

Adaptacja i mitygacja w zarządzaniu ryzykiem klimatycznym w rolnictwie

Jacek Kulawik

Abstrakt

W zarządzaniu ryzykiem klimatycznym wykorzystuje się dwie grupy instrumentów: adaptacyjne i mitygacyjne. Z identyczną sytuacją mamy również do czynienia w rolnictwie. Stąd też podstawowym celem artykułu jest pogłębienie naszej wiedzy w obszarze adaptacji i mitygacji oraz polityk publicznych zorientowanych na zarządzanie fizyczne i przejścia/tranzycji ryzykiem klimatycznym w rolnictwie. Cel ten osiągnięto przez udzielenie odpowiedzi na cztery pytania badawcze oraz udokumentowanie prawdziwości przyjętej tezy badawczej. Artykuł ma charakter studium przeglądowo-monograficznego. Źródła z literatury przedmiotu dobrano za pomocą połączenia techniki manualnej ze zmodyfikowaną wersją metody snowballing backward oraz dwóch systemów sztucznej inteligencji (AI): Gemini i Scispace. Z przeprowadzonej analizy wynikają następujące wnioski: (1) adaptacja i mitygacja powinny być wdrażane w zintegrowany sposób, ponieważ występują między nimi relacje komplementarności oraz substytucyjności; (2) mitygacja na ogół jest poważniejszym wyzwaniem niż adaptacja, gdyż jej stosowanie i skuteczność bardzo istotnie zależą od współpracy i koordynacji ponadkrajowej, a niekiedy wręcz globalnej. W przypadku rolnictwa jej potencjał skoncentrowany jest głównie na obszarze nawożenia roślin i skali prowadzenia produkcji zwierzęcej; (3) rządy powinny wspierać działania adaptacyjne i mitygacyjne rolników, najlepiej w sposób pośredni, równocześnie nie osłabiając i nie deformując ich motywacji do zachowań proklimatycznych.

Słowa kluczowe: adaptacja do zmiany klimatu w rolnictwie, mitygacja emisji gazów cieplarnianych z rolnictwa, ryzyko klimatyczne w rolnictwie, zarządzanie ryzykiem klimatycznym w rolnictwie.

Jacek Kulawik, prof. dr hab., Instytut Ekonomiki Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej – Państwowy Instytut Badawczy w Warszawie (IERiGŻ PIB).

Wstęp

Wstępne szacunki wskazują, że globalna emisja gazów cieplarnianych w 2025 roku wyniosła rekordowe 60,63 mld ton ekwiwalentu dwutlenku węgla. Oznacza to wzrost o ok. 5% w porównaniu do roku 2024¹. W Unii Europejskiej (UE) wzrost ten wyniósł 0,4%. Niestety, dla Polski dysponujemy jedynie danymi na koniec sierpnia ubiegłego roku. Interesująca nas emisja ukształtowała się na poziomie 6,1 mln ton, ale – co ważne – była aż o 16,4% niższa w relacji rok do roku². Głównym źródłem tak spektakularnego spadku jest wzrost generacji energii elektrycznej w instalacjach OZ. Z drugiej strony pojawiają się bardzo solidne badania, które pokazują, że dotychczasowe prace empiryczne prawdopodobnie zaniżyły negatywne skutki zmiany klimatu dla światowego i lokalnego wzrostu gospodarczego, prawdopodobnie o niemalże cały rząd wielkości. Przede wszystkim należy tu wymienić artykuł A. Bielala i D.R. Känziga³. Ci dwaj badacze udowadniają, że wzrost globalnej temperatury o 1°C w długim okresie może zredukować światowy poziom PKB aż o 20%.

Mamy coraz więcej sygnałów, że świat jako całość nie osiągnie już celu zapisanego w Porozumieniu z Paryża z 2015 roku w postaci ograniczenia wzrostu globalnej temperatury o nie więcej niż 1,5–2°C w stosunku do okresu przedprzemysłowego⁴. Niejednoznaczne mamy natomiast informacje z sektora paliwowo-energetycznego. Z jednej strony wciąż dużo inwestuje się w paliwa kopalne, ale z drugiej strony nie widać regresu w rozwoju odnawialnych źródeł energii⁵. Poza administracją prezydenta D. Trumpa, czołowego współczesnego denialisty klimatycznego, również w UE widać sygnały o redukowaniu ambicji w polityce energetyczno-klimatycznej⁶. Co ważne, dotyczy to także partii tzw. głównego nurtu. Niejako już tradycyjnie niechętni są na ogół także unijni rolnicy, aby kontynuować kurs na adaptację do zmiany klimatu i mitygowanie jej źródeł. Polska na

1. Climate Trace Emissions Date (Feb/March), 19.02.2026.

2. KOBIZE, *Krajowy raport inwentaryzacyjny 2025*, 19.02.2026.

3. A. Bilal, D.R. Känzig, *The Macroeconomic Impact of Climate Change: Global vs. Local Temperature*, „The Quarterly Journal of Economics” 2026, Vol. 141, No. 2.

4. A. Beldowicz, *Szczyt klimatyczny COP 30 już za moment. Co się może wydarzyć?*, „Rzeczpospolita”, nr 229, 3.10.2025; A. Beldowicz, *Potrzeba redukcji emisji, by chronić kluczowy dla Europy prąd atlantycki*, „Rzeczpospolita”, nr 205, 4.09.2025; A. Hołdys, *Ciepłe przejęcie*, „Polityka”, nr 35, 27.08.2025–2.09.2025; M. Sommer, *Nowojorski szczyt klimatycznej smuty*, „Newsweek”, nr 35, nr 25, 8–31.08. 2025; W podanych źródłach mamy liczne odwołania do raportów uznanych w świecie wydawnictw i ośrodków badawczych zajmujących się problematyką klimatyczną.

5. M. Janik, *OZE rozwijają się wbrew nieprzychylnemu klimatowi*, „Rzeczpospolita”, nr 211, 11.09.2025; M. Sommer, *Ropa naftowa jednak wciąż ma przyszłość*, „Dziennik Gazeta Prawna”, nr 189, 30.09.2025. Tu również autorzy powołują się na statystyki poważnych instytucji i badaczy.

6. A. Wołownia, *Deregulacja możliwa z każdym*, „Dziennik Gazeta Prawna”, nr 194, 7.10.2025; P. Tychmanowicz, *ESG wspiera właściwą ocenę ryzyka*, „Rzeczpospolita”, nr 233, 7.10.2025.

tle UE wyróżnia się przy tym negatywnie – jako jedyny kraj nie opracowaliśmy do tej pory zaktualizowanego krajowego planu w dziedzinie energii i klimatu⁷. Optymizmem napawa natomiast fakt, że takiego planu domaga się zarówno nasz przemysł, jak i sektor organizacji pozarządowych. Niestety, podobnej aktywności nie widać wśród producentów rolnych, choć zmiana klimatu dotyka ich w coraz większym stopniu.

Zmiana klimatu jest źródłem dwóch ryzyk, które mogą mieć negatywny wpływ na społeczeństwa i gospodarki. Chodzi tu o ryzyko fizyczne, które wynikać może bezpośrednio z tej zmiany lub pośrednio, gdy wcześniej wywoła ona degradację środowiska przyrodniczego. Ryzyko to może tworzyć tzw. szybko rosnące zagrożenia (ang. *a fast-onset hazards*). Ryzyko drugie – ryzyko przejścia/tranzycji – ma swe źródło w polityce państwa oraz jej zmianach, opóźnieniach i zaniechaniach⁸. Odpowiedzią na obydwa typy zagrożeń może być w pierwszym rzędzie adaptacja do zmiany klimatu.

