ekosystemów, gospodarowania zasobami wodnymi, polityki wobec strefy wybrzeża i obszarów morskich oraz innych sektorów gospodarczych.

Obecnie plan działań na rzecz adaptacji do skutków zmian klimatu w Unii Europejskiej (tzw. nowa strategii adaptacyjna UE) jest integralną częścią szerszej strategii znanej pod mianem Europejskiego Zielonego Ładu. Komisja Europejska przyjęła nową strategię UE w zakresie adaptacji do zmian klimatu 24 lutego 2021 r. Nowa strategia określa, w jaki sposób Unia Europejska może dostosować się do nieuniknionych skutków zmiany klimatu i stać się odporną na zmiany klimatu do 2050 roku.

Strategia ma cztery główne cele: uczynienie adaptacji inteligentniejszą, szybszą i bardziej systemową oraz zintensyfikowanie międzynarodowych działań w zakresie przystosowania się do zmian klimatu. Podkreśla się, iż działania adaptacyjne muszą być oparte na solidnych danych i narzędziach oceny ryzyka, powszechnie dostępnych. Ważne jest zatem gromadzenie i udostępnianie wiedzy na temat adaptacji (zob. platformę Climate-ADAPT).

Już obecnie dostępny jest zestaw narzędzi ECONADAPT, który wspomaga ocenę działań adaptacyjnych i może dostarczyć informacji na temat wartości, wydajności i wykonalności projektów oraz strategii adaptacyjnych. Wspomaga on również, w połączeniu z dostępnymi danymi, wykonywanie własnych analiz, zarówno w wymiarze metodologicznym, interpretacyjnym, jak i odnoszącym się do samych wyników i możliwości ich porównywania.

Od czasu wydania Białej księgi adaptacji Unia Europejska zrealizowała i nadal realizuje szereg projektów badawczych wzbogacających wiedzę w zakresie ekonomicznych aspektów polityki klimatycznej, zarówno w sferze mitygacji, jak i adaptacji. Wprawdzie w odniesieniu do adaptacji większość opracowań dotyczy raczej szacunków strat związanych ze skutkami zmian klimatu oraz ich zmniejszenia w efekcie podjęcia działań adaptacyjnych, w mniejszym zaś ekonomicznych skutków wdrażania samych działań/strategii adaptacyjnych. Na tym tle – co jest istotne w kontekście niniejszej analizy – wyróżniają się projekty PESETA i COACCH. W ramach projektu PESETA (badanie PESETA IV) oszacowano straty gospodarcze spowodowane zmianami klimatu w różnych scenariuszach. Wyniki pokazały, iż w scenariuszu zakładającym wzrost średniej temperatury powietrza atmosferycznego o 1,5°C straty mogą sięgnąć 42 mld EUR rocznie (0,33% PKB), przy 2,0°C wzrastają do 83 mld EUR rocznie (0,65% PKB), a przy wzroście o 3,0°C do co najmniej 175 mld EUR rocznie (1,38% PKB).

Z kolei w projekcie COACCH, bazującym na szacunkach strat opracowanych w ramach badania PESETA IV, pokazano straty narastające w czasie i wraz ze wzrostem temperatury, sięgając około 1,1% PKB rocznie do 2050 r. w scenariuszu 4°C i na poziomie 1,92% PKB do 2100 r. (1,1% PKB UE odpowiada około 200 mld EUR w roku 2020). Straty różnią się w zależności od regionu

i szacuje się, że najwyższe wystąpią w środkowej części południa Europy (do -1,55% PKB rocznie przy wzroście o 4°C), a najniższa w Europie północnej (do -0,80% PKB).

Na szczególną uwagę zasługuje badanie przeprowadzone na modelu GINFORS-E i opisane w dokumencie analitycznym przygotowanym na potrzeby procedowania projektu Nowej Strategii Adaptacji UE do Zmian Klimatu (Impact Assessment accompanying the document „Forging a climate-resilient Europe - The new EU Strategy on Adaptation to Climate Change”, SWD(2021) 25 final). GINFORS-E to globalny model ekonomiczno-energetyczny obejmujący modele krajowe dla wszystkich krajów UE i głównych partnerów handlowych powiązanych dwustronnym handlem na poziomie przemysłu (model podobny do wykorzystywanego w na potrzeby polityki klimatycznej UE modelu pracach E3ME). Model GINFORS-E umożliwił oszacowanie makroekonomicznych skutków działań proponowanych w ramach Strategii Adaptacyjnej. Testowano w nim trzy scenariusze zmian klimatu i odpowiadające nim scenariusze adaptacji. Należy jednak zaznaczyć, że także w tym przypadku – choć wyniki są obszerniejsze i bardziej zdezagregowane niż we wcześniej wymienionych przykładach – nie odnoszą się wprost do działań adaptacyjnych, lecz do zwiększenia stopnia odporności na skutki zmian klimatu w analizowanych scenariuszach. Niemniej istotną wartością są wyniki w wymiarze nie tylko ogólnoeuropejskim, ale także w podziale na regiony UE.

Konstruując scenariusz bazowy, wybrano pięć obszarów/rodzajów szkód wskutek zmian klimatu:

- Rolnictwo – w tym przypadku skutki zmian klimatu odczuwane przez sektor prowadzą do wzrostu cen produktów. Poprzez powiązania międzysektorowe przekłada się to także na inne sektory, w tym przemysł spożywczy (wykorzystujący produkty rolne)
- Mniejsze zapotrzebowanie na ciepło, ale jednocześnie większe zapotrzebowanie na chłodzenie - uwzględnione jest w fizycznych bilansach energii modelu jako zmiany zużycia energii elektrycznej (dla chłodzenia) i różnych nośników energii (dla ogrzewania). Zmiany zużycia i przemian energii w sensie fizycznym przekładają się na zmiany popytu, a konsumenci dostosowują swoją strukturę konsumpcji.
- Zmiany obrotów w sektorze turystycznym są interpretowane jako zmiany popytu końcowego na sektor usług noclegowych i gastronomicznych. Nakłady pośrednie i inne kategorie popytu końcowego również zmieniają się odpowiednio wskutek przepływów międzygałęziowych (zakłada się, że niższy popyt zostanie zrekompensowany dodatkowym popytem w innych kategoriach).
- Szkody w strefie przybrzeżnej (nadmorskiej) i uszkodzenia systemu transportowego skutkują zmniejszeniem przewozów. Szkody te zostały zamodelowane jako mniejsze zapotrzebowanie na transport (morski), co ma również negatywny wpływ na produkcję branży transportowej i innych powiązanych branż.

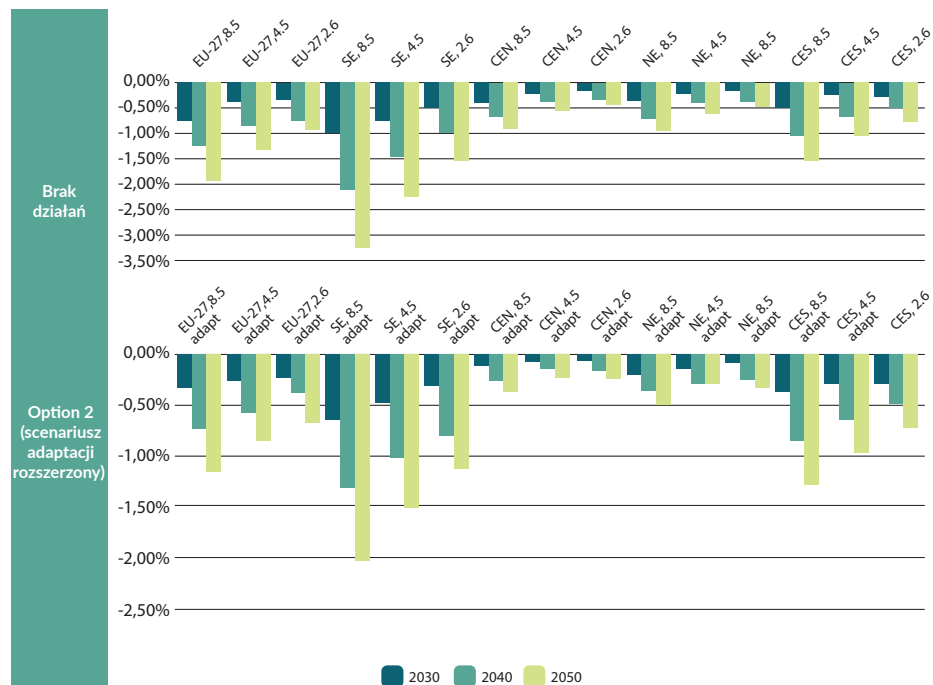
- Skutki zdrowotne zmian klimatu, tj. fal upałów i wzrostu średniej temperatury, przejawiają się niższą wydajnością pracy (wprowadzaną do modelu jako wzrost kosztów użytkownika, które determinują ceny produkcji dla wszystkich branż). Oznacza to, że negatywny wpływ na zdrowie spowoduje wzrost poziomu cen w gospodarce, co ma negatywny wpływ na konkurencyjność międzynarodową i zmniejsza siłę nabywczą konsumentów w kraju.
- Implementowanie w modelu strat zmniejszonych wskutek działań adaptacyjnych wydaje się dość proste, jako że odbywa się proporcjonalnie, tzn. jeżeli adaptacja zmniejszy negatywne skutki o 10%, opisane powyżej założenia do modelowania zmian klimatu w scenariuszach również zredukowane są o 10%. Dodatkowe efekty ekonomiczne wynikają z włączenia do modelowania konkretnych działań adaptacyjnych (np. dodatkowe inwestycje w sektorze budowlanym, przy czym same działania mogą być realizowane w różnych obszarach – energia, infrastruktura, wybrzeże, sektor zdrowia itd.).
- Poniżej przedstawiamy wybrane wyniki uzyskane w tym badaniu. Przedstawiono je jako względne różnice w latach 2030, 2040 i 2050 w trzech scenariuszach w stosunku do scenariusza odniesienia (zbudowano je na bazie scenariuszy RCP opracowanych i wykorzystywanych przez IPCC: 2.6, 4.5 oraz 8.5., zakładających wzrost średniej temperatury odpowiednio o 1,5, 2,5 i 4oC). Straty ekonomiczne liczone są na rok 2050, zaś wartości pośrednie uzyskano poprzez interpolację od roku bazowego. Na Rysunek 2 przedstawiono zmiany PKB dla czterech regionów UE oraz trzech scenariuszy. Warto zwrócić uwagę zarówno na skalę prognozowanych zmian, jak i zróżnicowanie w czasie oraz regionalne. W każdej opcji przewidywany jest spadek PKB, także w północnej części Europy, która w pewnym stopniu skorzysta na ociepleniu klimatu, niemniej w ujęciu netto doświadczy spadku PKB. Zwraca uwagę również znaczące powiększenie spadku PKB w czasie – widać wyraźną różnicę między latami 2030 i 2050. Niemniej widoczne są również pozytywne skutki podejmowania działań adaptacyjnych – dla Unii Europejskiej prognozowany spadek PKB można ograniczyć nawet o 0,5 punktu procentowego w scenariuszu najdalej idących zmian klimatu.



Rys. 2 Zmiany PKB w makroregionach UE w zależności od scenariusza zmian klimatu i scenariusza adaptacyjnego (na wykresie pokazano odchylenie od scenariusza bazowego, %)

SE – Europa południowa, CEN – północna część Europy środkowej, NE – Europa północna, CES – południowa część Europy środkowej

Źródło: Commission Staff Working Document SWD(2021) 25 final



Rys. 3 Spadek zatrudnienia w makroregionach UE w zależności od scenariusza zmian klimatu i scenariusza adaptacyjnego (na wykresie pokazano odchylenie od scenariusza bazowego, %)

SE – Europa południowa, CEN – północna część Europy środkowej, NE – Europa północna, CES – południowa część Europy środkowej

Źródło: Commission Staff Working Document SWD(2021) 25 final

Rysunek 3 przedstawia zmiany w zatrudnieniu w podobnym układzie geograficznym i scenariuszowym. Warto zauważyć, iż o ile struktura tych zmian jest podobna do tej pokazanej dla wskaźnika PKB, o tyle ich skala jest nieco większa. Można to po części zinterpretować jako efekt wzrostu wydajności pracy w scenariuszach zakładających działania adaptacyjne (obejmujące też rozwój technologiczny), a częściowo jako utratę miejsc pracy będącą skutkiem dostosowania do skutków zmian klimatu. Na uwagę zasługuje także nieco inny rozkład prognozowanych zmian. Największy spadek zatrudnienia przewidywany jest w południowym makroregionie Unii Europejskiej, podczas gdy najmniejsza zmiana mierzona wskaźnikiem PKB spodziewana jest w południowej części Europy środkowej.

Metodyka analizy i warsztat analityczny

W przeprowadzonej analizie zastosowano podejście polegające na symulacji zmian w gospodarce przeprowadzonej dla scenariusza referencyjnego i scenariusza adaptacyjnego (opisanych szczegółowo w kolejnym rozdziale niniejszego opracowania). Scenariusz referencyjny oznaczany tu mianem NEU obejmuje obecnie wdrożone i przyjęte do wdrożenia polityki oraz działania i odzwierciedla ścieżkę rozwoju gospodarczego Unii Europejskiej i Polski uwzględniającą osiągnięcie neutralności klimatycznej w 2050 r. W scenariuszu tym nie zaimplementowano wdrażania strategii adaptacyjnej, aczkolwiek mieszczą się w nim działania odpowiadające autonomicznej adaptacji. Scenariusz adaptacyjny, oznaczany tu mianem ADAPT i będący scenariuszem analizowanym. Obejmuje on działania na rzecz dostosowania gospodarki Polski do przewidywanych skutków zmian klimatu, które na potrzeby badania zdefiniowano na podstawie analizy dokumentów strategicznych oraz innych źródeł. Można przyjąć umownie, iż w scenariusz ADAPT ujęto aktualną strategię adaptacyjną – choć formalnie nie przyjęto jeszcze takiego dokumentu od 2013 roku – dążąc do należytej aktualności założeń badawczych. Zestaw działań adaptacyjnych został wyrażony jako niezbędne dodatkowe nakłady inwestycyjne w gospodarce, które zostały alokowane w sektorach uznanych za istotne dla adaptacji do skutków zmian klimatu.

Ważnym zastrzeżeniem jest to, iż w analizie skupiono się na badaniu skutków gospodarczych umownej strategii adaptacyjnej, nie zaś na ocenie i wartościowaniu skutków braku działań i/lub zaniechań tak szeroko eksponowanych w literaturze światowej. Naszym celem było pokazanie, w jaki sposób wpłynie na gospodarkę podjęcie działań. W procesie decyzyjnym należałoby zestawić wyniki niniejszej analizy z oszacowaniem wartości szkód, które mogą powstać wskutek braku działań adaptacyjnych oraz wartości korzyści mierzonych skalą strat unikniętych w efekcie podjęcia działań (nie było to przedmiotem niniejszej analizy).