Jak już zaznaczono w pierwszej części artykułu, fizyczne ryzyko klimatyczne można dodatkowo podzielić na ryzyko ostre (krótkotrwałe niekorzystne zdarzenia pogodowe) oraz chroniczne – manifestujące się powoli. Z kolei ryzyko przejścia/tranzycji to pośrednie negatywne skutki zmiany klimatu wywołane przez warunki rynkowe, regulacje oraz nowe technologie. Problem polega na tym, że między tymi czystymi typami występują złożone interakcje⁹. I tak, silny wzrost ryzyk fizycznych może wymagać zdecydowanych zmian w gospodarce, w tym wdrożenia nowych, ostrzejszych regulacji. Ergo: rośnie wówczas także ryzyko przejścia. Jeśli z kolei zliberalizuje się politykę w zakresie redukcji gazów cieplarnianych, prawdopodobnie w przyszłości wzrośnie ryzyko fizyczne. Ten sam ciąg zależności może mieć miejsce, gdy spowalniać się będzie transformację energetyczną i związane z tym procesy dekarbonizacyjne.

Adaptacja do zmiany klimatu może być realizowana w sposób autonomiczny, inaczej reaktywny, gdy rolnicy próbują dostosowywać się do występujących już następstw tej zmiany. Bardziej wymagająca, ale i bardziej pożądana jest adaptacja zaplanowana, inaczej proaktywna. Ta wymaga bowiem odpowiedniej wiedzy, informacji, zasobów oraz motywacji. W obydwu przypadkach producenci rolni muszą jednak postrzegać, że per saldo odniosą korzyści netto z ponoszonych nakładów. Z kolei mitygacja może być bezpośrednia lub pośrednia. W pierwszym przypadku dążymy do redukcji emisji gazów cieplarnianych w miejscach ich powstawania. W mitygacji pośredniej wymagany wysiłek, kompetencje i zasoby są już większe, ponieważ efekt redukcyjny wymaga zarządzania także procesami biochemicznymi, ale można go uzyskać, realizując inne przedsięwzięcia.

7. A. Hołownia, *Brakuje sektorowego planu*, „Dziennik Gazeta Prawna”, nr 196, 9.10.2025.

8. M. Pisu, H. Costa, M.F. D’Arcangelo et al., *Accelerating Climate Adaptation: A Framework for Assessing and Addressing Adaptation Needs and Priorities*, OECD, Paris 2024.

9. P. Seusing, C. Leichsening, S. Marx, *Klimatrisiken. Herausforderungen im Risikomanagement von Automobilzulieferung*, „Zeitschrift für Risikomanagement” 2025, No. 1.

Obydwie strategie zarządzania ryzykiem klimatycznym pozostają względem siebie w rozmaitych relacjach. Integrując je jednak, można osiągnąć synergie i osłabić ich negatywne strony. To w sumie poważne wyzwanie dla rolników, polityków i modelarzy.

Rządy muszą być integralnym składnikiem systemu zarządzania adaptacją i mitygacją. Wynika to z istnienia efektów zewnętrznych, asymetrii informacji oraz różnego typu barier w ich wdrażaniu, a niekiedy także z konieczności ponoszenia wysokich nakładów inwestycyjnych. Rządy są także współodpowiedzialne za procesy kumulowania wiedzy i jej transfer. Władze publiczne mają szeroki zestaw instrumentów ekonomicznych, regulacyjnych i pozostałych, dzięki którym mogą aktywnie oddziaływać na zakres i tempo adaptacji oraz mitygacji. Wprawdzie priorytetem powinny być pośrednie oddziaływania, ale ważne są również dobre funkcjonowanie i współfinansowanie inwestycji proekologicznych. Trudnym wyzwaniem dla rządów jest natomiast prowadzenie polityk, które nie będą osłabiały bodźców samych rolników do podejmowania adaptacji i mitygacji.

Założenia metodyczne

Artykuł odpowiada cechom studium przeglądowo-monograficznego, które zapisało w obowiązującym w Polsce Rozporządzeniu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z 22 lutego 2019 r. w sprawie ewaluacji jakości działalności naukowej. W artykule wyodrębniono więc wyraźnie problem naukowy, tj. miejsce adaptacji i mitygacji w zarządzaniu ryzykiem klimatycznym w rolnictwie. Wykorzystano również możliwie najbardziej aktualną literaturę, którą ujęto jednak w perspektywie historycznej. Wzorowano się przy tym na trzech czołowych wydawnictwach z ekonomiki rolnictwa: „Agricultural Economics” (IF-4), „American Journal of Agricultural Economics” (IF-4,7) oraz „Journal of Agricultural Economics” (IF-4,2). W czasopiśmie tych publikowane są podobne artykuły, w których poszczególne zagadnienia przedstawiane są w ujęciu historyczno-ewolucyjnym, z odwołaniem do autorów z XIX wieku, a nawet wcześniejszych okresów, jeśli jest to uzasadnione.

Doboru źródeł z literatury przedmiotu dokonano za pomocą kombinacji zmodyfikowanej koncepcji *snow-balling backward*, techniki przeszukiwania manualnego oraz przy użyciu dwóch asystentów sztucznej inteligencji (Gemini i SciSpace). Modyfikacja *snow-ballingu* polegała natomiast na zawężeniu poszukiwania artykułów do tych, które podlegały procesowi recenzowania, posiadały wysoki IF i w polskiej klasyfikacji miały co najmniej 70 punktów. Analizowano wydawnictwa polskie, anglo- i niemieckojęzyczne. Preferowano przy tym teksty opublikowane w bieżącej dekadzie. W subiektywnej ocenie autora artykułu, który problematyką zarządzania finansami i ryzykiem w rolnictwie oraz całej gospodarce narodowej zajmuje się od ok. 30 lat,

prezentowana analiza odznacza się zadowalającym stopniem aktualności i porusza w sposób logiczny problemy w przedmiotowym obszarze.

Podstawowym celem artykułu jest pogłębienie wiedzy na temat adaptacji i mitygacji oraz polityk publicznych ukierunkowanych na zarządzanie fizycznym ryzykiem klimatycznym i klimatycznym ryzykiem przejścia/tranzyjacji w rolnictwie. Środkiem do osiągnięcia tego celu będzie udzielenie odpowiedzi na następujące pytania badawcze.

1. Co jest istotą adaptacji, jakie wyróżnia się jej rodzaje i jakie działania się w niej mieszczą?
2. Jak jest miejsce mitygacji w zarządzaniu ryzykiem klimatycznym?
3. Jak rządy powinny wspierać adaptację i mitygację producentów rolnych?
4. Jak współcześnie modeluje się adaptację i mitygację?

Cel oraz odpowiedzi na postawione pytania są z kolei środkami do naukowego podbudowania prawdziwości następującej tezy: rolnicy zawsze adaptowali się do zmiany klimatu i pogody, a także mieli pewne możliwości jej mitygacji, szczególnie w obszarze nawożenia roślin i w produkcji zwierzęcej. Współcześnie powinni być jednak wspierani przez polityki publiczne, wykorzystujące całość dostępnego instrumentarium, nie osłabiając i nie deformując równocześnie motywacji proklimatycznych producentów rolnych.