Analizę przeprowadzono z wykorzystaniem narzędzi modelowych, w tym w szczególności ekonomicznego modelu równowagi ogólnej d-PLACE, współpracującego z ekonomicznymi modelami sektorów energii transportu i rolnictwa. Narzędzia analityczne opisano w kolejnym punkcie tego rozdziału. Zgodnie z przyjętymi założeniami metodycznymi model równowagi ogólnej nie uwzględnia kosztów zmian klimatycznych (w rezultacie nie są w modelu ujęte korzyści związane z podejmowanymi inwestycjami, a jedynie koszty tych inwestycji oraz ich wpływ na wskaźniki gospodarcze). W ten sposób możliwe było zidentyfikowanie kierunków zmian w gospodarce ogółem i w poszczególnych sektorach oraz oszacowanie ich skali i dynamiki.

4.1. Opis działania modelu makroekonomicznego d-PLACE

d-PLACE jest to rekursywnie-dynamiczny model równowagi ogólnej (z ang. Computable General Equilibrium, CGE), ogólnosiękatowy i wielosektorowy. Jest oparty na statycznym modelu CGE o nazwie PLACE, który został stworzony przez Centrum Analiz Polityki Klimatycznej (polski akronim - CAK) w latach 2013-2016.

Model d-PLACE jest rozwiązywany w sposób rekurencyjno-dynamiczny dla lat 2014-2050, w krokach 5-letnich (z wyjątkiem pierwszego kroku, który obejmuje 1 rok). Dane GTAP-10 (Global Trade Analysis Project) posłużyły do kalibracji roku bazowego. Przedstawiają one początkowy stan światowej gospodarki w 2014 r. Scenariusz bazowy (do 2050 r.) jest zgodny z zewnętrznymi

projekcjami zmiany PKB, limitów emisji dla UE i limitów emisji dla pozostałych regionów świata. Skutki poszczególnych analizowanych regulacji w scenariuszach polityki klimatycznej przedstawiane są z reguły, jako odchylenia od scenariusza bazowego.

Globalny wymiar modelu umożliwia kompleksową analizę handlu międzynarodowego poprzez wyodrębnienie wielu krajów i regionów świata. Pozwala również na uwzględnienie zmiany lokalizacji produkcji i źródeł emisji na poziomie globalnym. Model d-PLACE powstał w celu zbadania wpływu polityki energetycznej i klimatycznej na gospodarkę, dlatego jego główne cechy zostały zaprojektowane z myślą o takich specyficznych potrzebach.

Po pierwsze, emisje gazów cieplarnianych są modelowane bardzo szczegółowo. Model różni emisje CO₂ i emisje innych gazów cieplarnianych, takich jak N₂O (podtlenek azotu), CH₄ (metan), HFC (wodorofluorowęglowodory). Emisje z różnych gazów są wyrażone w ekwiwalencie CO₂. Emisje pochodzące ze spalania paliw i emisje procesowe są modelowane oddzielnie. Emisje dzielą się na dwie główne kategorie:

- Związane ze spalaniem paliw – emisja jest proporcjonalna do zużytej energii/paliwa,
- Emisje procesowe (np. emisja CO₂ z produkcji cementu) – jest związana z poziomem aktywności i proporcjonalna

Włączenie emisji innych niż CO₂ do d-PLACE powoduje, że cele redukcji emisji krajów rozwiniętych obejmują również te gazy.

Drugim wyróżnikiem modelu jest szczegółowe modelowanie polityki klimatycznej w państwach członkowskich UE, z uwzględnieniem celów redukcji emisji w sektorach EU ETS i non-ETS. Przygotowywane scenariusze zawierają cele redukcyjne dla EU ETS na poziomie całej UE. Natomiast w przypadku sektorów nieobjętych EU ETS w UE określa się roczne krajowe ścieżki redukcji. Model zawiera również cele redukcji emisji dla regionów poza UE, które zostały wyprowadzone z NDC przedłożonych w ramach porozumienia paryskiego.

W modelu d-PLACE szczegółowo modelowane jest zużycie energii. Branże i konsumenci dostosowują swój miks energetyczny w odpowiedzi na zmiany względnych cen różnych paliw (w tym kosztów emisji) i energii elektrycznej. Dodatkowo wytwórcy mogą zastępować energię kapitałem i pracą. Proces produkcji jest modelowany za pomocą zagnieżdżonej funkcji CES (stałej elastyczności substytucji) i funkcji produkcji Leontiefa. Aby zbadać wpływ polityki energetycznej i klimatycznej, model wyróżnia branże energochłonne i wysokoemisyjne, takie jak produkcja rafinowanych produktów naftowych i koksu, chemikalia, minerały niemetaliczne (np. cement, wapno, gips, szkło), papierowo-celulozowa, żelazo i stal oraz aluminium. Ponieważ model obejmuje wybór czasu pracy i wypoczynku, pozwala na analizę wpływu polityki klimatyczno-energetycznej na zagregowany dobrobyt gospodarstw domowych, w tym wyliczenie mechanizmów rekompensat w celu zrównoważenia zwiększonych kosztów produktów dla konsumentów.

Model d-PLACE umożliwia analizę względnych potencjałów redukcji emisji w różnych sektorach i krajach, ponieważ uwzględnia specyficzne dla sektora i kraju technologie produkcji oraz wzorce konsumpcji. Pozwala spojrzeć na cele polityki środowiskowej i klimatycznej z perspektywy

minimalizacji kosztów, a także porównać obciążenia między krajami¹.

Model zakłada stopę deprecjacji kapitału dla wszystkich sektorów gospodarki na poziomie 7% rocznie. Założenie odnosi się także do kapitału trwałego powstającego wskutek inwestycji adaptacyjnych.

4.2. Połączenie modelu d-PLACE z modelami sektorowymi

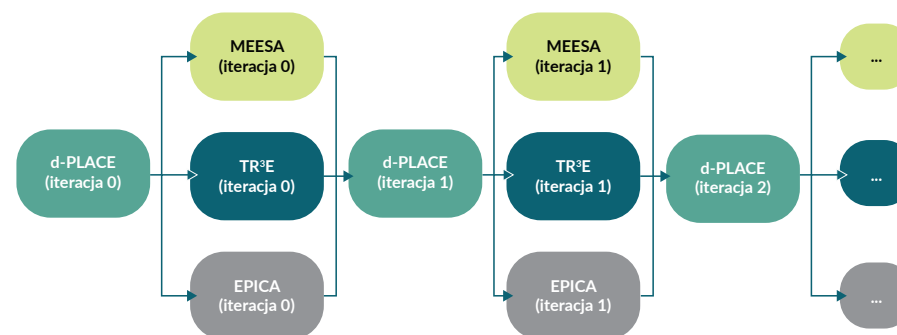
Model d-PLACE jest połączony z modelami sektorowymi:

- Model energetyczny MEESA (Model for European Energy System Analysis) - model liniowy optymalizujący pokrycie zapotrzebowania na energię elektryczną, ciepło sieciowe i wodór pochodzący z elektrolizy w UE27 (plus Norwegia, Szwajcaria i Wielka Brytania) specjalizujący się w bilansowaniu emisji zanieczyszczeń. Narzędzie analityczne zostało zaprojektowane w celu szczegółowej analizy roli istniejących i przyszłych technologii energetycznych w osiąganiu celów, jakie wyznacza sektorowi energii polityka klimatyczno-energetyczna UE. Model minimalizuje łączne zdyskontowane koszty pokrycia zapotrzebowania na energię elektryczną i ciepło sieciowe w całym okresie analizy obejmującym lata 2020-2055. MEESA wykorzystuje do tego ponad 50 technologii, z jakich może korzystać w każdej z 18 (lub 72 w wersji rozszerzonej modelu) stref obciążenia rozpatrywanych dla każdego roku analizy.
- Model transportowy TR3E (Transport European Economic Model) - opiera się na koncepcji równowagi częściowej i składa się z dwóch głównych modułów: pasażerskiego i towarowego. Obejmuje 4 główne obszary transportu: drogowy, kolejowy, lotniczy oraz żeglugę śródlądową i przybrzeżną towarów. Z geograficznego punktu widzenia TR3E obejmuje swoim zakresem 27 państw członkowskich Unii Europejskiej oraz Wielką Brytanię. Dane historyczne do kalibracji modelu TR3E zostały zaczerpnięte z różnych źródeł. Najważniejszymi z nich są baza danych IDEES (Integrated Database of the European Energy Sector), która zasila model danymi o strukturze floty, historycznych poziomach aktywności i stopie złomowania, oraz baza TRACCS, skąd pochodzą informacje dotyczące kosztów aktywności transportowej w poszczególnych państwach członkowskich UE.
- Model sektora rolnictwa EPICA (The Evaluation of Policy Impacts – Climate and Agriculture Model) - jego głównym zadaniem jest analiza skutków polityki klimatyczno-energetycznej w rolnictwie. Model EPICA składa się z dwóch zintegrowanych ze sobą modułów – rynkowego i gospodarstw rolnych – łącząc w sobie podejście oparte na równowadze cząstkowej z liniową optymalizacją działalności rolniczej. Pozwala

¹ Pełna wersja dokumentacji modelu d-PLACE oraz dokumentacje modeli wymienionych w dalszej części dostępne są na stronie Centrum Analiz Klimatyczno-Energetycznych KOBiZE/IOŚ-PIB (<https://climatecake.ios.edu.pl/materialy-informacyjne-i-publikacje/dokumentacja-warsztatu/>).

to na symulację właściwej równowagi między popytem i podażą dóbr wytwarzanych w sektorze rolnictwa, a jednocześnie dostarczenie zdezagregowanej informacji o skutkach polityki dla działalności gospodarstw rolnych. Konstrukcja modelu EPICA umożliwia interakcję z pozostałymi narzędziami analitycznymi CAKE, w tym w szczególności modelem d-PLACE oraz modelem MEESA.

Połączenie modeli zapewnia, z jednej strony, że obraz działań zmierzających do redukcji emisji gazów cieplarnianych jest kompleksowy – szacowane zmiany emisji w różnych sektorach gospodarki sumują się do założonych łącznych celów redukcyjnych, a ponadto krańcowe koszty redukcji emisji w poszczególnych sektorach zrównują się. Z drugiej strony, zastosowanie modeli sektorowych pozwoliło na uchwycenie w większych szczegółach specyfiki sektorów i technologii redukcyjnych w kluczowych obszarach – elektroenergetyki, transportu i rolnictwa. Poszczególne modele są odrębnymi narzędziami, które mogą być wykorzystywane niezależnie. Ich połączenie polega na sekwencyjnym rozwiązywaniu, któremu towarzyszy przekazywanie wzajemnie wybranych informacji (wyników symulacji). Schemat tej procedury przedstawiony jest na rysunku (Rysunek 4).



Rys. 4 Schemat iteracji pomiędzy modelami d-PLACE, MEESA, TR3E i EPICA

Źródło: Opracowanie własne CAKE/KOBiZE

Zakres informacji przekazywanych między poszczególnymi modelami przedstawia Tabela 2. Informacje przekazywane między modelami obejmują cały horyzont czasowy symulacji (do 2050 r.) oraz wszystkie regiony UE i państwa należące do EU ETS (z wyjątkiem sektora rolnictwa obejmującego tylko Polskę).

d-PLACE → MEESA	MEESA → d-PLACE
› Krańcowy koszt redukcji (cena) emisji w ETS. › Zapotrzebowanie na energię elektryczną, • z wyodrębnieniem zużycia w samochodach elektrycznych (na podstawie wyników modelu TR³E) › Zapotrzebowanie na ciepło sieciowe › Zapotrzebowanie na wodór w transporcie (na podstawie wyników modelu TR³E) i w przemyśle	› Zużycie paliw (węgiel, gazu ziemnego, przetworów ropy naftowej) w produkcji energii elektrycznej i ciepła sieciowego. › Emisje CO₂ związane z wytwarzaniem energii elektrycznej i ciepła sieciowego, • w tym „ujemne” emisje, związane z ich pochłanianiem w ramach technologii BECCS › Średnia cena energii elektrycznej. › Średnia cena ciepła sieciowego. › Średnia cena wodoru. › Nakłady inwestycyjne w sektorze wytwarzania energii elektrycznej i ciepła sieciowego.
d-PLACE → TR ³ E	TR ³ E → d-PLACE
› Produkt krajowy brutto. › Krańcowy koszt redukcji (cena) emisji w sektorze non-ETS. › Cena energii elektrycznej (z modelu MEESA). › Cena wodoru (z modelu MEESA).	› Zużycie paliw (przetworów ropy naftowej), energii elektrycznej i wodoru w transporcie drogowym. › Emisje w transporcie drogowym.
d-PLACE → EPICA	EPICA → d-PLACE
› Krańcowy koszt redukcji (cena) emisji w sektorze non-ETS. › Dynamika płac. › Dynamika cen materiałów do produkcji rolnej.	› Emisje CH₄ i N₂O w rolnictwie.

Tabela 2: Wykaz danych wymienianych pomiędzy modelem d-PLACE a modelami sektorowymi MEESA, TR³E i EPICA

Źródło: Opracowanie własne CAKE/KOBIZE

Model MEESA uwzględnia możliwość pochłaniania emisji w ramach technologii BECCS. Ponieważ spalanie biomasy jest traktowane, co do zasady, jako nieemisyjne, pochłanianie w tym procesie prowadzi do powstania „ujemnych emisji”. „Ujemne emisje”, uzyskiwane z modelu MEESA, uwzględniane są w modelu d-PLACE poprzez zwiększenie puli uprawnień na emisje w systemie EU ETS w danym regionie – pochłanianie w ramach technologii BECCS pozwala zwiększyć faktyczne emisje w innych sektorach gospodarki.

Sektor energetyczny w modelu d-PLACE jest reprezentowany znacznie mniej szczegółowo niż w modelu MEESA. Wyodrębnione jest zużycie paliw (w podziale na węgiel, gaz ziemny i przetwory ropy naftowej) wraz z emisjami, lecz np. produkcja energii ze źródeł odnawialnych, biomasy

lub w ramach energetyki jądrowej nie występują jawnie. Te ostatnie składowe odzwierciedlone są przede wszystkim w postaci łącznego, rocznego kosztu kapitałowego (a także do pewnego stopnia w kosztach pracy, materiałów i usług zewnętrznych). Dopasowanie modelu d-PLACE do wyników modelu MEESA polega na uzgodnieniu między nimi zużycia paliw i emisji oraz kosztów kapitałowych. Koszty kapitałowe w modelu d-PLACE modyfikowane są w taki sposób, aby odzwierciedlić dynamikę średniego kosztu energii elektrycznej i ciepła sieciowego z modelu MEESA, wynikającą z transformacji sektora energetycznego. Np. zwiększenie udziału źródeł odnawialnych w produkcji energii elektrycznej wyraża się w modelu d-PLACE wzrostem udziału kosztu kapitału w cenie energii, poprzedzonym odpowiednimi wydatkami inwestycyjnymi.

Połączenie modelu d-PLACE i TR³E było utrudnione z powodu różnic w klasyfikacji i pomiarze aktywności transportowej w obu modelach. Z tego powodu zakres wymiany informacji jest mniejszy niż w przypadku połączenia d-PLACE i MEESA. W modelu TR³E aktywność wyrażona jest w osobo- lub tonokilometrach, podczas gdy w modelu d-PLACE – w jednostkach pieniężnych (w cenach stałych). Ponadto, w modelu TR³E transport opisując w uproszczeniu, dzielony jest na osobowy i towarowy, natomiast w modelu d-PLACE aktywność transportowa dzieli się między sektor gospodarstw domowych i sektor usług transportowych – w tym ostatnim mieści się zarówno transport towarowy, jak i osobowy. W modelu TR³E aktywność transportowa wyznaczana jest na podstawie pochodzącej z d-PLACE dynamiki PKB. Struktura środków transportu dostosowuje się natomiast m.in. do krańcowego kosztu redukcji emisji w sektorze non-ETS wyznaczonego w d-PLACE, a także cen energii elektrycznej i wodoru przekazywanych przez d-PLACE z modelu MEESA. Z kolei model d-PLACE dopasowuje zużycie energii i emisje do wyników z modelu TR³E. Biorąc pod uwagę różnice metodologiczne, poziomy aktywności nie są obecnie uzgadniane między modelami. Wyniki z modelu TR³E wpływają na koszty transportu odzwierciedlone w modelu d-PLACE poprzez zmianę struktury źródeł energii i ich emisyjności.

Model EPICA wyznacza zmiany struktury i wielkości produkcji rolnej dla zadanego poziomu krańcowego kosztu redukcji emisji, ustalonego w modelu d-PLACE. Prowadzą one do redukcji emisji CH₄ i N₂O, które następnie zostają odzwierciedlone w modelu d-PLACE. Podobnie jak w przypadku sektora transportu, poziom produkcji rolnej nie jest uzgadniany między modelami. W przeciwieństwie do modeli sektora energetycznego i transportowego, EPICA jest modelem tylko dla Polski. Jednak, ponieważ sam model d-PLACE nie obejmuje mechanizmów redukcji emisji CH₄ i N₂O poprzez zmianę technologii i struktury produkcji w rolnictwie, zmiany emisyjności uzyskiwane dla Polski są również zadawane w innych krajach UE.

Iteracyjna wymiana wyników między modelem d-PLACE a modelami TR³E i EPICA prowadzi do ustalenia wspólnego dla wszystkich sektorów non-ETS w danym regionie krańcowego kosztu redukcji emisji. Wstępny szacunek tego kosztu uzyskiwany, w modelu d-PLACE, wywołuje w modelach TR³E i EPICA zmiany emisyjności transportu i produkcji rolnej, co w kolejnej iteracji prowadzi do zmiany „popytu na emisje” w modelu d-PLACE i związanej z tym korekty krańcowego kosztu redukcji².

² Pełna wersja dokumentacji tyczącej modeli dostępna na stronie Centrum Analiz Klimatyczno-Energetycznych KOBIZE/IOŚ-PIB (<https://climatecake.ios.edu.pl/materialy-informacyjne-i-publikacje/dokumentacja-warsztatu/>).



Opis analizowanych scenariuszy

5.1 Scenariusz referencyjny (NEU)

Scenariusze w analizach ekonomicznych obejmujące efekty działań w ramach polityki klimatycznej skupiają się najczęściej na łagodzeniu zmian klimatu. W obliczu potencjalnej skali skutków najczęstszą reakcją jest analizowanie, co można zrobić, aby im zapobiec. Scenariusz referencyjny przyjęty w niniejszej analizie, określony mianem NEU, zakłada ścieżkę rozwoju Unii Europejskiej i Polski wynikającą z ogłoszonej w 2019 roku strategii Europejskiego Zielonego Ładu, zakładającej osiągnięcie neutralności klimatycznej w 2050 roku. Scenariusz obejmuje skutki rozwiązań przedstawione w pakiecie Fit for 55, obejmującym zadania polityki klimatycznej UE do roku 2030. Działania adaptacyjne w tym scenariuszu obejmują jedynie autonomiczne procesy dostosowawcze, niewynikające ze strategii adaptacyjnej UE i Polski (co zostało ujęte w scenariuszu adaptacyjnym (ADAPT), omówionym w dalszej części opracowania). W konsekwencji w tym scenariuszu największy nacisk położony jest na mitygacyjną część polityki klimatycznej.

W Unii Europejskiej (UE) obowiązują obecnie cele redukcji emisji gazów cieplarnianych (GHG), przyjęte w ramach energetyczno-klimatycznych do 2030 r. Cele redukcji emisji GHG zostały ustalone w taki sposób, aby UE znajdowała się na drodze do transformacji w kierunku gospodarki niskoemisyjnej, jaką przedstawiła Komisja Europejska (KE) w swoim Komunikacie dotyczącym wizji długoterminowej na 2050 r. Ustalony na poziomie UE cel zmniejszenia emisji GHG w 2030 r. o co najmniej 40% do 2030 r., w porównaniu z 1990 r., został zgłoszony jako wkład UE (NDC) w ramach Porozumienia paryskiego. Rada Europejska w dniu 12 grudnia 2019 r. przyjęła komunikat Europejski Zielony Ład, w którym jako główny cel wskazano osiągnięcie neutralności klimatycznej w Unii Europejskiej w perspektywie do 2050 r. Zgodnie z powyższym dokumentem nowy cel redukcji emisji GHG dla Unii Europejskiej na 2030 r. powinien zawierać się w przedziale od 50% do 55% w porównaniu do roku 1990, co jest istotnym wzrostem w stosunku do obecnie obowiązującego celu wynoszącego 40%. Zmiana wymagań w zakresie redukcji emisji GHG dla całej UE będzie powodowała konieczność rewizji celów redukcyjnych przyjętych dla sektorów funkcjonujących w europejskim systemie handlu uprawnieniami do emisji (EU ETS) i dla sektorów nieobjętych tym systemem znajdujących się w obszarze non-ETS. Komisja Europejska 14 lipca 2021 r. ogłosiła pakiet reform „Fit for 55”, zawierających propozycje szczegółowych przepisów prawnych umożliwiających osiągnięcie ogólnego celu redukcji unijnych emisji CO₂ o co najmniej 55% w 2030 r. (w porównaniu z 1990 r.). Jest to kluczowy krok na drodze do neutralności klimatycznej Unii w 2050 r. Wdrożony scenariusz polityki klimatycznej opiera się na celach redukcji emisji GHG zdefiniowanych na podstawie pakietu „Fit for 55”.

Zaimplementowana ścieżka redukcji emisji GHG w UE, zakłada, że wszystkie państwa członkowskie, w tym Polska realizują wspólną politykę klimatyczną. Głównym narzędziem realizacji celu redukcyjnego emisji GHG jest wdrożony system EU ETS, obejmujący obecnie przede wszystkim energochłonne sektory gospodarki i produkcję energii. Instalacje objęte systemem EU ETS muszą rozliczać się z własnych emisji uprawnieniami, których liczba jest corocznie zmniejszana, tak aby osiągnąć odpowiedni poziom redukcji GHG, odpowiadające scenariuszom redukcyjnym. Cena uprawnień do emisji jest jednakowa we wszystkich państwach objętych systemem EU ETS. Co istotne, nie ma podziału celów redukcyjnych pomiędzy państwa członkowskie w obszarze

działania systemu EU ETS. Pozostała część emisji GHG znajduje się w tak zwanym obszarze non-ETS i nie jest objęta jednolitym wspólnotowym mechanizmem redukcji. Za emisję w non-ETS odpowiedzialne są państwa członkowskie UE, które realizują w tym obszarze krajowe cele redukcyjne, uzgodnione w ramach podziału wspólnego wysiłku UE (z ang. effort sharing). Co oznacza, że wdrożone w tym obszarze mechanizmy redukcji emisji GHG mogą się różnić pomiędzy państwami członkowskimi. W konsekwencji koszt redukcji emisji GHG w obszarze non-ETS również może być zróżnicowany. Na poziomie technicznym ograniczenie emisji GHG jest modelowane jako wyposażenie rządu w uprawnienia do emisji/ jednostki emisji, zarówno w sektorach objętych EU ETS, jak i nieobjętych ETS. Od każdego sektora wymagane są uprawnienia/ jednostki emisji, w liczbie odpowiadającej emisji GHG z danego sektora. Cena uprawnień/ jednostek do emisji jest wynikiem równowagi pomiędzy popytem a podażą.

Scenariusz neutralności (NEU) zakłada realizację celów polityki klimatycznej UE w zakresie redukcji emisji GHG zgodnie z opublikowanym przez KE pakietem „Fit for 55”. Pakiet ten wyznacza ścieżkę osiągnięcia do 2030 r. celu zmniejszenia emisji GHG netto (czyli z uwzględnieniem pochłaniania) o 55% względem roku 1990. Bez uwzględnienia pochłaniania, zakładana realizacja celów polityki klimatycznej UE w zakresie redukcji emisji GHG została oszacowana na poziomie 53% w 2030 r. w stosunku do 1990 r. W scenariuszu NEU przyjęto, że w 2030 r. sektory EU ETS muszą zredukować swoją emisję o 61%, natomiast sektory non-ETS o 40% względem poziomu z 2005 r.

Zaimplementowany został również specjalny, dodatkowy system handlu obejmujący sektor budynków i transport drogowy (BRT ETS). Zgodnie z pakietem do 2030 r. cel redukcji emisji w BRT ETS wynosi 43% w stosunku do 2005 r. Włączenie sektora budynków oraz transportu drogowego do nowego ogólnoeuropejskiego systemu BRT ETS nie oznacza wykluczenia tych sektorów z obszaru redukcji zdefiniowanego celami non-ETS.

Dla 2050 r. założono cel redukcji emisji GHG w UE na poziomie 90%. Z uwzględnieniem pochłaniania oznacza to redukcję emisji netto do zera. Aby osiągnąć zakładany w scenariuszu neutralności wspólnotowy cel redukcyjny 90% w 2050 r., cel redukcyjny dla sektorów EU ETS został ustalony na poziomie 93%, natomiast dla pozostałych sektorów gospodarki znajdujących się w obszarze non-ETS oznacza to redukcję emisji w 2050 r. o ok. 83%. W przypadku BRT ETS założony cel redukcyjny w 2050 r. wynosi 87% względem emisji z 2005 r. i wynika z projekcji KE GECO2020 dla scenariusza 1,5°C. W tabeli (Tabela 3) zestawiono wielkości redukcji emisji GHG w UE analizowane w scenariuszu NEU.

Scenariusz				BRT ETS (system handlu emisjami dla mieszkalnictwa i transportu)
	Łączna redukcja emisji GHG vs. 1990	Emisja GHG w non-ETS vs. 2005	Emisja GHG w EU ETS vs. 2005	
2030				
NEU (Pakiet Fit for 55)	53% (netto 55%*)	61%	40% (w PL 17,7%)	43%
2050				
NEU	90% (netto 100%*)	93%	82% (w PL 74,8%)	87%

Tabela 3: Cele redukcyjne w scenariuszu referencyjnym (NEU)

*Osiągnięty cel redukcyjny GHG z uwzględnieniem pochłaniania w sektorze LULUCF i technologiami pochłaniania GHG z atmosfery (np. technologia spalania biomasy z CCS)

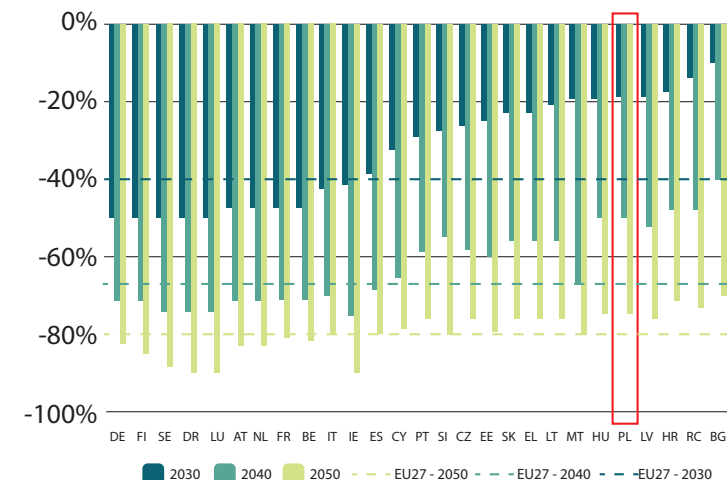
W skład pakietu „Fit for 55” wchodzi nowelizacja rozporządzenia w sprawie wspólnego wysiłku (ang. Effort Sharing Regulation, ESR). Rozporządzenie to przekłada ogólnoeuropejski cel redukcji emisji w obszarze non-ETS na wiążące cele krajowe na 2030 r. Zgodnie z propozycją cele krajowe mieszczą się w przedziale od 10% do 50%. Podstawą proponowanego podziału celów redukcyjnych w 2030 r. jest średnia wielkości wskaźnika PKB na mieszkańca z lat 2016-2018. Oznacza to, że mniej zamożnym państwom przypisano mniej ambitne cele z powodu potencjalnie wyższego wzrostu gospodarczego w przyszłości, niosącego ze sobą ryzyko większych emisji oraz ich niższych zdolności inwestycyjnych. Obszar redukcji non-ETS objęty nowelizowanym rozporządzeniem ESR zawiera wszystkie emisje niewchodzące do systemu EU ETS, które pochodzą głównie z transportu drogowego, ogrzewania budynków, rolnictwa, małych instalacji przemysłowych i gospodarowania odpadami.

Wartość celów redukcyjnych w 2030 r. w podziale na państwa założono wprost na podstawie propozycji znajdującej się w załączniku II nowelizacji rozporządzenia ESR. Sposób określania krajowych celów redukcyjnych zaproponowany dla lat: 2040 i 2050 polega na dopasowaniu wykorzystanej w rozporządzeniu ESR metody podziału do prognozowanych wartości wskaźnika PKB na mieszkańca (przyjętych na podstawie EU Reference Scenario 2020). Na [Rysunek 5](#) zestawiono wartości krajowych celów redukcyjnych w obszarze non-ETS dla państw na lata 2030, 2040 i 2050.

Dopuszczalny poziom emisji w non-ETS w danym państwie jest zdefiniowany poprzez ustanowienie limitu emisji w okresach dziesięcioletnich (tj. 2021-2030, 2031-2040 i 2041-2050). Limity te wynikają z założonych wcześniej celów redukcyjnych.

Elementem, który stał się istotny w definiowaniu scenariuszy rozwoju gospodarczego EU, jest wprowadzenie, zgodnie z pakietem Fit for 55 nowego systemu handlu emisjami obejmującego sektory budownictwa i transportu drogowego (BRT ETS), włączone obecnie w obszar non-ETS (włączenie tych sektorów do nowego systemu nie oznacza wykluczenia ich z obszaru redukcji zdefiniowanego celami non-ETS). Oznacza to, że cel redukcyjny i wynikający z niego limit emisji w obszarze non-ETS musi być spełniony, również biorąc pod uwagę emisję z budynków i transportu drogowego w danym państwie UE.

W celu zamodelowania zaproponowanej w pakiecie „Fit for 55” polityki klimatycznej, w pierwszym kroku ustalono całkowitą podaż uprawnień na emisję dwutlenku węgla w BRT ETS. Przy czym, emisje dwutlenku węgla nie mogą przekraczać zakładanej liczby uprawnień wydawanych przez rząd i ustalonych zgodnie z przyjętymi celami redukcyjnymi dla scenariusza NEU w BRT ETS. Cena uprawnień do emisji dwutlenku węgla jest kalkulowana endogenicznie i jest wynikiem oczyszczenia rynku (bilans całkowitego popytu i całkowitej podaży uprawnień).