Strategie działania i polityki zorientowane na adaptację

W literaturze przedmiotu istnieje kilka definicji adaptacji do zmiany klimatu. Poniżej przedstawiono ich krótki przegląd. A. Ignaciuk, w ślad za raportem Intergovernmental Panel on Climate Change (IPEC) z 2007 roku, przez powyższą adaptację rozumie zmiany zachowań ludzkich – indywidualnych i zorganizowanych, ukierunkowanych na oczekiwane bodźce oraz ich następstwa, których źródłem jest zmiana klimatu i pogody – zarówno pozytywne, jak i negatywne¹⁰. Widzimy, że autorka to zagrożenie klimatyczne i pogodowe ujmuje w konwencji ryzyka spekulatywnego. Co jednak równie ważne, jednym z celów adaptacji ma być zwiększenie rezyliencji rolnictwa. K. Coburn adaptację postrzega jako proces dostosowań do obecnego lub oczekiwanego klimatu oraz jego następstw, aby pohamować ich negatywny wpływ lub wykorzystać nadarżające się okazje¹¹. Mniej więcej bardzo podobne stanowisko zajmują A. Wreford, A. Ignaciuk, G. Graère, ale dodają, że adaptacja musi być łącznie analizowana z mitygacją¹². Coburn zauważa natomiast, że wprawdzie większość ludzi, firm i rządów ogólnie zgadza się z potrzebą wdrażania adaptacji, ale w rzeczywistości obserwuje się w tym obszarze duży deficyt

10. A. Ignaciuk, *Adapting Agriculture to Climate Change. A role for public politics*, OECD, Paris 2015.

11. C. Coburn, *Climate Change Adaptation Policies to Foster Resilience in Agriculture*, OECD, Paris 2023.

12. A. Wreford, A. Ignaciuk, G. Graère, *Overcoming barriers to the adaptation of climate-friendly practices in agriculture*, OECD, Paris 2017.

(ang. *adaptation deficit*). Uszczuplany jest przez to dobrobyt społeczny i zazwyczaj wywierana jest dodatkowa presja na finanse publiczne, gdy konieczne staje się udzielanie pomocy osobom, firmom i całym sektorom poszkodowanym przez ekstremalne zdarzenia pogodowe. M. Pisu i in. w istocie przytaczają bardzo podobną definicję adaptacji jak A. Ignaciuk, nawiązując przy tym do najnowszego raportu IPCC, opublikowanego w 2022 roku¹³. Spotkać można jeszcze inne definicje adaptacji, ale w rzeczywistości nic nowego w nich się nie pojawia w stosunku do ujęć wyżej przedstawionych¹⁴.

Niestety adaptacja nie zawsze jest dobrze wdrażana – bywa realizowana częściowo, niekompletnie lub nie jest wdrażana wcale. Zdarzenia takie w literaturze przedmiotu określa się zbiorczym terminem *maladaptation*, który znajdujemy w kolejnych raportach IPCC. Skutkuje to wzrostem ryzyka fizycznego zmiany klimatu oraz podatnością na jego negatywne następstwa. *Maladaptation* ma przy tym cechy generowania kosztów zewnętrznych, gdy rolnicy na przykład nadmiernie eksploatują zasoby wód podziemnych w celu nawadniania swoich pól, korzystając często z subsydiów budżetowych, albo przechodzą na systemy monokulturowe¹⁵. Pierwotnym źródłem *maladaptacji* jest niepewność związana z przewidywaniem kierunków i intensywnością zmiany klimatu i włączaniem stosownych informacji w procesy decyzyjne producentów rolnych.

Zasadniczo wyróżnia się dwa główne typy adaptacji. Pierwszym z nich jest adaptacja autonomiczna (reaktywna), gdy rolnicy dostosowują swoje zachowania do postrzeganych charakterystyk zmieniającego się klimatu i parametrów pogodowych¹⁶. Działania realizowane w ramach tego typu mieszczą się w dobrych praktykach agrotechnicznych i zarządzaniu zrównoważeniem i w sposób zrównoważony. Przykładem mogą tu być przesunięcia w terminach wykonywania zabiegów agrotechnicznych, dywersyfikacja upraw, produkcji i źródeł dochodów oraz zintegrowana ochrona roślin. Drugi typ to adaptacja zaplanowana (proaktywna), czyli taka, która poprzedzona jest analizą oraz opracowaniem pewnej sekwencji działań nastawionych na redukcję negatywnych skutków przyszłej zmiany klimatu¹⁷. Istnieją wprawdzie w literaturze jeszcze inne typologie adaptacji, jednak po dokładniejszym rozpatrzeniu okazuje się, że w zasadzie chodzi tu już o instrumenty adaptacji¹⁸.

13. M. Pisu, H. Costa, M.F. D'Arcangelo et al., op. cit.

14. F. Gomez-Trajos, *Dynamic welfare implications of market-based climate policy under demand uncertainty*, „Journal of Economic Behavior and Organization” 2025, Vol. 238.

15. R. Badiani, K.K. Jessoe, S. Plant, *Development and the Environment: The Implications of Agricultural Electricity Subsidies in India*, „The Journal of Environment and Development” 2012, Vol. 21.

16. R. Mendelshon, *Agriculture and Economic Adaptation*, OECD, Paris 2012.

17. A. Ignaciuk, D. Mason-D'Croz, *Modelling Adaptation to Climate Change in Agriculture*, OECD, Paris 2014.

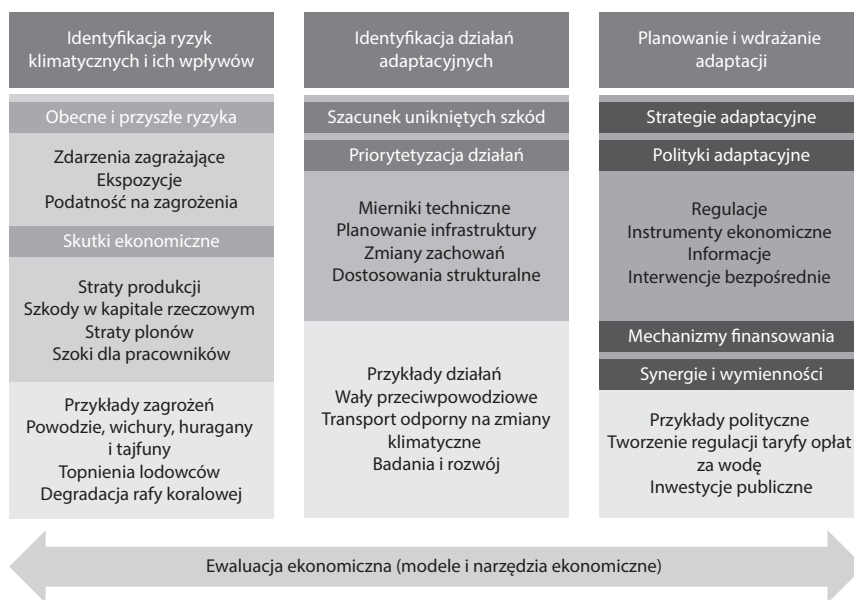
18. IPCC, *Climate change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change*, Masson-Delmotte 2021.

Adaptacja i mitygacja w zarządzaniu ryzykiem klimatycznym w rolnictwie

Typ adaptacji, jej strategię oraz instrumenty, jak również konkretne działania są wielorako zdeterminowane¹⁹. Zasadniczo chodzi tu jednak zawsze o:

- oczekiwania co do przyszłego rozwoju społeczno-ekonomicznego;
- fiskalne i makroekonomiczne skutki szkód powodowanych przez ryzyka klimatyczne i pogodowe;
- niepewność co do wpływu zmiany klimatu na wszystkich wyobraźalnych i stosowanych poziomach i podziałach;
- inercję zawartą w systemach społeczno-ekonomiczno-technicznych, co utrudnia szybkość dostosowań;
- aspekty behawioralne zachowań pojedynczych ludzi, organizacji i rządów;
- stopień elastyczności strategii, planów i programów adaptacji oraz dostępne rozwiązania alternatywne; wyzwaniem jest jednak, jak strategię i ich składowe zintegrować z tymi determinantami. Pomóc może tu propozycja przedstawiona na rycinie 1.

Rycina 1. Podejście wielofazowe do strategii adaptacji do zmiany klimatu



Źródło: Opracowanie własne na podstawie: M. Pisu, H. Costa, M.F. D'Arcangelo et al., *Accelerating and Addressing Adaptation Needs and Priorities*, OECD, Paris 2024.

19. M. Pisu, H. Costa, M.F. D'Arcangelo et al., op. cit.; S. Hallegate, *Strategies to Adapt to an Uncertain Climate Change*, „Global Environmental Change” 2009, Vol. 19, No. 2.

Strategie adaptacji realizuje się za pomocą określonych działań/aktywności. Spotyka się różne klasyfikacje tych ostatnich. A. Ignaciuk operuje następującym ich zestawem:

- sfera badań i rozwoju,
- tworzenie i wzmacnianie potencjału,
- zarządzanie ryzykiem,
- infrastruktura,
- mechanizmy finansowania²⁰.

C. Coburn z kolei używa aż dziesięciu działań:

- 1) planowanie i wsparcie, składające się z planowania w ścisłym znaczeniu, wsparcia decyzji on-line, planowania zastosowania ziemi oraz systemów wczesnego ostrzegania;
- 2) programy zorientowane na zasoby wód obejmujące rozwój infrastruktury, zarządzanie wodą oraz technologie irygacji i drenażu;
- 3) w produkcji roślinnej: technologie, hodowlę i selekcję odmian odpornych na zmianę klimatu, zarządzanie glebą, nawożeniem i ochroną roślin;
- 4) badania i/lub ich finansowanie;
- 5) programy rolno-środowiskowe, rolnictwo organiczne, płatności za usługi konserwacyjne, rekultywacja gruntów, ochrona agrobioróżnorodności;
- 6) w produkcji zwierzęcej: selekcja i hodowla, zarządzanie stadami i trwałymi użytkami zielonymi;
- 7) tworzenie partnerstw wraz z planowaniem współpracy;
- 8) doradztwo rolnicze i pomoc potrzebującym, szkolenia i edukacja oraz rozpowszechnianie informacji i wiedzy;
- 9) podejścia przekrojowe obejmujące m.in. agroekologię oraz rolnictwo inteligentne klimatycznie;
- 10) mechanizmy i produkty ubezpieczeniowe²¹.

M. Pisu i in. zaproponowali natomiast czteroelementową typologię działań/aktywności adaptacyjnych, którą przedstawiono w tabeli 1.

20. A. Ignaciuk, *Adapting Agriculture to Climate Change. A role for public politics*, OECD, Paris 2015.

21. C. Coburn, op. cit.

Tabela 1. Działania/aktywności adaptacyjne według M. Pisu i in.

Typ działań	Opis	Podtyp	Przykłady
Techniczne	Inwestycje rzeczowe ukierunkowane na redukcję ekspozycji i podatności na zagrożenia klimatyczne	Opcje inżynierskie i technologiczne odwołujące się do rozwiązań spotykanych w przyrodzie	Wały przeciwpowodziowe i systemy irygacyjne
Planowanie infrastrukturalne	Instrumenty regulacyjne i ukierunkowane na redukcję ekspozycji i podatności na zagrożenia klimatyczne		Zmiany struktur i systemy odporne na zmianę klimatu
Behawioralne i organizacyjne	Zmiany w praktykach i strategiach ukierunkowane na redukcję ekspozycji i podatności na zagrożenia klimatyczne		Zmiany czasu pracy i diety oraz migracje sezonowe
Dostosowania strukturalno-ekonomiczne	Zmiany systemowe ukierunkowane na redukcję ekspozycji i podatności na zagrożenia klimatyczne		Rozwiązania ze sfery badań i rozwoju, Realokacja aktywności i ludności

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: M. Pisu, H. Costa, M.F. D'Arcangelo et al., *Accelerating Climate Adaptation: A Framework for Assessing and Addressing Adaptation Needs and Priorities*, OECD, Paris 2024.

Współcześnie działania adaptacyjne na poziomie konkretnych gospodarstw rolnych muszą być planowane i wdrażane w sposób wysoce zdezagregowany, ale równocześnie integrujący dorobek różnych dyscyplin naukowych. Wpływy materializacji ryzyka klimatycznego na sektor rolny mogą być analizowane na gruncie modelowania klimatycznego, nauk rolniczych/agronomicznych i w konwencji społeczno-ekonomicznej. W pierwszym przypadku koncentrujemy się na prawdopodobieństwie wystąpienia nietypowych zdarzeń pogodowych i ich oddziaływaniu na plony roślin uprawnych oraz możliwych dostosowaniach i unikaniu strat²². Same zaś prawdopodobieństwa szacuje się z reguły dla dużych skal czasowych i przestrzennych. To w sposób naturalny rodzi niepewność prognoz co do częstości pojawienia się lokalnych anomalii pogodowych. Bardzo rzadko modelarze zajmują się też ich wpływem w poszczególnych fazach rozwojowych roślin. Nauki agronomiczne wprawdzie starają się ustalić związki przyczynowo-skutkowe między poszczególnymi parametrami pogodowymi a plonami i wzrostem oraz rozwojem roślin w konkretnych fazach, ale sporadycznie zajmują się częstością zdarzenia się pogody nietypowej, kosztami oraz efektywnością

22. R. Heltberg, R.B. Siegel, S.L. Jorgensen, *Addressing human vulnerability to climate change: toward a „non-regrets” approach*, „Global Environmental Change” 2009, Vol. 19, No.11.

instrumentów i strategii radzenia sobie z jej skutkami²³. Z kolei w podejściu społeczno-ekonomicznym eksponuje się relacje między zagrożeniami, plonami i dochodami rolniczymi, jednak równocześnie zaniedbuje się inne ścieżki powiązań, które opisują determinanty wzrostu podatności na negatywne następstwa nietypowej pogody²⁴.

Bardzo interesującą próbą zintegrowania trzech ww. koncepcji badania wpływów anomalii pogodowych na gospodarstwa rolne jest propozycja H. Shaha P. Hellegersta i Ch. Sideriusa. Ten międzynarodowy zespół badaczy operuje pojęciem *critical moments* (CMs), które do obiegu naukowego wprowadzili A. Groot, S. Werners i B. Regmi²⁵. Rozumieli je jako czasowe połączenie zagrożeń, ich oddziaływań na produkcję roślinną i dochody rolnicze. H. Shah i in. wyeksponowali natomiast okresy zagrożeń w ciągu roku dla zmienności stanu i struktury środków utrzymania rodzin rolniczych. Zagrożenia te następnie podzielili na: bezpośrednie, złożone i przesunięte w czasie, a następnie połączyli je z fazami wzrostu i rozwoju roślin uprawnych oraz strategiami radzenia sobie z nimi.