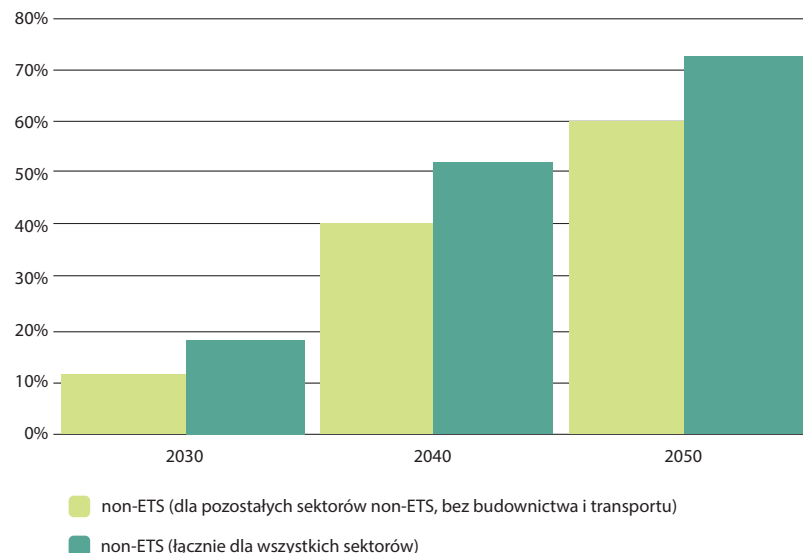
**Rys. 5 Podział celów redukcyjnych w non-ETS na państwa członkowskie**

Źródło: Opracowanie własne CAKE/KOBIZE

W następstwie wyznaczenia określonej ceny za uprawnienia, sektory objęte BRT ETS redukują emisję. Poziom tych redukcji różni się pomiędzy poszczególnymi państwami członkowskimi, co wynika głównie ze struktury floty samochodowej i udziału poszczególnych paliw w ogrzewaniu budynków (miks paliwowy w danym państwie). Poziom dopuszczalnej emisji, jaki muszą wypełnić pozostałe sektory objęte non-ETS (przede wszystkim rolnictwo i usługi) w ramach danego państwa ulega zmianie na skutek nałożenia określonej ceny w BRT ETS (i w konsekwencji zachodzących w sektorach transportu drogowego i budynków redukcji emisji). Dlatego w kolejnym kroku od limitu emisji dla danego państwa w obszarze non-ETS odejmowana jest emisja pozostająca w sektorach objętych BRT ETS. W ten sposób wyznaczamy nowy poziom limitu krajowego dla sektorów pozostających w non-ETS. W konsekwencji przyjętych założeń oddzielnie obliczany jest krańcowy koszt redukcji dla sektorów objętych BRT ETS i non-ETS, gdzie koszty redukcji dla pozostałych sektorów non-ETS różnią się pomiędzy poszczególnymi państwami. Natomiast koszt redukcji w BRT ETS jest jednakowy we wszystkich państwach członkowskich, ponieważ system jest ogólnoeuropejski.

Na rysunku ([Rysunek 6](#)) przedstawiono cele redukcji emisji dla Polski w obszarze non-ETS z uwzględnieniem nowego systemu BRT ETS. Przykładowo w 2030 r. zgodnie z propozycjami

KE zawartymi w pakiecie „Fit for 55” Polska w 2030 r. w obszarze non-ETS musi zredukować swoją emisję o 17,7%, względem poziomu z 2005 r. Natomiast po zaimplementowaniu systemu BRT ETS, ten wysiłek redukcyjny obniża się do poziomu 11%.



Rys. 6 Cele redukcji emisji w non-ETS dla Polski w scenariuszu referencyjnym (NEU)

Źródło: Opracowanie własne CAKE/KOBiZE

5.2. Scenariusz adaptacji (ADAPT)

Scenariusz zakładający działania adaptacyjne oznaczono w analizie mianem ADAPT. W kontekście wcześniejszych rozważań o proporcjach i zależnościach między działaniami mitygującymi i adaptacyjnymi, warto zauważyć, iż tylko pięć procent inwestycji koncentruje się na temacie adaptacji, zdecydowaną większość wysiłków i środków planuje się zazwyczaj wykorzystać (co urzeczywistnia się w praktyce) na działania łagodzące, takie jak redukcja emisji gazów cieplarnianych lub inwestycje w energię odnawialną. Ta dysproporcja powoduje znaczną lukę inwestycyjną w adaptację do zmiany klimatu, którą w skali świata szacuje się na około 180-280 miliardów funtów rocznie (zob. Rethinking Climate Finance. Taking Action against Climate Change. Opportunities and Challenges for Financial Players).

Budując scenariusz adaptacji dla Polski na potrzeby niniejszego badania, przeanalizowano dostępne źródła (badawcze i dokumenty strategiczne), dokonując wyboru sektorów, stosownych działań adaptacyjnych oraz oszacowania odpowiadających im wymaganych nakładów inwestycyj-

nych. Najważniejsze sektory gospodarki narażone na zmiany klimatu poddane analizie wymieniono poniżej:

- Rolnictwo i obszary wiejskie.** Rolnictwo jest bardzo ważnym sektorem polskiej gospodarki. Obszary wiejskie stanowią 93,2% powierzchni kraju, zamieszkuje je około 40% ludności kraju (15 mln osób wg GUS z 2010 r.). Liczba osób pracujących w gospodarstwach rolnych wynosi ponad 5 mln, dlatego też obszary wiejskie mają ogromne znaczenie, także z punktu widzenia społecznego. Konsekwencje zmian klimatu odczuwane będą z dużą mocą w rolnictwie. Zmiany klimatu wywołają zwiększenie częstotliwości występowania ekstremalnych zjawisk pogodowych takich jak: susze, burze, gradobicia, silne wiatry i huragany. Będziemy mieli tu do czynienia z występowaniem nadmiaru wody na polach po zimowych ulewach, co może istotnie opóźnić terminy siewu. Mniejsza pokrywa śnieżna, okresy suszy na wiosnę mogą w znacznym stopniu zaważyć na wysokości plonów, całkowicie niwelując korzyści wynikające z dłuższego sezonu wegetacyjnego. Również dla łąk i pastwisk wiosenne i letnie susze z wysoką temperaturą powietrza będą miały niekorzystny wpływ na wzrost traw i wydajność pokosów. Zwiększone temperatury będą wpływały na wzrost parowania, co doprowadzi do przesuszenia i wywoła konieczność systematycznego nawadniania upraw. Rolnictwo jest sektorem, gdzie potrzeby wodne według prognoz wzrosną o 25-30%. Przewiduje się także, że mimo wzrostu średnich temperatur wydłużą się okresy, w których możliwe będzie wystąpienie nocnych przymrozków. Wszystkie te zjawiska dodatkowo będą utrudniały możliwość prowadzenia stabilnej i przewidywalnej produkcji rolnej i zwiększą prawdopodobieństwo wystąpienia znacznych strat. W rolnictwie będzie zmniejszała się wydajność przez zwiększenie temperatury i zmniejszeniu dostaw wody oraz rozwój szkodników i chorób.
- Leśnictwo.** Zmiany klimatu spowodują, że lasy będą zagrożone pożarami, zmniejszeniem dostępności wody i opadów. Zmiany klimatu będą jednym z wielu czynników wpływających na skład gatunkowy i stan zdrowotny lasów. Ocieplanie się klimatu będzie powodować wycofywanie się gatunków drzew iglastych w regiony północne na rzecz gatunków liściastych. Trzeba jednak zaznaczyć, że obecnie wiele drzewostanów jest w złym stanie zdrowotnym np. w wyniku zanieczyszczenia powietrza. Dłuższe okresy wegetacyjne wynikające z wyższych temperatur i efektu zwiększenia wzrostu roślin przez wyższe stężenia CO₂ w atmosferze będą prowadziły do zwiększania produkcji drewna, jeżeli dostępna będzie odpowiednia ilość wody i składników odżywczych. Jednak te pozytywne skutki zmian klimatu mogą być zniwelowane w wyniku wystąpienia takich czynników, jak:

- Częstsze długotrwałe susze i fale upałów latem, które hamują wzrost drzew leśnych w szczycie sezonu wegetacyjnego, szczególnie na obszarach ubogich w wodę, z głęboko zalegającymi poziomami wód podziemnych.
- Zwiększenie ryzyka pożarów spowodowanego długotrwałymi suszami w okresie letnim.
- Narażenie na zwiększone gradacje szkodników, takich jak brudnica mniszka, chrabaszcz majowy, czy korniki, szczególnie w drzewostanach nieprzystosowanych do warunków siedliskowych. Masowe inwazje szkodników leśnych mogą stać się znacznie częstsze ze względu na większe ich przeżywanie w czasie łagodniejszych niż dotąd zim.
- Erozja gleby i osuwiska spowodowane ulewnymi deszczami, szczególnie na terenach górskich, niszczące siedliska leśne, potoki oraz infrastrukturę drogową w lasach.
- Straty w drzewostanach spowodowane przez wiatry huraganowe i trąby powietrzne, których częstotliwość występowania oraz siła niszcząca będą się zwiększać wraz z ocieplaniem się klimatu.
- Lasy stanowią ważny czynnik pochłaniania dwutlenku węgla z atmosfery. Zostało oszacowane, że zawartość węgla w biomasie drzewnej polskich lasów wynosi ponad 700 milionów ton, z czego około 76% przypada na biomasę nadziemną, 23% na biomasę podziemną i 1% na drewno martwe. Rocznie polskie lasy pochłaniają ponad 50 milionów ton dwutlenku węgla, są więc bardzo znaczącym mechanizmem usuwania z atmosfery tego gazu cieplarnianego.
- **Energetyka.** Polski sektor energetyczny jest w głównej mierze oparty na surowcach kopalnych. Bazę surowcową dla energetyki w Polsce stanowią: węgiel kamienny, węgiel brunatny, ropa naftowa, gaz ziemny oraz w niewielkim stopniu pozostałe źródła energii, w tym źródła odnawialne takie jak: energetyka wodna, wiatrowa, geotermalna, słoneczna i energia pochodząca z biomasy. Zmiany klimatu będą miały różny wpływ na sektor energetyczny, przy czym należy podkreślić, iż sektor ten jest obecnie największym źródłem emisji gazów cieplarnianych w Polsce. Przewidywane zmiany spowodują zmniejszenie zapotrzebowania na energię ciepłą w sezonie zimowym oraz znaczne zwiększenie zapotrzebowania na energię elektryczną w sezonie letnim. Wpływ klimatu na sektor energetyki jest zróżnicowany i zależy od rodzaju produkcji energii, zapotrzebowania na energię elektryczną i ciepło, dystrybucji energii elektrycznej. W polskim systemie elektroenergetycznym dominują sieci napowietrzne, które w przeciwieństwie do sieci kablowych są silnie narażone na awarie spowodowane silnymi wiatrami i nadmiernym oblodzeniem.

Występowanie ekstremalnych zjawisk pogodowych typu huragany, intensywne burze może doprowadzić do zwiększenia ryzyka uszkodzenia linii przesyłowych i dystrybucyjnych i ograniczenia w dostarczaniu energii elektrycznej do odbiorców. Najważniejsze zjawiska wpływające na ryzyko zniszczenia sieci przesyłowych i dystrybucyjnych to występowanie burz, w tym burz śnieżnych, osadzanie sadzi katastrofalna i silny wiatr. Dla produkcji energii kluczowe znaczenie ma dostępność wody dla potrzeb chłodzenia. W warunkach dużej zmienności opadów skrajne sytuacje (powódzie i susze) i wzrost niestacjonarności przepływów mogą zakłócić dostępność niezbędnych ilości wody, która wykorzystywana jest do chłodzenia. Może to spowodować obniżenie sprawności tradycyjnych elektrowni z chłodzeniem w obiegu otwartym oraz obniżenie ilości energii produkowanych przez te instalacje. W układach gazowo-parowych poziom sprawności i moc zależą dodatkowo od temperatury powietrza wykorzystywanego do spalania paliwa. Ze wzrostem temperatury wzrasta zapotrzebowanie na sprężanie powietrza, a tym samym zmniejsza się sprawność i moc instalacji. Wzrost znaczenia rozproszonych, odnawialnych źródeł energii powinien uwzględniać pogorszenie warunków wiatrowych (długie okresy bezwietrznej pogody, krótkotrwałe okresy z bardzo silnymi wiatrami). Produkcja biomasy będzie również podlegać takim samym ograniczeniom jak cała produkcja rolna, ze względu na zmniejszenie dostępności wody, ograniczenie wydajności produkcji. McKinsey przewiduje, że w latach 2005-2030 nastąpi wzrost emisji w energetyce o 22%.

- **Budownictwo, infrastruktura budowlana, eksploatacja budynków i mieszkalnictwo** - Rozpatrując wpływ ocieplania się klimatu na mieszkalnictwo należy wziąć pod uwagę zmiany związane ze wzrostem temperatury, nasłonecznienia, zwiększeniem ilości opadów i wilgotności w miesiącach zimowych, a także częstsze występowanie ekstremalnych zjawisk pogodowych takich jak silne wiatry i huragany. Zmiana oddziaływania tych czynników klimatycznych powinna znaleźć swoje odzwierciedlenie w zakresie projektowania zarówno posadowienia budynków, jak i ich nośnej konstrukcji. Oddziaływanie deszczy jest szczególnie ważne w odniesieniu do problemu sprawności sieci kanalizacyjnych oraz lokalizacji budynków na obszarach narażonych na niebezpieczeństwo powodzi. Zmiany klimatu wymuszą także inne podejście do zarządzania energią w budynkach. Co prawda zmniejszy się zużycie energii związane z koniecznością ogrzewania budynków zimą, ale wzrośnie ilość energii niezbędnej do zachowania komfortu cieplnego latem. Częstsze i silniejsze wiatry, w tym pojawiające się huragany spowodują wzrost liczby katastrof budowlanych, w tym zrywanie dachów budynków. Powódzie będą powodowały niszczenie całych budynków. Zmiany klimatu będą wywierały wpływ na mieszkalnictwo. Corocznie przybywa w Polsce około 160 tys. mieszkań. Już dziś konieczne jest uwzględnienie wyzwań związanych z klimatem przy planowaniu i projektowaniu nowych budynków, jak również przy remontach budynków istniejących. McKinsey przewiduje, że w latach 2005-2030 nastąpi wzrost emisji w eksploatacji budynków o 29%.