Pierwszy typ odnosi się do pojedynczych anomalii pogodowych. Z uwagi na ich bardzo krótki czas wpływu bardzo trudno jest tu wymyślić i zastosować jakieś środki zaradcze. Należy się zatem godzić z pewną utratą plonu oczekiwanego. Zagrożenia złożone są kombinacją co najmniej dwóch anomalii. To zwiększa ich ujemne skutki, bo działa tu swoisty efekt synergetyczny. Im później takie złożenie się pojawi, tym trudniej przeciwdziałać szkodom w plonowaniu. Wpływy przesunięte w czasie generują tzw. efekty domina (ang. *ripple effects*). Jego istotą jest, rzecz jasna, także pewien spadek plonów w okresie pierwszym, ale też opóźnienia prac agrotechnicznych w optymalnych terminach w okresie drugim. Mechanizm taki określa się również jako kaskadowość kumulowania się ryzyka w czasie. Niebezpieczeństwo to rośnie szczególnie w krajach, w których w ciągu roku zbiera się co najmniej dwa plony. Niestety, jako realne trzeba je widzieć także w Polsce. Szczegółowy przegląd powyższych wpływów przedstawiono w tabeli 2.

23. S.L. Zandalinas, R. Mittler, D. Balfagón et al., *Plant adaptations to the combination of drought and high temperatures*, „Physiologia Plantarum” 2018, Vol. 162.

24. V. Diogo, P. Reidsma, B. Schaap et al., *Assessing local and regional economic impact of climate extremes and feasibility of adoption measures in Dutch arable farming systems*, „Agricultural Systems” 2017, Vol. 157.

25. A. Groot, S. Werners, B. Regmi, *Critical climate-stress moments and their assessment in the Hindu Kush Himalaya: Conceptualization and assessment methods*, Nepal, Katmandu 2017, dostęp 20.05.2025.

Tabela 2. Przegląd trzech typów momentów krytycznych wpływu zmiany klimatu na rolnictwo

Moment krytyczny	Zagrożenie/ryzyko	Czas, faza rozwoju rośliny i kanały wpływu	Możliwe przeciwdziałania zagrożeniom/ryzykom
Bezpośredni wpływ	Susza/nadmiar wody	Siew: wykonalność, koszt, krótki czas na uprawę, strata nasion i wigoru wschodów	Regulacja terminu siewu/sadzenia
	Niskie temperatury	Wschody: zamieranie	Regulacja terminu siewu/sadzenia
	Niskie temperatury i/lub ekstremalne temperatury	Wschody: uszkodzenia korzeni Wegetacja: karłowatość i choroby	Przyspieszenie siewów/nasadzeń Brak rekomendacji
	Wiatr, deszcz	Od wegetacji do dojrzałości: wyleganie, wzrost pracochłonności i kosztów, pogorszenie jakości	Regulacje terminów siewu/sadzenia i obsady roślin
	Wysokie temperatury	Reprodukcja: straty w plonach i jakości	Dobór odmian
	Stres cieplny i temperatury ekstremalne	Dojrzewanie: wyleganie, straty w plonach i jakości, także materiału reprodukcyjnego	Nawadnianie w okresie kwitnienia oraz dobór odmian i technik uprawy
	Deszcz nawalny	Wegetacja: zatapienie roślin	Drenaż i dobór odmian
	Susza	Wegetacja: słabe zawiązanie nasion Reprodukcja: słaby rozwój nasion i ich wysypywanie się	Drenaż i dobór odmian, zabiegi chroniące zasoby wody w glebie Poprawa gospodarowania wodą, wzrost udziału roślin strączkowych
	Nietypowy deszcz i grad	Dojrzałość/zbiory: beztlenowe gnienie roślin, porastanie, wzrost kosztów i pracochłonności, zagęszczanie gleb	Drenaż, wcześniejszy siew/sadzenie
Wpływ złożony	Wysokie temperatury w początkowych fazach rozwojowych	Różne fazy: skrócenie łodyg i utrata liści Siew i kiełkowanie: opóźniony siew, słaby wzrost, utrata wagi i ekspozycja na późniejsze stresory	Przyspieszenie zbiorów Regulacje terminów siewu/nasadzeń, chłodzenie nasion, irygacja
	Nietypowy deszcz	Siew/sadzenie: ekspozycja na późniejsze stresory	Regulacje terminów siewu/nasadzeń
	Wilgoć i mróz	Kiełkowanie: opóźniony siew, słaba kondycja roślin	Wczesny siew połączony z irygacją
	Wilgotność i wysokie nocne temperatury	Reprodukcja: sterylny materiał reprodukcyjny	Regulacje terminów siewu/nasadzeń oraz dodatki hormonów roślin

Ciąg dalszy tabeli na następnej stronie.

Tabela 2. Przegląd trzech typów momentów krytycznych wpływu zmiany klimatu na rolnictwo (cd.)

Moment krytyczny	Zagrożenie/ryzyko	Czas, faza rozwoju rośliny i kanały wpływu	Możliwe przeciwdziałania zagrożeniom/ryzykom
	Niskie opady deszczu i mróz	Reprodukcja i formowanie nasion: sterylny materiał reprodukcyjny, słabe wypełnienie nasion, zakłócenie fotosyntezy	Dobór odmian i technik uprawy oraz ochrony roślin
	Wilgoć i stres termiczny		
	Wysoka wilgotność i grad		
	Ekstremalna wilgotność połączona z mrozem/upałami/wiatrem	Reprodukcja: niska jakość pyłku kwiatowego Reprodukcja: wyleganie	Brak rekomendacji Brak rekomendacji
	Wysoka temperatura i wilgotność z racji deszczu nawalnego	Reprodukcja: sterylne kłosy	Regulacje terminów siewu/nasadzeń, dobór odmian i stosowanie hormonów
		Reprodukcja i dojrzewanie: straty plonów i choroby grzybów	Ochrona roślin
	Wiatr i deszcz	Różne fazy: choroby, wyleganie i pogorszenie jakości	Przyspieszanie zbiorów i ochrona roślin
	Różne stresory w różnych fazach	Różne fazy: spadek opłacalności i efektywności inwestycji	Brak szczegółowych rekomendacji
	Nietypowy deszcz i burza	Zbiór i formowanie się nasion: wyleganie, stres cieplny, wykonalność zabiegów uprawowych	Regulacje terminów siewów/nasadzeń, ubezpieczenia
	Nietypowy deszcz i burza oraz wysoka temperatura	Wczesne fazy: wpływ na uprawiany areał i intensywność prac Formowanie nasion i zbiory: gnicie bulw, stres cieplny	Brak jednoznacznych rekomendacji Irygacja, przyspieszanie zbiorów
Wpływy przeniesione w czasie	Deszcz nawalny	Zbiory: ich wykonalność i prac późniejszych, wzrost kosztów	Wcześniejsze siewy/nasadzenia drenaż, kontrola chwastów
	Nietypowy deszcz	Siewy i zbiory: problemy z wykonaniem zabiegów agrotechnicznych	Regulacje terminów siewów/nasadzeń, ubezpieczenia

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: H. Shah, P. Hellegger, Ch. Siderius, *Climate risk to agriculture: A synthesis to define different types of critical moments*, „Climate Risk Management” 2021, Vol. 34.

Najnowszy trend w zakresie projektowania i wdrażania adaptacji w rolnictwie to łączenie modeli plonów i modeli klimatycznych ze sztuczną inteligencją w postaci uczenia maszynowego. Można wtedy uzyskiwać bardzo dobre predykcje i oceny fizycznego ryzyka klimatycznego przy użyciu minimalnej ilości danych, co jest ważne również dla naszego rolnictwa indywidualnego, w którym bardzo rzadko prowadzi się systematyczną rachunkowość. Pozytywne efekty takiej integracji są jeszcze większe, gdy stworzy się odpowiednie bodźce dla pojawienia się przełomowych innowacji, które szerzej będzie się finansować w różnych formułach partnerstwa publiczno-prywatnego²⁶.

Przed wszystkim należy preferować adaptacje o większej elastyczności wdrożeniowej, szczególnie w okresach krótszych, które wymagają opracowania specjalnych schematów postępowania. W związku z tym najczęściej proponuje się dodatkowo trzy typy, które przedstawiono w tabeli 3. Bardzo jest przy tym pożądane ich łączenie z tradycyjnymi składnikami rezyliencji, tj. absorbowaniem krótkoterminowych szoków pogodowych, dostosowaniem się do nich w okresach średnich i transformowaniem danego systemu w okresach dłuższych.

Tabela 3. Adaptacja non-regret, low-regret oraz win-win

Typ adaptacji	Opis	Przykłady
Non-regret	Efektywne kosztowe w krótkim okresie w szerokim zakresie przyszłych zmian klimatu Brak silnych wymienności z innymi celami	Redukcja wycieków z rurociągów i instalacji, stosowanie odmian odpornych na suszę
Low-regret	Niskie koszty w stosunku do korzyści i niewiele negatywnych skutków w różnych scenariuszach zmiany klimatu	Unikanie zabudowy na terenach zagrożonych powodzią
Win-win	Zgodne z szerokim zestawem celów społecznych, ekonomicznych i środowiskowych oraz z mitygacją	Zazielenienie terenu i budownictwa oraz zmiany czasu pracy

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: *Climate Change Adaptation Policies to Foster Resilience in Agriculture. Analysis and Stocktake Based on UNFCCC Reporting Documents*, OECD Food, Agriculture and Fisheries, OECD, Paris 2023; M. Pisu, H. Costa, M.F. D'Arcangelo et al., *Accelerating Climate Adaptation: A Framework for Assessing and Addressing Adaptation Needs and Priorities*, OECD, Paris 2024.

26. S. Alimaghani, P.V. an Loon, J. Villegos-Ramirez, *Integrating crop models and machine learning for projecting climate change impacts on crop in data-limited environments*, „Agricultural Systems” 2025, Vol. 228, s. 104367; X. Gu, J. Zhu, *Climate physical risks and technological innovation in the grain industry chain: an empirical analysis based on machine learning of patent text in China*, „Agricultural Systems” 2026, Vol. 231, s. 104507.

Odpowiedzialne władze publiczne powinny starać się wpływać na wszystkie cztery rodzaje adaptacji. Do dyspozycji mają następujące opcje:

- 1) oddziaływać na adaptacje naturalne;
- 2) wspierać adaptacje prywatne za pomocą instrumentów finansowych, edukować i pomagać osobom najbardziej poszkodowanym, inicjować i wdrażać stosowne strategie;
- 3) identyfikować potencjalnie korzystne adaptacje;
- 4) tworzyć przyjazne środowisko instytucjonalne i rynkowe;
- 5) stymulować swobodny handel międzynarodowy zorientowany na tworzenie nowych przewag konkurencyjnych;
- 6) realizować ww. publiczne projekty infrastrukturalne²⁷.

Ingerencje rządów w adaptację są nieodzowne z kilku powodów. Po pierwsze, rośnie intensywność i nieprzewidywalność występowania ekstremalnych zjawisk pogodowych. Po drugie, konsekwencje zmiany klimatu są już bardzo widoczne i odczuwalne – dotyczą równocześnie systemów społecznych, przyrodniczych i ekonomicznych. Po trzecie, niektóre zmiany parametrów klimatycznych i pogodowych postępują powoli, ale ich długookresowe skutki mogą być dramatyczne; ergo: nie powinno się ich lekceważyć. Po czwarte, negatywne następstwa zmiany klimatu silnie dotyczą społeczności i osoby biedniejsze, starsze i w inny sposób upośledzone, a więc pogłębiają już istniejące dysparytety dochodowo-majątkowe i cywilizacyjne oraz odnoszące się do szeroko rozumianego ich dobrostanu²⁸.

Żeby skutecznie i efektywnie wspierać działania adaptacyjne, władze publiczne powinny dysponować stosownym instrumentarium.

Tabela 4. Polityczne instrumenty oddziaływania na adaptację

Rodzaj instrumentu	Problemy, które instrument ma łagodzić	Prawdopodobne skutki fiskalne
Ekonomiczne (podatki, subsydia)	Finansowe i behawioralne w przypadku subsydiów. Efekty zewnętrzne, behawioralne oraz hazard moralny w przypadku podatków	Podatki są źródłem dochodów fiskalnych, subsydia generują wydatki. Koszty fiskalne są pochodną relacji między podatkami a subsydiami

27. M. Chambwera, G. Heal, S. Dubeux, *Economics of Adaptation* [w:] *Climate Change. Impacts, Adaptation, and Vulnerability*, Part A., Cambridge University Press, Cambridge UK 2014, dostęp 3.06.2025; A. Ignaciuk, D. Mason-D'Croz, *Modelling Adaptation to Climate Change in Agriculture*, OECD, Paris 2014.

28. OECD, *Climate Change Adaptation Policies to Foster Resilience in Agriculture. Analysis and Stock-take Based on UNFCCC Reporting Documents*, OECD Food, Agriculture and Fisheries, Paris 2023.

Rodzaj instrumentu	Problemy, które instrument ma łagodzić	Prawdopodobne skutki fiskalne
Regulacyjne	Hazard moralny, niedoskonałość informacji i zawodność koordynacji	Relatywnie niskie koszty fiskalne
Dostarczanie informacji (mapy ryzyka i zagrożeń, systemy wczesnego ostrzegania, procesy edukacyjne)	Asymetryczna i niedoskonała informacja, niepewność i niejednoznaczności z racji niepełnej informacji	Relatywnie niskie koszty fiskalne
Bezpośrednie dostarczanie dóbr publicznych (wały przeciwpowodziowe, irygacja i drenaż, infrastruktura)	Wspieranie tworzenia pozytywnych efektów zewnętrznych, wzmacnianie rezyliencji i łagodzenia ograniczeń finansowych	Wysokie koszty fiskalne

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: *Climate Change Adaptation Policies to Foster Resilience in Agriculture. Analysis and Stocktake Based on UNFCCC Reporting Documents, OECD Food, Agriculture and Fisheries, OECD, Paris 2023.*