- **Gospodarka wodna, morska, strefa wybrzeża** – Polska jest krajem o niewielkich zasobach wodnych. Efektywność ich użytkowania jest również niska. Przy małych zasobach wodnych priorytetem powinna być oszczędność wody we wszystkich sektorach. Zużycie wody w polskim przemyśle jest ponad dwa razy większe, niż średnia w Unii Europejskiej. Przemysł zużywa 70% używanej wody, a na cele komunalno-bytowe przeznaczają się jej 18%. W przypadku okresów z niedoborem opadów większość obszaru Polski może być zagrożone deficytem wody dostępnej dla gospodarki, w szczególności województwo mazowieckie. Przewidywane zmiany klimatu mają negatywny wpływ na strefy wybrzeża w Polsce, co powoduje również utrudnienia w funkcjonowaniu gospodarki morskiej. W przypadku Morza Bałtyckiego odnosi się to do możliwego wzrostu ilości, intensywności oraz czasu trwania sztormów. Scenariusze zmian poziomu morza pokazują, że w okresie 2011-2030 średni roczny poziom morza wzdłuż całego wybrzeża, będzie wyższy o około 5 cm, w stosunku do wartości z okresu bazowego 1971-1990. Bardzo istotnym skutkiem zmian klimatu będzie wzrost częstotliwości powodzi sztormowych i częstsze zalewanie terenów nisko położonych oraz degradacja nadmorskich klifów i brzegu morskiego, co spowoduje silną presję na infrastrukturę znajdującą się na tych terenach. Poziom Morza Bałtyckiego podnosił się o kilka milimetrów rocznie. Według prognoz do 2080 r. wzrost ten może wynieść co najmniej jeden metr i grozi to zalaniem około 1 800 km² nadbrzeża. Zagrożonych będzie pięć dużych portów oraz domy zamieszkałe przez około 120 tysięcy osób. W strefie zagrożonej znajduje się Gdańsk.
- **Transport**. McKinsey przewiduje, że w latach 2005-2030 nastąpi wzrost emisji w tym sektorze o 100%. Sektor transportu jest szczególnie wrażliwy na kilka elementów klimatu, zwłaszcza na silne wiatry, ulewy, podtopienia i osuwiska, opady śniegu, burze, niską i wysoką temperaturę oraz brak widoczności (mgła, smog). Wrażliwość i wpływ zmian klimatu na transport można analizować w odniesieniu do poszczególnych typów transportu. Transport drogowy ze względu na przestrzenny charakter jest szczególnie wrażliwy na zmieniające się zjawiska klimatyczne. Silne wiatry powodujące m.in. tarasowanie dróg i zniszczenia infrastruktury drogowej i pojazdów mogą się w przyszłych latach nasilać. Analogiczne zmiany będzie można zaobserwować w przypadku gwałtownych opadów zarówno deszczu, jak i śniegu, których występowanie zaburza płynność transportu. Problemy związane z nasilającym się występowaniem wysokich temperatur również oddziałują negatywnie zarówno na pojazdy, jak i na elementy infrastruktury drogowej. Szczególnie uciążliwe są dla nich długotrwałe upały. W związku z częstszym występowaniem temperatur bliskich zeru w porze zimowej, nasilać się będzie występowanie mgły, która poprzez ograniczanie widoczności wpłynie negatywnie na transport drogowy, a wielokrotne przechodzenie przez punkt 0oC przy braku pokrywy śnieżnej powoduje szybką degradację stanu nawierzchni. Zmiany klimatu również mają wpływ na transport kolejowy, lotniczy i morski.
- **Górnictwo**. Polska pod względem wydobywania węgla kamiennego zajmuje 10, a pod względem wydobywania węgla brunatnego 8 miejsce na świecie oraz odpowiednio 1 i 3 miejsce

w Unii Europejskiej. Dla Polski węgiel, będąc obecnie podstawowym źródłem pozyskiwania energii, stanowi gwarancję bezpieczeństwa energetycznego. Bogate złoża węgla zapewniają niezależność energetyczną Polski, przez co są przesłanką do wykorzystania tego surowca również w przyszłości. Badania przeprowadzone przez Główny Instytut Górnictwa w Katowicach (2010 – 2011) w polskich kopalniach węgla kamiennego i brunatnego wykazały, że najbardziej narażonymi na zmiany klimatu elementami infrastruktury górniczej są: transport związany z zaopatrzeniem kopalń i wywozem węgla i odpadów (drogi wewnętrzne, drogi technologiczne na obiektach lokowania, torowiska) oraz budownictwo przemysłowe (budynki kubaturowe, zwałowiska nadpoziomowe odpadów, osadniki ziemne i betonowe, stałe i mobilne elementy parków maszynowych). Rola przedsiębiorstw górniczych (spółki górnicze, kopalnie) powinna polegać na jak najlepszym przygotowaniu infrastruktury zakładowej i infrastruktury powiązanej z zakładami wydobywczymi celem zapewnienia ciągłości pracy, utrzymania produkcji i nieponoszenia strat materialnych w okresie adaptacji do zmian klimatu.

- **Inny przemysł** (chemiczny, żelaza i stali, cementowy). McKinsey przewiduje, że w latach 2005-2030 nastąpi wzrost emisji w sektorach przemysłowych: w przemyśle chemicznym o 26%, w hutnictwie żelaza i stali o 50%, w przemyśle naftowym i gazowym o 42% i w przemyśle cementowym o 94%. Przy małych zasobach wodnych priorytetem powinna być oszczędność wody we wszystkich sektorach. Zużycie wody przez polski przemysł jest ponad dwa razy większe, aniżeli średnia w Unii Europejskiej. Przemysł zużywa około 70% używanej wody.
- **Turystyka i rekreacja**. Turystyka stanowi ważny sektor gospodarki kraju. W 2009 r. przychody z niej wyniosły 9,5 mld USD, co stanowi 2,22% Produktu Krajowego Brutto wg GUS z 2010. W Polsce można wyróżnić trzy główne regiony, w których koncentruje się tego rodzaju turystyka. Są nimi:
 - Wybrzeże Morza Bałtyckiego,
 - Kraina jezior – Pojezierze Mazurskie i Pojezierze Pomorskie,
 - Pasma górskie - Karpaty i Sudety.

W miarę zmian klimatu na terytorium Polski będzie się przedłużał sezon letni, z coraz bardziej gorącym i suchym latem. Jeśli trend ocieplania się klimatu nie zostanie zahamowany za 30 – 40 lat średnia temperatura powietrza w maju będzie na poziomie obecnej temperatury w czerwcu, a we wrześniu – na poziomie średniej z sierpnia. Z tym łączy się oczywiście wzrost temperatury wody w jeziorach i w Morzu Bałtyckim, co z kolei wpłynie na zmiany w preferencjach Polaków co do miejsca spędzania urlopów i wakacji. Wszystkie prognozy wskazują też, że w rejonie Morza Śródziemnego coraz częstsze będą upały w granicach 35 - 40°C, co zniechęci wielu turystów

polskich i zagranicznych do spędzania letnich urlopów w tej strefie klimatycznej. Częściej będą oni wybierali polskie wybrzeże i region jezior.

W scenariuszu adaptacyjnym założono, iż inwestycje w przystosowanie się do zmiany klimatu obejmują szeroki zakres potencjalnych sektorów i działań – od opracowywania technologii i danych, które zapewniają wczesne ostrzeżenie przed ekstremalnymi zdarzeniami pogodowymi, po ułatwianie łatwiej dostępnych ubezpieczeń (np. ubezpieczenia upraw i hodowli zwierząt) w celu ekonomicznej obrony przed skutkami zmian klimatu. W analizie makroekonomicznej działania adaptacyjne na potrzeby symulacji modelowej wyrażono jako zwiększenie nakładów inwestycyjnych w gospodarce (działania w sektorach związane z adaptacją do zmian klimatycznych). W celu wyraźniejszego uchwycenia kierunków, skali i dynamiki zmian nakłady te dotyczą tylko Polski (w pozostałych krajach ujętych w modelu nie zostały one wprowadzone).

Na potrzeby symulacji przyjęto, iż łączna kwota rocznych nakładów, wyrażona w cenach stałych z 2014 r., jest jednakowa w kolejnych latach (począwszy od 2020 r.) i wynosi 3,3 mld USD. Sektorowy rozkład tych nakładów, przyjęty na bazie analizy źródeł przedstawiono w tabeli (Tabela 4). Dokonano mapowania między sektorami opisywanymi w dokumentach strategicznych i innych źródłach a sektorami zdefiniowanymi w strukturze modelu d-PLACE.

W scenariuszu adaptacyjnym 58% nakładów inwestycyjnych można przypisać do wyróżnionych w modelu sektorów gospodarki (gałęzi produkcyjnych) – rolnictwa, leśnictwa, energetyki i usług. W tym przypadku symulacja zakłada wzrost zapotrzebowania na kapitał trwały ze strony tych sektorów przy ustalonym poziomie produkcji. Zatem symulacja zakłada zmniejszenie produktywności tych sektorów, przekładające się na wzrost cen ich produktów. Ceny wzrastają zwłaszcza w przypadku leśnictwa i rolnictwa, gdzie dodatkowe nakłady kapitałowe stanowią znaczącą część kosztów produkcji. W przypadku energetyki i usług wpływ na ceny jest nieznaczny. Wzrost inwestycji wspomnianych sektorów w większości pomniejsza inwestycje pozostałych sektorów.

Pozostałe nakłady inwestycyjne (42%) nie są przypisane konkretnym sektorom produkcyjnym. Pomniejszają one w modelu konsumpcję gospodarstw domowych. Interpretujemy je jako inwestycje publiczne finansowane poprzez zwiększenie podatków lub zmniejszenie transferów do gospodarstw domowych.

Sektory w modelu d-PLACE	Przykłady działań i obszarów ujętych w inwestycjach	Skala nakładów [% PKB rocznie]
Forestry	Zmiany struktury drzewostanów, nowe zalesienia, ochrona przed szkodnikami, działania na rzecz ochrony przeciwpożarowej	0,030%
Electricity and heat	Inwestycje technologiczne dostosowujące do skutków zmian klimatu (m.in. związane z ograniczeniem możliwości chłodzenia), inwestycje infrastrukturalne; reakcja na zmiany wielkości i struktury popytu	0,020%
Services	Ochrona zdrowia, gospodarka przestrzenna, działania na rzecz ochrony przyrody	0,044%
Agriculture	Działania na rzecz ograniczenia negatywnych skutków ekstremalnych zjawisk pogodowych (susze, burze, gradobicia, silne wiatry i huragany), zmiany struktury upraw jako dostosowanie do zmian klimatu, zwiększone zapotrzebowanie na zasoby wodne, ochrona przed szkodnikami i chorobami itd.	0,280%
Construction	Dostosowanie budynków istniejących i spełnienie wymogów wobec nowych, inwestycje infrastrukturalne (w tym budowę hydrotechniczne i ochrona wybrzeża, infrastruktura przesyłowa), inwestycje związane z eksploatacją budynków.	0,270%

Tabela 4: Wielkość rocznych nakładów inwestycyjnych w ramach scenariusza ADAPT przyjęta w symulacji modelowej

Źródło: Opracowanie własne CAKE/KOBIZE



Wyniki modelowania

W niniejszym rozdziale przedstawiono najważniejsze wyniki modelowania na opisanym wcześniej zestawie narzędzi analitycznych. Z uwagi na wysoki stopień niepewności związany z wydłużaniem przyjętego w symulacji horyzontu czasowego, wyniki wygenerowano dla okresu do 2040 roku, przedstawiając efekty w przedziałach pięcioletnich.

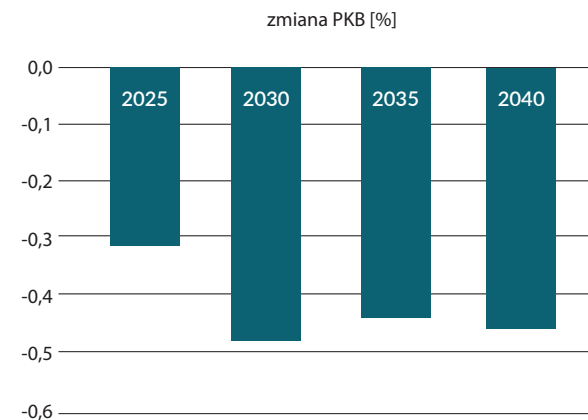
Należy w tym miejscu przypomnieć i wyraźnie podkreślić, iż badanie obejmowało jedynie skutki działań adaptacyjnych założonych w opracowanym scenariuszu adaptacyjnym, nie ujmując korzyści z tytułu strat unikniętych lub ograniczonych wskutek działań adaptacyjnych (ma to znaczenie dla procesu decyzyjnego, w którym należałoby wykorzystać wyniki różnych analiz, w tym szacunki wartości szkód, niebędących przedmiotem niniejszej analizy). Wartości tych nie ujmujemy w niniejszym badaniu, jako że nie są one ujęte w PKB.

Ważne: przedstawione poniżej wyniki należy interpretować jako różnicę między scenariuszem referencyjnym (NEU) a scenariuszem adaptacyjnym (ADAPT), nie zaś jako wartości bezwzględne. W związku z ograniczoną czułością narzędzi modelowych oraz wspomnianym stopniem niepewności, wyniki modelowania należy traktować jako wskazanie kierunków, skali i dynamiki prognozowanych zmian.

6.1. Wskaźniki makroekonomiczne

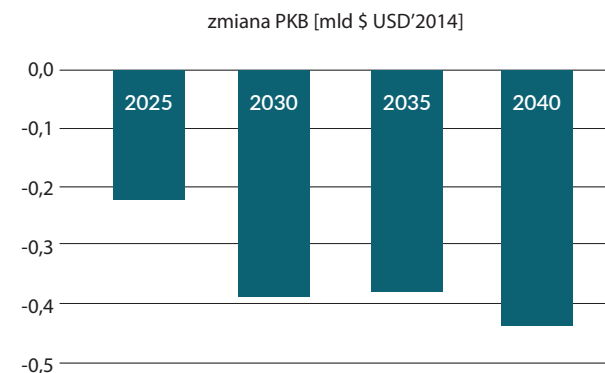
Przedstawione poniżej wskaźniki makroekonomiczne ilustrują możliwe zmiany średnio dla całej gospodarki w Polsce jako efekt ponoszenia nakładów inwestycyjnych na działania założone w scenariuszu adaptacyjnym, oszacowanych na podstawie analizy dokumentów strategicznych. Na wykresach (Rysunek 7 oraz Rysunek 8) przedstawiono przewidywaną zmianę PKB, odpowiednio jako procent odchylenia od scenariusza referencyjnego oraz kwotowo (również jako różnica między scenariuszem referencyjnym i adaptacyjnym). Szczegółowe wyniki modelowania pokazują, iż źródłem spadku PKB jest przede wszystkim zmniejszenie produktywności sektorów, w których ponoszone są nakłady inwestycyjne. Skala zmiany PKB w stosunku do poziomu prognozowanego w scenariuszu referencyjnym NEU jest względnie stałą i mieści się w przedziale od – 0,4 do – 0,5%, z wyjątkiem najbliższego okresu tj. roku 2025, w którym ów spadek sięga jedynie 0,3% różnicy między scenariuszami. W ujęciu kwotowym największa zmiana przewidywana jest w 2040 roku, co wynika głównie z prognozy wzrostu gospodarczego w scenariuszu referencyjnym.

Jednym z efektów widocznym w symulacji modelowej jest zmiana wskaźnika konsumpcji rządowej. W modelu założono, że konsumpcja rządowa zmienia się proporcjonalnie do sumy konsumpcji i inwestycji w gospodarce, w efekcie przewidywane wyniki są zasadniczo zbieżne z prognozowanymi zmianami wskaźnika PKB, przy czym, o ile struktura tych zmian jest, ich skala jest nieco mniejsza i kształtuje się w okresie 2030-2040 w przedziale – 0,3 do – 0,4%, w roku 2025 sięgając jedynie – 2,5%. Kwotowo największa zmiana między scenariuszami przewidywana jest w roku 2040, z powodów tych samych, które opisano w odniesieniu do wskaźnika PKB.