Mitygacja: istota, typologie, wzorce i instrumenty polityczne

Jak już wiemy z poprzednich części artykułu, adaptacja koncentruje się na redukcji negatywnych skutków zmiany klimatu lub na wykorzystaniu szans przez nią stworzonych poprzez działania dostosowawcze w systemach przyrodniczych, społecznych i ekonomicznych. Mitygacja ma natomiast zredukować emisję gazów cieplarnianych lub powiększyć możliwości absorbowania dwutlenku węgla²⁹. W ślad za tym mają maleć w pierwszym rzędzie negatywne następstwa zmiany klimatu. Działania mitygacyjne przynoszą wprawdzie korzyści wszystkim podmiotom narażonym na zagrożenia powodowane zmianą klimatu, ale równocześnie są skuteczne, jeśli uda się działać wspólnie na poziomie krajowym, regionalnym i globalnym. Mamy tu zatem do czynienia z procesami tworzenia dóbr publicznych. W przeciwieństwie do tego adaptacja ma z reguły charakter lokalny i dzięki niej uzyskuje się korzyści prywatne. Co ważne, korzyści te mogą być relatywnie szybko uzyskiwane, a więc są postrzegane jako bezpośrednie, namacalne. Oznacza to, że rolnicy będą wdrażać adaptację, gdy ponoszone przez nich koszty będą niższe od korzyści. Adaptacja i mitygacja są

29. R. Martini, *Towards a taxonomy of agri-environmental regulations: A literature review*, OECD, Paris 2023; R.O. Ogunpaimo, C. Rafiat Buckley, S. Hynes et al., *Integrated assessment of farm-level mitigation measures for gaseous emissions*, „Agricultural Systems” 2025, Vol. 223, s. 104188; L. Shen, W. Liu, H. Si, *What affects farmers’ intention and behavior to mitigate the impact of climate change? Evidence from Hebei Province, China*, „Journal of Rural Studies” 2025, Vol. 114, s. 103525.

wzajemnie powiązane, ale mogą zachodzić między nimi też relacje substytucyjne. Innymi słowy, stosowanie na szeroką skalę działań adaptacyjnych zmniejsza nacisk na wdrażanie forsownej i kosztownej mitygacji. I odwrotnie, odczuwalna redukcja emisji gazów cieplarnianych zmniejsza znaczenie działań adaptacyjnych³⁰. Wreszcie należy wspomnieć i o tym, że niekiedy adaptacja może generować również dobra publiczne. Najprościej jest to uzyskać, gdy związana jest ona z zarządzaniem wodą, z którego korzyści odnosi całe społeczeństwo i cała gospodarka³¹.

Z powyższego jasno wynika, że działania adaptacyjne muszą być projektowane i wdrażane w dopasowaniu z działaniami mitygacyjnymi. Zgodnie z tym, upowszechnianie się odnawialnych źródeł energii powinno prowadzić do redukcji emisji gazów cieplarnianych, a to z kolei powinno zwiększać bezpieczeństwo energetyczne i w dłuższym okresie również co najmniej stabilizować ceny energii. Stąd nie bez przyczyny Unia Europejska od wielu lat próbuje wdrażać różnego typu pakiety energetyczno-klimatyczne. Potrzebujemy zatem integracji adaptacji i mitygacji, by wykorzystać potencjalne synergie z tym związane oraz dodatnie sprzężenia zwrotne (mechanizmy wzmacniania), pamiętając wszelako cały czas o występujących tu wymiennościach (ang. *trade-offs*). To bardzo poważne wyzwanie dla modelowania stosownych strategii i prowadzenia skutecznych polityk. Problem się komplikuje, gdyż konfrontowani jesteśmy z dynamicznymi złożeniami: adaptacja-mitygacja-rezyliencja, żywność-klimat-woda-energia. Dodatkowym wyzwaniem jest rosnąca potrzeba poruszania się w szerszej ramie konceptualnej niż tradycyjne rolnictwo, a więc włączenie do analizy łańcuchy i sieci oraz sektory żywnościowe, a w przypadku mitygacji – także leśnictwo i rybactwo. To pokazuje, iż takimi możliwościami integrującymi i koordynacyjnymi oraz zasobami ludzkimi, rzeczowymi oraz fiskalnymi dysponują tylko państwa i ewentualnie ich ugrupowania³².

Zasadniczo wyróżnia się dwa rodzaje mitygacji w ujęciu politycznym:

1. Bezpośrednią, a więc taką, która służy w pierwszym rzędzie redukcji emisji gazów cieplarnianych lub ich sekwestracji.
2. Pośrednią, czyli zorientowaną również na uzyskiwanie dodatkowych korzyści. Mogą to być na przykład poprawa stanu środowiska przyrodniczego i jakości wód czy udostępnianie danej lokalizacji na potrzeby rekreacji i turystyki, w tym

30. A. Ignaciuk, *Adapting Agriculture to Climate Change. A role for public politics*, OECD, Paris 2015; M. Pisu, H. Costa, M.F. D'Arcangelo et al., *Accelerating Climate Adaptation: A Framework for Assessing and Addressing Adaptation Needs and Priorities*, OECD, Paris 2024.

31. A.B. McCarl, *Climate change: What do we do about it? Economic issues regarding agricultural adaptation and mitigation*, „American Journal of Agricultural Economics” 2025, Vol. 107, No. 2.

32. C. Chhun, D. Sehder, C.A. Prentice et al., *Environmental domain tagging in the OECD PINE database*, OECD, Paris 2024.

agroturystyki³³. Oczywiście, z reguły pierwszy typ polityki mitygacyjnej jest łatwiejszy do zaprojektowania, wdrożenia, monitorowania i ewaluacji niż drugi. Dzieje się tak, ponieważ mitygacja bezpośrednia odnosi się do bezpośredniego źródła emisji, którym jest, na przykład, spalanie paliw kopalnych. Mitygacja pośrednia zorientowana jest natomiast na same konsekwencje emisji lub na przyczyny nadrzędne i wcześniejsze. Generalnie chodzi tu o odtwarzanie i konserwowanie naturalnych pochłaniaczy gazów cieplarnianych (lasów, terenów podmokłych), ochronę bioróżnorodności i rozwój odnawialnych źródeł energii.

W obydwu ww. typach mitygacji wykorzystuje się różne instrumenty polityki. Ich syntetyczny przegląd zawiera tabela 5.

Tabela 5. Instrumenty wykorzystywane w bezpośredniej i pośredniej mitygacji

Kategoria instrumentu	Typ instrumentu	Przykłady
Ekonomiczne	Subsidia Podatki System handlu emisjami	Płatności dla producentów, offset węglowy, ulgi podatkowe Podatek węglowy od emisji CO ₂ Unijny ETS i zbywalne certyfikaty
Regulacyjne	Standardy wykonania Standardy technologiczne Przepisy ramowe	Standardy maksymalne poziomów emisji Zakazy i nakazy stopniowego rezygnowania Regulacje rynkowe i rejonizacje
Pozostałe	Inwestycje i konsumpcja publiczna Informacyjne Dobrowolne porozumienia	Badania i rozwój, infrastruktura, dostawy Etykietowanie/oznakowanie, edukacja, szkolenia

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: OECD, *The IFCMA's climate policy database: A proposal for a policy instruments typology and data structure*, OECD, Paris 2024.