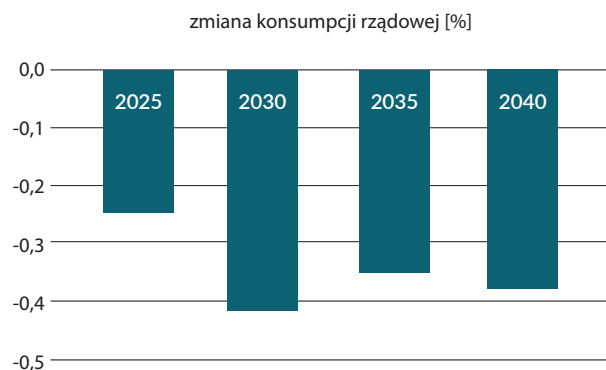
Rys. 7 Ekonomiczne skutki realizacji działań adaptacyjnych wg scenariusza ADAPT jako procentowa zmiana PKB w Polsce

Źródło: Opracowanie własne CAKE/KOBiZE



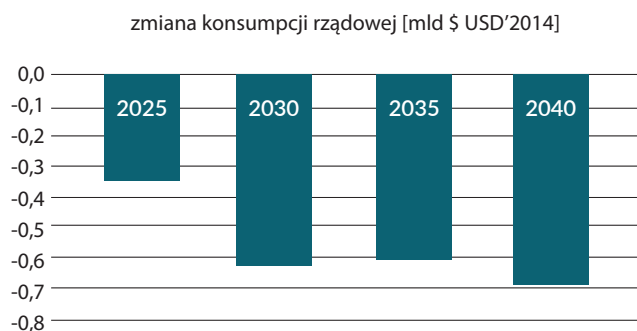
Rys. 8 Ekonomiczne skutki realizacji działań adaptacyjnych wg scenariusza ADAPT jako zmiana wartości PKB w Polsce

Źródło: Opracowanie własne CAKE/KOBiZE



Rys. 9 Procentowa zmiana konsumpcji rządowej jako skutek realizacji działań adaptacyjnych wg scenariusza ADAPT

Źródło: Opracowanie własne CAKE/KOBiZE

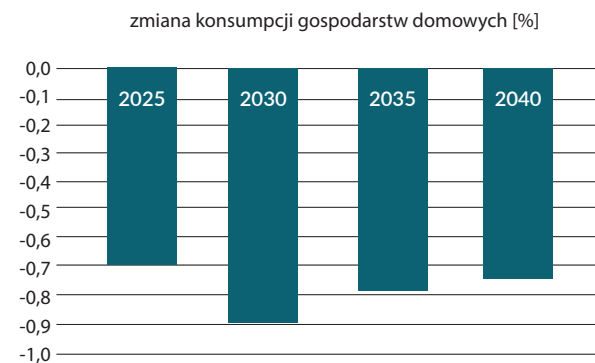


Rys. 10 Zmiana konsumpcji rządowej jako skutek realizacji działań adaptacyjnych wg scenariusza ADAPT wyrażona kwotowo

Źródło: Opracowanie własne CAKE/KOBiZE

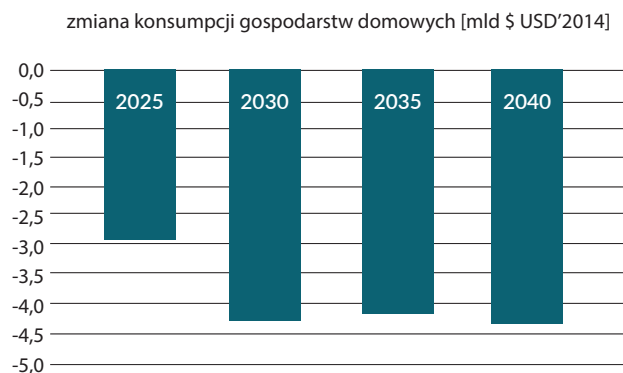
Na wykresach **Rysunek 11** oraz **Rysunek 12** przedstawiono prognozowaną zmianę wskaźnika przedstawiającego konsumpcję gospodarstw domowych. Największą względną zmianę, sięgającą 0,9% różnicy między scenariuszem referencyjnym NEU i adaptacyjnym ADAPT obserwujemy w 2030 roku, po czym nieznacznie się ona zmniejsza. Kwotowo skala spadków konsumpcji gospodarstw domowych kształtuje się na względnie stałym poziomie w okresie 2030-2040. Głównym powodem spadku konsumpcji gospodarstw domowych widocznym w symulacji modelowej jest ograniczenie transferów z sektora rządowego, związane ze zwiększeniem nakładów inwestycyjnych na realizację działań adaptacyjnych. Ponadto, jednym z powodów spadku konsumpcji gospodarstw domowych wydaje się być spadek realnych wynagrodzeń, będący odzwierciedleniem obniżki popytu na pracę. Popyt na pracę maleje częściowo na skutek opisanego wyżej obniżenia aktywności gospodarczej (PKB), a częściowo przypuszczalnie na skutek zmiany struktury popytu finalnego (spadek konsumpcji i eksportu, wzrost inwestycji). W efekcie obserwowany jest także spadek wynagrodzeń, co zilustrowano na wykresie **Rysunek 13**. W niniejszej analizie spadek konsumpcji gospodarstw domowych raczej nie jest determinowany spadkiem zatrudnienia, jako że założono ten wskaźnik jako egzogeniczny (szoki wprowadzane w symulacjach nie mają wpływu na łączne zatrudnienie, jedynie na zmianę sektorowej struktury zatrudnienia; nie ma możliwości migracji między regionami).

Na kolejnym wykresie (**Rysunek 14**) zmiany PKB oraz konsumpcji gospodarstw domowych zestawiono ze zmianami wskaźnika inwestycji (różnica między scenariuszami wskutek ponoszenia nakładów inwestycyjnych na działania adaptacyjne). Widoczna jest naturalna zależność między dodatkowymi nakładami inwestycyjnymi (w tym efekty ograniczenia transferów do gospodarstw domowych), aczkolwiek trudno odczytać wyraźną korelację między tym wskaźnikami. Inwestycje przedstawione jako zmiana procentowa między scenariuszami nieznacznie maleją, podczas gdy efekty wyrażone wskaźnikiem PKB i konsumpcją gospodarstw domowych pozostają w przybliżeniu stałe (z wyjątkiem 2030 roku).

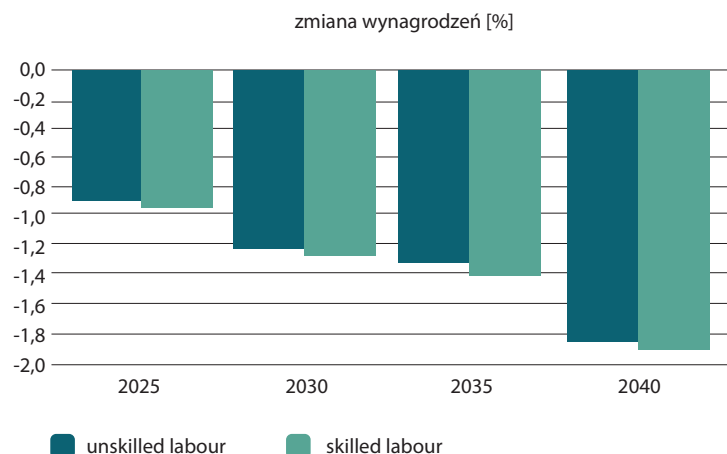


Rys. 11 Procentowa zmiana konsumpcji gospodarstw domowych jako skutek realizacji działań adaptacyjnych wg scenariusza ADAPT

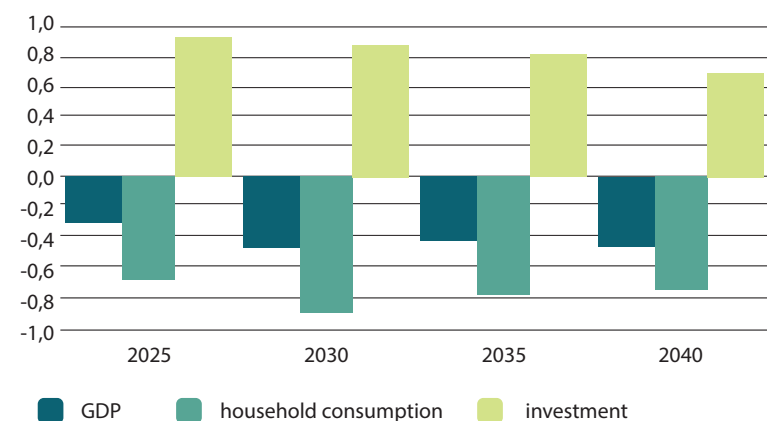
Źródło: Opracowanie własne CAKE/KOBiZE



Rys. 12 Zmiana konsumpcji gospodarstw domowych jako skutek realizacji działań adaptacyjnych wg scenariusza ADAPT wyrażona kwotowo
Źródło: Opracowanie własne CAKE/KOBiZE



Rys. 13 Zmiana indeksu wynagrodzeń jako efekt realizacji scenariusza ADAPAT
Źródło: Opracowanie własne CAKE/KOBiZE

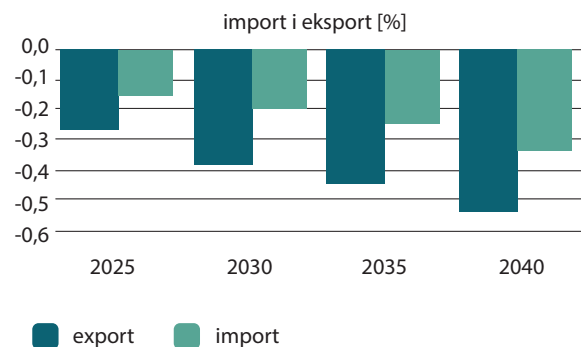


Rys. 14 Zmiany PKB oraz konsumpcji gospodarstw domowych na tle zmian inwestycji związanych z realizacją scenariusza ADAPT [%]
Źródło: Opracowanie własne CAKE/KOBiZE

Na kolejnych wykresach przedstawiono wpływ ponoszenia dodatkowych nakładów inwestycyjnych na działania adaptacyjne na wymianę międzynarodową, tj. na wskaźniki eksportu i importu (wykresy [Rysunek 15](#) oraz [Rysunek 16](#)). Przedstawione wyniki pokazują, iż przy przyjętych w analizie założeniach większe zmiany (spadki) przewiduje się w przypadku eksportu, zarówno w ujęciu procentowej zmiany między scenariuszem referencyjnym i adaptacyjnym, jak i wyrażone kwotowo. Spadki obu wskaźników, tj. eksportu i importu wzrastają w analizowanym okresie, przekraczając odpowiednio 0,5 i 0,3% odchylenia od scenariusza referencyjnego.

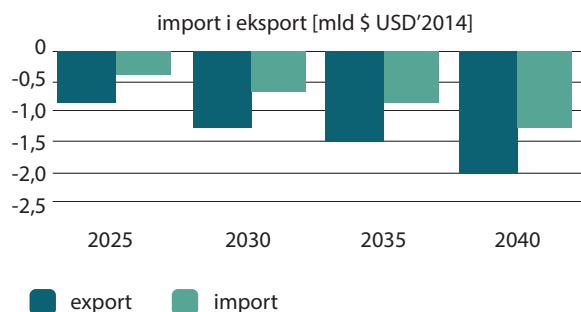
Interpretując przedstawione wyniki symulacji, należy przypomnieć, iż z powodów wymienionych w opisie metodyki (wyraźniejsza identyfikacja kierunków i struktury skutków) w analizie przyjęto podejście zakładające realizację strategii adaptacyjnej w Polsce przy braku intensyfikacji takich działań w pozostałych krajach. Należy zatem podkreślić, iż obserwowane w wynikach pogorszenie konkurencyjności następuje w warunkach, gdy pozostałe kraje nie podejmują analogicznych przedsięwzięć inwestycyjnych (możliwe jest, że w przeciwnym razie efekty zmian konkurencyjności mogłyby nie wystąpić lub mieć inną skalę, lub kierunek). Dodatkowo do spadku eksportu prowadzą wyższe ceny niektórych produktów. Obniżka importu jest wywołana zmniejszeniem aktywności gospodarczej (co pokazują m.in. zmiany PKB).

Symulacje zakładają m.in., że szoki wprowadzane w scenariuszu adaptacyjnym ADAPT nie zmieniają bilansów handlowych poszczególnych krajów (w ujęciu realnym) – wobec tego szoki wywołują dostosowania realnych kursów walutowych (relacji cen między poszczególnymi regionami). Jednocześnie oznacza to, że dodatkowe inwestycje w gospodarce finansowane są z oszczędności krajowych, nie zaś z oszczędności zagranicy. Obserwowane zmiany cen należy interpretować jako zmiany w relacji do cen światowych (aproksymowanych przez indeks cen produktów konsumpcyjnych w regionie „reszty świata”).



Rys. 15 Procentowa zmiana wartości eksportu i importu dla Polski jako efekt realizacji scenariusza ADAPAT

Źródło: Opracowanie własne CAKE/KOBiZE



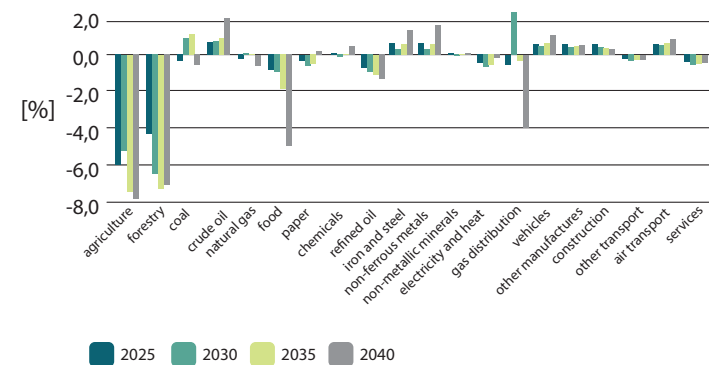
Rys. 16 Wyrażone kwotowo zmiany w wartości eksportu i importu dla Polski jako efekt realizacji scenariusza ADAPAT

Źródło: Opracowanie własne CAKE/KOBiZE

6.2. Zmiany w przekroju sektorowym

W niniejszym rozdziale przedstawiono wybrane wyniki modelowania w podziale na sektory. Zaprezentowane wyniki są rozszerzeniem rezultatów pokazanych w poprzednim rozdziale ilustrującym, jaki udział mają poszczególne sektory w wynikach wyrażonych za pomocą zagregowanych wskaźników makroekonomicznych.

Na wykresach **Rysunek 17** i **Rysunek 18** przedstawiono symulację zmian w poziomie produkcji w poszczególnych sektorach zdefiniowanych w modelu (odpowiednio procentowe i wyrażone kwotowo różnice między scenariuszem referencyjnym i adaptacyjnym). Zgodnie z oczekiwaniami największy spadek produkcji w przyjętym w symulacji okresie obserwowany jest w przypadku sektorów rolnictwa i leśnictwa, a także powiązanego z rolnictwem sektora produkcji i przetwórstwa żywności (przemysł spożywczy). Spadki wartości produkcji – różnica między scenariuszami – w sektorach rolnictwa i leśnictwa sięgają ponad 7%, wzrastając w czasie. W odniesieniu do przemysłu spożywczego w 2040 roku spadek ten może osiągnąć prawie 5%. W innych sektorach określonych jako wrażliwe na skutki zmian klimatu i wymagające dodatkowych nakładów inwestycyjnych zmiany procentowe nie są tak znaczące. W przypadku usług (obejmujących m.in. ochronę zdrowia) spadek ten nie przekracza 1% w całym analizowanym okresie, zaś w sektorze budownictwa przewidywany jest niewielki wzrost (co jest w pewnym sensie zaskakujące przy założeniu, iż przewidziane są tam znaczące inwestycje).

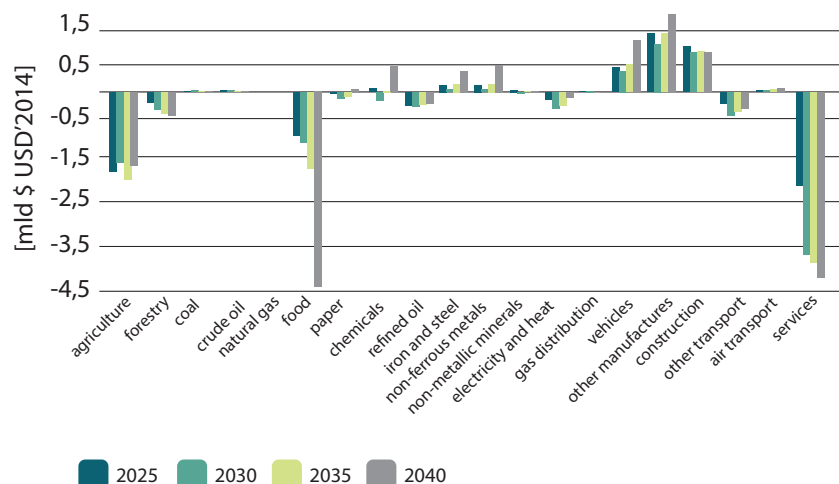


Rys. 17 Zmiany poziomu produkcji w sektorach jako efekt realizacji scenariusza ADAPAT

Źródło: Opracowanie własne CAKE/KOBiZE

Poza wymienionymi sektorami warto zwrócić uwagę na wzrost (choć niewielki) produkcji w sektorach przemysłowych niewskazanych jako istotnie wrażliwe na skutki zmian klimatu i w konsekwencji mające znikomy udział w realizacji działań adaptacyjnych, z wyjątkiem powiązanych ze spadającą konsumpcją gospodarstw domowych sektorów obejmujących dostawy paliw i transport.

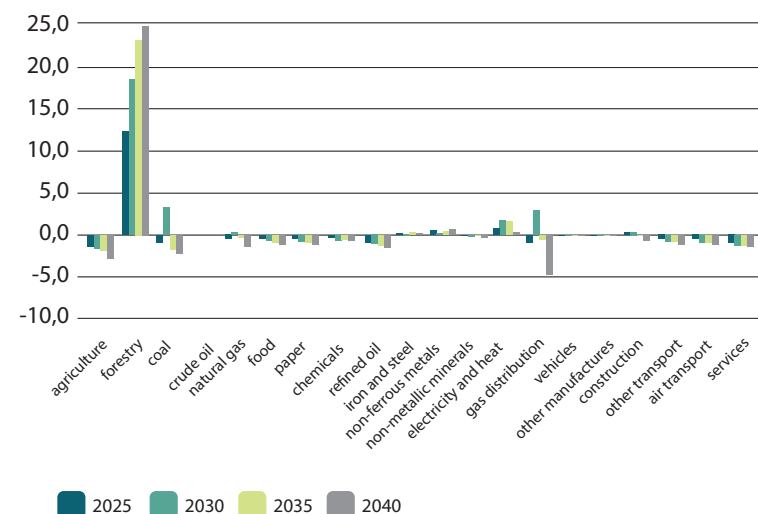
Interesujące okazuje się porównanie zmian poziomu produkcji w sektorach wyrażonych jako różnice procentowe między scenariuszami i tymi samymi efektami wyrażonymi kwotowo (Rysunek 18). W tym ujęciu, w szczególności pod koniec analizowanego okresu, zmiany o najwyższej wartości przewidywane są w przemyśle spożywczym oraz w usługach. Należy w tym miejscu przypomnieć, iż zmiany cen produktów poszczególnych sektorów są równoważne zmianom jednostkowych kosztów produkcji w tych sektorach. Wyższe ceny produktów rolnych przekładają się także na wzrost cen żywności. Wyraźnie wyższe wydają się też wzrosty w sektorze budownictwa i niektórych sektorów przemysłowych. Zatem różnice w strukturze skali zmian między wykresem wyrażającym je procentowo i kwotowo są w pewnym zakresie efektem różnych zmian cen w poszczególnych sektorach.



Rys. 18 Wyrażone kwotowo zmiany poziomu produkcji w sektorach jako efekt realizacji scenariusza ADAPAT

Źródło: Opracowanie własne CAKE/KOBIZE

Podobne zróżnicowanie między obrazem zmian w sektorach wyrażonym procentowo i kwotowo obserwujemy w odniesieniu do wskaźnika importu (Rysunek 19 i Rysunek 20). W ujęciu procentowym wyraźnie wyróżnia się sektor leśnictwa, co można interpretować jako efekt występującego jednocześnie znacznego ograniczenia produkcji krajowej (wskutek specyfiki interwencji w tym obszarze) i wzrostu popytu, który uzupełniany jest dostawami z zagranicy. Tu także należy przypomnieć o wpływie wzrostu cen na wielkość tego wskaźnika. Różnice między scenariuszem referencyjnym i adaptacyjnym w pozostałych sektorach są niewielkie, dotyczy to także rolnictwa, gdzie obserwowany jest spadek importu, co można zinterpretować jako efekt m.in. spadku konsumpcji w gospodarstwach domowych.

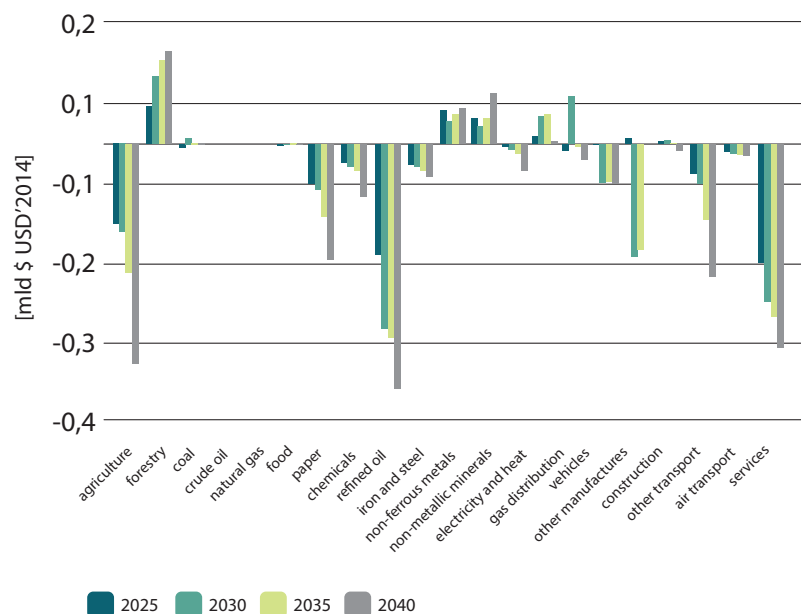


Rys. 19 Zmiany importu w sektorach jako efekt realizacji scenariusza ADAPAT

Źródło: Opracowanie własne CAKE/KOBIZE

Podobnie, jak w przypadku poziomu produkcji interesujące okazuje się porównanie zmian importu w sektorach wyrażonych procentowo między scenariuszami i tymi samymi efektami wyrażonymi kwotowo. Widoczny wyraźnie procentowy wzrost importu w sektorze leśnictwa nie wyróżnia się już tak mocno na tle innych sektorów, kiedy zmiany importu przedstawimy kwotowo. Zmiany, które w poprzednim ujęciu nie przekraczały jednego procenta, w tym przypadku – wskutek wpływu zmian cen – pokazują inny obraz ich struktury w podziale na sektory. Najwyższe wartości spadku importu obserwowane są w rolnictwie, sektorze chemicznym, usługach, przemyśle spo-

żywym i niektórych gałęziach przemysłu. Należy wszakże zauważyć, iż w ujęciu bezwzględnym nie są to wartości wysokie i w skrajnych przypadkach spadki sięgają 300 mld USD'2014 pod koniec analizowanego okresu.



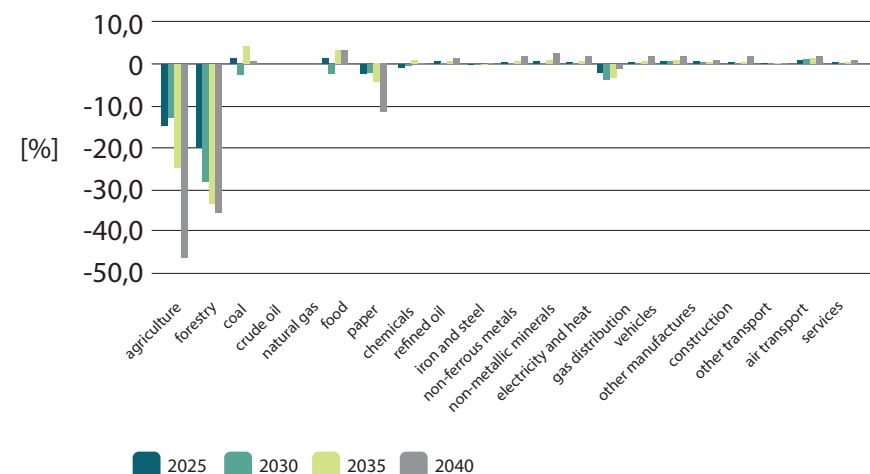
Rys. 20 Wyrażone kwotowo zmiany importu w sektorach jako efekt realizacji scenariusza ADAPAT

Źródło: Opracowanie własne CAKE/KOBIZE

Przewidywane zmiany wskaźników eksportu w poszczególnych sektorach przedstawiono na wykresach (Rysunek 21 oraz Rysunek 22). W tym przypadku wyniki przedstawione jako procentowa zmiana między scenariuszem referencyjnym i adaptacyjnym są zbieżne z oczekiwaniami i pokazują, iż największy spadek eksportu przewidywany jest w sektorze rolnictwa i leśnictwa (przekraczający odpowiednio 40 i 30% w 2040 roku). Jest to w znacznym stopniu skorelowane ze spadkiem produkcji w tych sektorach, co zilustrowano wcześniej (zob. wykres Rysunek 17). Wyraźny, aczkolwiek mniejszy niż w wymienionych sektorach spadek obserwuje się ponadto w przemyśle spożywczym.

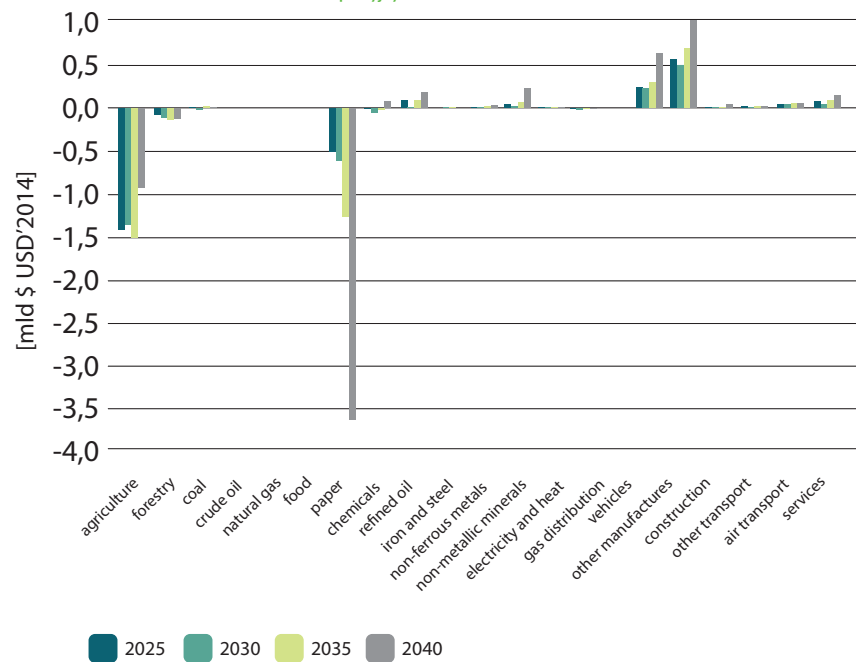
Podobnie, jak przy wcześniejszych porównaniach, także i w tym przypadku skutek tego, iż ceny w poszczególnych sektorach nie zmieniają się jednakowo, sektorowa struktura zmian eksportu wyrażona procentowo nie pokrywa się w pełni z obrazem przedstawiającym zmiany wskaźnika wartości eksportu. W ujęciu kwotowym nadal na tle innych sektorów wyróżnia się

zmiana w rolnictwie, ale już w leśnictwie nie jest ona tak wyraźna (ta i wcześniejsze obserwacje świadczą o tym, iż w rolnictwie wzrost cen będzie znacznie wyższy niż w leśnictwie). Efekt ten widać też w przypadku przemysłu spożywczego, w szczególności pod koniec analizowanego okresu. Wyraźniejsza miana będąca skutkiem m.in. wyższego wzrostu cen widoczna jest także w sektorze motoryzacyjnym i gałęziach przemysłu nieujętych w innych kategoriach.



Rys. 21 Zmiany eksportu w sektorach jako efekt realizacji scenariusza ADAPAT

Źródło: Opracowanie własne CAKE/KOBIZE



Rys. 22 Wyrażone kwotowo zmiany eksportu w sektorach jako efekt

realizacji scenariusza ADAPAT

Źródło: Opracowanie własne CAKE/KOBizE



Podsumowanie

W przeprowadzonej analizie wykonano symulację makroekonomicznych skutków wdrażania działań adaptacyjnych w Polsce. Badanie wykonano, wykorzystując przede wszystkim model równowagi ogólnej umożliwiający przedstawienie zmian wskaźników makroekonomicznych oraz przeanalizowanie efektów, które mogą wystąpić w przepływach między sektorami. Wyniki pokazano jako różnicę między scenariuszem referencyjnym NEU zakładającym symulację gospodarki Polski przy uwzględnieniu obecnie realizowanej i wynikającej z pakietu Fit for 55 polityki klimatycznej dążącej do osiągnięcia neutralności klimatycznej w 2050 roku oraz scenariuszem adaptacyjnym ADAPT, w którym dodatkowo założono realizację działań adaptacyjnych przyjętych na podstawie dokumentów strategicznych oraz innych źródeł poświęconych temu obszarowi. Zatem przedstawione rezultaty należy interpretować jako różnicę między scenariuszami, nie zaś jako wartości bezwzględne. W związku z ograniczoną czułością narzędzi modelowych oraz wspomnianym stopnie niepewności, wyniki modelowania należy traktować jako wskazanie kierunków, skali i dynamiki prognozowanych zmian. Warto podkreślić, iż uzyskane w analizie wyniki należy interpretować jako różnicę między scenariuszem referencyjnym (NEU) a scenariuszem adaptacyjnym (ADAPT), nie zaś jako wartości bezwzględne. W związku z ograniczoną czułością narzędzi modelowych oraz wspomnianym stopnie niepewności, wyniki modelowania należy traktować jako wskazanie kierunków, skali i dynamiki prognozowanych zmian.

W interpretacji wyników należy podkreślić, iż w analizie nie uwzględniono korzyści możliwych do osiągnięcia z tytułu uniknięcia lub zmniejszenia strat związanych z negatywnymi skutkami zmian klimatu, dążąc do wygenerowania wyraźnych kierunków i skali wpływu wdrażania samej strategii adaptacyjnej na gospodarkę Polski. Oszacowanie takie wymagałoby oddzielnej analizy (ma to znaczenie dla procesu decyzyjnego, w którym należałoby wykorzystać wyniki różnych analiz, w tym szacunki wartości szkód, niebędących przedmiotem niniejszej analizy). Wartości tych nie ujmujemy w niniejszym badaniu, jako że nie są one ujęte w PKB.

Zgodnie z celami analizy w opracowaniu przedstawiono wyniki w okresie do 2040 roku, wychodząc z założenia, iż wygenerowanie wyników w dłuższym horyzoncie czasowym obarczone byłoby zbyt dużym stopniem niepewności, w szczególności w odniesieniu do uzyskiwanych wartości

Wskaźniki makroekonomiczne ilustrujące wpływ realizacji działań adaptacyjnych na całą gospodarkę pokazują, iż niezbędne nakłady inwestycyjne powodują w założonym okresie analizy spadek PKB, przy czym jego skala nie jest wysoka (choćby w porównaniu z krajami bardziej wrażliwymi na skutki zmian klimatu i wymagającymi daleko bardziej rozbudowanych i kosztownych strategii adaptacyjnych).

Skala zmiany PKB w stosunku do poziomu prognozowanego w scenariuszu referencyjnym mieści się w przedziale od – 0,4 do – 0,5%, a w roku 2025 nawet jedynie 0,3% różnicy między scenariuszami. W ujęciu kwotowym największa zmiana PKB, sięgająca 4 mld USD²⁰¹⁴ przewidywana jest w 2040 roku, co wynika głównie z prognozy wzrostu gospodarczego w scenariuszu referencyjnym.

W symulacji spada też wskaźnik konsumpcji, zarówno rządowej, jak i gospodarstw domowych. Konsumpcja rządowa zmienia się proporcjonalnie do sumy konsumpcji i inwestycji w gospodarce, w efekcie przewidywane wyniki są zasadniczo zbieżne z prognozowanymi zmianami wskaźnika PKB, przy czym skala zmian jest nieco mniejsza i kształtuje się w okresie 2030-2040 w przedziale

– 0,3 do – 0,4%, w roku 2025 sięgając jedynie – 2,5%.

W przypadku konsumpcji gospodarstw domowych największą względną zmianę sięgającą 0,9% różnicy między scenariuszami obserwujemy w 2030 roku, po czym się ona zmniejsza. Głównym powodem spadku konsumpcji gospodarstw domowych widocznym w symulacji modelowej jest ograniczenie transferów z sektora rządowego, związane ze zwiększeniem nakładów inwestycyjnych na realizację działań adaptacyjnych. Dodatkowo jednym z powodów spadku konsumpcji gospodarstw domowych jest spadek realnych wynagrodzeń, będący odzwierciedleniem obniżki popytu na pracę.

Wdrażanie strategii adaptacyjnej założonej w scenariuszu ADAPT wpływa też na spadki wskaźników wymiany międzynarodowej. Większe spadki, sięgające – 0,5% przewiduje się w przypadku eksportu, w przypadku importu wartość ta osiąga – 0,3% w stosunku do scenariusza referencyjnego. Warto dodać, iż do spadku eksportu dodatkowo prowadzą wyższe ceny niektórych produktów. Obniżka importu jest wywołana zmniejszeniem aktywności gospodarczej (co pokazują m.in. zmiany PKB).

Wyniki analizy przedstawiono także w przekroju sektorowym. Zgodnie z oczekiwaniami największy spadek produkcji w przyjętym w symulacji okresie obserwowany jest w przypadku sektorów rolnictwa i leśnictwa, a także powiązanego z rolnictwem sektora produkcji i przetwórstwa żywności (przemysł spożywczy). Spadki wartości produkcji – różnica między scenariuszami – w sektorach rolnictwa i leśnictwa sięgają ponad 7%, wzrastając w czasie. Warto wszakże zauważyć, iż struktura sektorowa zmian wyrażonych procentową zmianą poziomu produkcji nie pokrywa się w całości z obrazem tych zmian wyrażonym kwotowo. W tym drugim przypadku, skutek zróżnicowanych zmian cen w poszczególnych sektorach. W ujęciu kwotowym zmiany o najwyższej wartości przewidywane są w przemyśle spożywczym oraz w usługach (wyższe ceny produktów rolnych przekładają się na wzrost cen żywności). Wyraźnie wyższe wydają się też wzrosty w sektorze budownictwa i niektórych sektorów przemysłowych.

Podobne zróżnicowanie między obrazem zmian w sektorach wyrażonym procentowo i kwotowo obserwujemy w odniesieniu do wskaźnika importu. W ujęciu procentowym wyraźnie wyróżnia się sektor leśnictwa, co można interpretować jako efekt występującego jednocześnie znacznego ograniczenia produkcji krajowej (skutek specyfiki interwencji w tym obszarze) i wzrostu popytu, który uzupełniany jest dostawami z zagranicy. Widoczny wyraźnie procentowy wzrost importu w sektorze leśnictwa nie wyróżnia się już tak mocno na tle innych sektorów. Najwyższe wartości spadku importu obserwowane są w rolnictwie, sektorze chemicznym, usługach, przemyśle spożywczym i niektórych gałęziach przemysłu. Należy wszakże zauważyć, iż w ujęciu bezwzględny nie są to wartości wysokie i w skrajnych przypadkach spadki sięgają 300 mld USD²⁰¹⁴ pod koniec analizowanego okresu. Tu także należy przypomnieć o wpływie wzrostu cen na wielkość tego wskaźnika. Różnice między scenariuszem referencyjnym i adaptacyjnym w pozostałych sektorach są niewielkie, dotyczy to także rolnictwa, gdzie obserwowany jest spadek importu, co można zinterpretować jako efekt m.in. spadku konsumpcji gospodarstw domowych.

Przewidywane zmiany wskaźników eksportu w poszczególnych sektorach są zbieżne z oczekiwaniami i pokazują, iż największy spadek eksportu wyrażony jako zmiana procentowa przewidywany jest w sektorze rolnictwa i leśnictwa (przekraczający odpowiednio 40 i 30% w 2040 roku), co

w znacznym jest zbieżne ze spadkiem produkcji w tych sektorach. W ujęciu kwotowym nadal na tle innych sektorów wyróżnia się zmiana w rolnictwie, ale już w leśnictwie nie jest ona tak wyraźna. W rolnictwie i przemyśle spożywczym wzrost cen będzie znacznie wyższy w pozostałych sektorach.

Dynamika i rozłożenie uzyskanych wartości wskaźników makroekonomicznych w czasie w badaniu dla Polski w znacznym stopniu są zbieżne z rezultatami analiz przeprowadzonych dla Unii Europejskiej, w szczególności zaprezentowanych efektów projektu PESETA IV oraz COACCH, a także wnioskami płynącymi z realizowanego projektu ECON-ADAPT przedstawionych w ocenie skutków ewentualnego wdrażania nowej strategii adaptacji UE. Warto jednak zauważyć, iż w przypadku Polski wielkości części tych zmian są nieco niższe.

BIBLIOGRAFIA I ŹRÓDŁA

Aligishiev, Z., Bellon, M., Massetti, E. (2022). "Macro-Fiscal Implications of Adaptation to Climate Change." IMF Staff Climate Note 2022/002, International Monetary Fund, Washington, DC.

Biała księga - Adaptacja do zmian klimatu : europejskie ramy działania (2009). Komisja Europejska, COM/2009/0147 final.

Boratyński J., Pyrka, M., Tobiasz I., Witajewski-Baltvilks J., Jeszke, R., Gąska, J., Rąbiega, W.(2022). The CGE model d-PLACE, ver.2.0, Institute of Environmental Protection - National Research Institute / National Centre for Emissions Management (KOBIZE), Warsaw.

de Bruin, K., R. Dellink and S. Agrawala (2009), „Economic Aspects of Adaptation to Climate Change: Integrated Assessment Modelling of Adaptation Costs and Benefits”, OECD Environment Working Papers, No. 6, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/225282538105>.

Boratyński, J., Witajewski-Baltvilks, J., Tatarewicz, I., Pyrka, I., Rąbiega, W., Wąs, A., Kobus, P., Lewarski, M., Gorzalczyński, A., Tobiasz, I., Vitaliy, K., Jeszke, R., (2021) Procedure for linking sectoral models with the CGE model, Technical documentation version 1.0, Institute of Environmental Protection - National Research Institute / National Centre for Emissions Management (KOBIZE), Warsaw.

Bosello, F., Parrado, R., Ciscar, J.C., Szewczyk, W. (2016). Modelling autonomous adaptation with the GEM-E3 model and planned adaptation with the ICES model. Methodology and results. ECONADAPT consortium.

Brooks, N., Anderson, S., Ayers, J., Burton, I. and Tellam, I. (2011). Tracking adaptation and measuring development. IIED Climate Change Working Paper No. 1.

Budując Europę odporną na zmianę klimatu - nowa Strategia w zakresie przystosowania do zmiany klimatu (2021). Komisja Europejska, COM(2021) 82 final.

Climate ADAPT. Sharing adaptation knowledge for climate resilient Europe. (<https://climate-adapt.eea.europa.eu/>)

Climate change: the cost of inaction and the cost of adaptation (2007). EEA Technical report No 13/2007. EEA / Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

Climate Impacts in Europe. The JRC PESETA II Project (2014). Science and Policy Report EUR 26586EN, European Commission, Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies.

COACCH (2019). The Economic Cost of Climate Change in Europe: Synthesis Report on Interim Results. Policy brief by the COACCH project. Editors: Watkiss, P., Troeltzsch, J., McGlade, K., Watkiss, M. COACCH: Co-designing the Assessment of Climate Change Costs.

De Rose, A., Anagnostopoulos, F., Tricot, A., Sandhu, N., Laureysens, I., Skotis, M. (2018). Dostosowanie dużych projektów infrastrukturalnych do zmian klimatu Raport krajowy dla Polski. Komisja Europejska (raport przygotowany przez EY i Arcadis).

ECONADPT (2015). The Costs and Benefits of Adaptation: Results from the ECONADAPT Project, Watkiss, P. (red.). ECONADAPT consortium.

Espagne, E. (red.) (2021). Macroeconomics of climate impacts and adaptation. [w:] Espagne E. (red.) Climate change in Viet Nam, impacts and adaptation : a COP26 assessment report of the GEMMES Viet Nam project, Agence Française de Développement, Paris (s. 563-599).

Fankhauser, S. (2010). The costs of adaptation. Wiley interdisciplinary reviews: climate change, Vol. 1(1), 23-30.

Felder, F.A., Kumar, P. (2021). A review of existing deep decarbonization models and their potential in policymaking. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 152, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111655>.

Feyen L., Ciscar J.C., Gosling S., Ibarreta D., Soria A. (eds.) (2020). Climate change impacts and adaptation in Europe. JRC PESETA IV final report. EUR 30180EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, doi:10.2760/171121, JRC119178.

Impact Assessment Report - accompanying the Commission communication: Forging a climate-resilient Europe - The new EU Strategy on Adaptation to Climate Change (2021). Komisja Europejska, SWD(2021) 25 final

Klimada 2.0. Baza wiedzy o zmianach klimatu (<https://klimada2.ios.gov.pl/>).

Krajowy plan na rzecz energii i klimatu na lata 2021-2030. Założenia i cele oraz polityki i działania (2019). Ministerstwo Aktywów Państwowych, Warszawa.

Lamhauge, N., E. Lanzi and S. Agrawala (2012), Monitoring and Evaluation for Adaptation: Lessons from Development Co-operation Agencies, OECD Environment Working Papers, No. 38, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/5kg20mj6c2bw-en>.

Michalak, D. (2016). A comparative analysis of initiatives and adaptation measures to climate change undertaken in Poland and Western Europe, Comparative Economic Research. Central and Eastern Europe, De Gruyter, Warsaw, Vol. 19, Iss. 4, pp. 107-122, <https://doi.org/10.1515/ceer-2016-0032>.

Opracowanie i wdrożenie Strategicznego Planu Adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu. Adaptacja wrażliwych sektorów i obszarów Polski do zmian klimatu do roku 2070 (2013). Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa.

Polityka energetyczna Polski do 2040 r. (2021). Monitor Polski 2021, poz. 264.

Rąbiega, W., Sikora, P., Gąska, J., Gorzalczyński A. (2022) The TR3E Model, ver.2.0, Institute of Environmental Protection - National Research Institute / National Centre for Emissions Management (KOBIZE), Warsaw.

Saraswat, C., Kumar, P. (2016). Climate justice in lieu of climate change: a sustainable approach to respond to the climate change injustice and an awakening of the environmental movement. Energ. Ecol. Environ, Vol. 1, s. 67–74. <https://doi.org/10.1007/s40974-015-0001-8>.

Springman, M. (2012). The costs of climate-change adaptation in Europe: a review. EIB Working Papers 2012 / 05. European Investment Bank.

State and Trends in Adaptation Report 2020. Volume 1. Building Forward Better from Covid-19: Accelerating Action on Climate Adaptation (2021). Global Center on Adaptation, Rotterdam.

Strategia adaptacji Polski do zmian klimatu (2012). Europejskie Centrum Klimatu i Środowiska.

Strategia na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju do roku 2020 (z perspektywą do 2030 r.). Rada Ministrów RP, 2017.

Strategia zrównoważonego rozwoju wsi, rolnictwa i rybactwa 2030 (2019). Monitor Polski 2019, poz. 1150.

Strategiczny plan adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu do roku 2020 z perspektywą do roku 2030 (2013). Ministerstwo Środowiska, Warszawa.

Strategiczny plan adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu do roku 2020 z perspektywą do roku 2030. Wersja 23, przed konsultacjami (2012). Ministerstwo Środowiska, Warszawa.

Tatarewicz, I., Lewarski, M., Skwierz, S., (2022) The MEESA Model, ver.2.0, Institute of Environmental Protection - National Research Institute / National Centre for Emissions Management (KOBIZE), Warsaw.

Tol, R.S.J. (2005). Adaptation and mitigation: trade-offs in substance and methods. *Environmental Science and Policy*, Vol. 8(6): 572-578.
Tröltzsch, J., Rouillard, J., Tarpey, J., Lago, M., Watkiss, P., Hunt, A. (2016). *The economics of climate change adaptation: Insights into economic assessment methods*. ECONADAPT consortium.

United Nations Environment Programme (2021). *Adaptation Gap Report 2020*. Nairobi.

Wqs, A., Witajewski-Baltvilks, J., Krupin, V., Kobus, P. (2022). The EPICA model, ver. 2.0, Institute of Environmental Protection - National Research Institute / National Centre for Emissions Management (KOBIZE), Warsaw.