Jak już sygnalizowano, w analizach i modelach mitygacji w pierwszym rządzie rolnictwo łączone jest z leśnictwem i innymi działalnościami, na przykład rybołówstwem, w sektor wykorzystujący ziemię (ang. *Agriculture, Forestry and Other Land Use*, AFOLU). Mechanizmy redukcji emisji gazów cieplarnianych w takim agregacie określa się jako *mode of mitigation*, co można tłumaczyć jako „tryby”. Ogólnie wyróżnia się ich dwa rodzaje: *mode of mitigation per GHG*, type i *mode of mitigation per land management*. Pierwszy oznacza redukcję poszczególnych gazów cieplarnianych, drugi odnosi się natomiast do możliwości uzyskania

33. A. Ignaciuk, *Measuring Policy Progress on Climate Change Mitigation in the Agriculture Forestry and Other Land Use (AFOLU) Sectors*, OECD Technical Paper, OECD, Paris 2024.

spadku ich emisji na skutek wykorzystywania bardziej złożonych interakcji biochemicznych różnych systemów zarządzania użytkowaniem ziemi³⁴. Scharakteryzujemy je w syntetyczny sposób.

W sektorze AFOLU, zwłaszcza w rolnictwie, głównymi źródłami emisji metanu są przede wszystkim fermentacja jelitowa przeżuwaczy oraz stosowanie nawozów naturalnych. Możliwości redukcji emisji CH_4 zawierają się w zmianie składu mikrobiologicznego w układzie pokarmowym przeżuwaczy oraz przez poprawę gospodarowania i stosowania nawozów naturalnych (ograniczanie ulatniania się cząstek stałych). Od razu dodajmy, że metan może być odzyskiwany w instalacjach biogazowych do wytwarzania prądu i ciepła, a nawet przekształcany na tzw. biometan, który może być następnie włączany do ogólnej sieci gazowniczej. Nawozy te są również źródłem emisji podtlenku azotu (N_2O). Dla kompletności analizy warto wspomnieć i o tym, że podtlenek azotu stosowany jest w medycynie, przemyśle spożywczym, motoryzacji, a nawet w przemyśle raketowym. Gaz ten w dużych ilościach może jednak uwalniać się z gleb, przede wszystkim przez przemiany chemiczne sztucznych nawozów azotowych, ale również z resztek poźniwnych i pozbiorowych oraz odchodów pasących się zwierząt. Istnieje tu wiele sprawdzonych i stale doskonalonych metod i technologii agrotechnicznych, które pozwalają zauważalnie ograniczyć ten rodzaj emisji. Wreszcie, należy wymienić dwutlenek węgla, który w sektorze AFOLU pochodzi głównie z użytkowania nośników energii, przede wszystkim paliw kopalnych i ich pochodnych. Mitygacja tej emisji to domena racjonalizacji i unowocześnienia gospodarki energetycznej. Znów dla porządku trzeba dodać, że CO_2 poza tym, że jest najbardziej znaczącym pod względem ilości gazem cieplarnianym, używany jest w przemyśle. Jest on również niezbędny dla prawidłowego przebiegu fotosyntezy roślin. Cały czas trwają prace, by zwiększyć możliwości jego pochłaniania przez rośliny (tzw. nawożenie CO_2). Pozostałe gazy cieplarniane mają nieporównywalnie większy wpływ na powstawanie efektu cieplarnianego niż dwutlenek węgla. Na końcu zauważmy, że podane przykłady pożytecznego wykorzystywania gazów cieplarnianych jasno sugerują, że mitygację powinniśmy cały czas analizować w ścisłym powiązaniu z gospodarką obiegu zamkniętego.

Drugi tryb mitygacji, przez zarządzanie ziemią, obejmuje sekwestrację dwutlenku węgla, samą poprawę powyższego zarządzania i odtwarzanie zdegradowanych użytków i ekosystemów oraz dostarczanie przez te drugie określonych usług. Sekwestracja ogólnie polega na wychwytywaniu CO_2 ze źródeł punktowych emisji i jego transportowaniu do podziemnych formacji geologicznych lub naturalnych rezerwuarów typu gleby i lasy, co spowalnia proces jego uwalniania. Poprawa użytkowania głównych

34. Ibidem.

gruntów zorientowana jest na redukcję emisji wszystkich głównych gazów cieplarnianych. W ujęciu szczegółowym chodzi tu o różne programy rolno-środowiskowe oraz tzw. rolnictwo inteligentne klimatycznie (ang. *climate smart agriculture*, CSA), regeneratywne czy organiczne i ekologiczne. Zalicza się do tej kategorii także zalesianie i odnawianie lasów, chociaż czasami wchodzą one do trzeciej grupy (konserwacji ziemi i ekosystemów). Ta ostatnia grupa obejmuje jeszcze przywracanie do pierwotnego stanu torfowisk, terenów podmokłych, łąk naturalnych i terenów zalewowych. Widzimy tu ścisły związek tych działań z gospodarką wodną i zarządzaniem ryzykiem katastroficznym.

Jako swoiste resume cząstkowe z tego, co dotychczas napisano na temat mitygacji, można pokusić się o sformułowanie pewnych rekomendacji politycznych. Po pierwsze, grunty zajmowane przez sektor AFOLU trzeba widzieć jako nadające się do działalności czysto rolniczej, zalesiania, ochrony i odtwarzania ekosystemów oraz sekwestracji dwutlenku węgla. Po drugie, powinniśmy koncentrować się na emisji wszystkich gazów cieplarnianych, uogólniając je w postaci ekwiwalentu CO₂. Po trzecie, poza liczeniem pogłowia różnych gatunków zwierząt gospodarczych potrzebujemy też miar standardowych, agregujących je do jednej pozycji zbiorczej (różne konstrukcje, tzw. sztuk przeliczeniowych).

Racjonalną reakcją podmiotów gospodarczych i innych organizacji oraz instytucji na zmianę klimatu powinno być wdrażanie systemów i/lub podsystemów zarządzania ryzykiem klimatycznym, których nadrzędnym celem powinno być wzmocnienie ich rezyliencji, a niekiedy także wartości ekonomicznej. Większe jednostki powinny przy tym zintegrować je z całym systemem zarządzania ryzykiem oraz innymi realizowanymi procesami, a także wdrożyć systemy wczesnego ostrzegania zarówno przed zagrożeniami, jak i szansami wynikającymi ze zmiany klimatu. W ramach takich podsystemów należy m.in. stale monitorować ewentualne potrzeby w zakresie nabywania ochrony ubezpieczeniowej przed fizycznymi ryzykami klimatycznymi.

Współcześnie, przynajmniej w UE, coraz większym wyzwaniem staje się zintegrowanie zarządzania ryzykiem i identyfikacji szans ze strategiami zrównoważenia podmiotów gospodarczych, szczególnie o większej skali działalności. To przekłada się także na ich decyzje co do lokowania swoich aktywności w regionach mniej narażonych na obecne i przyszłe negatywne skutki zmiany klimatu. Dalej z tego wynika, że obydwa typy ryzyka klimatycznego w coraz większym zakresie przekładać się będą na pozycję konkurencyjną regionów, a nawet krajów. Oczywiście szacowanie odległych w czasie ryzyk klimatycznych nie jest łatwe. Można tu wykorzystywać różnego typu ekstrapolacje, ale na ogół lepiej sprawdzają się symulacje stochastyczne (w tym Monte Carlo) oraz analizy scenariuszowe. Oddzielnym zagadnieniem jest natomiast korzystanie z modeli klimatycznych. Samodzielne ich konstruowanie przez podmioty

gospodarcze jest raczej trudne nawet do wyobrażenia sobie, co jest nad wyraz oczywiste w przypadku gospodarstw rolniczych. W tym momencie otwiera się z kolei pole do działania dla polityk publicznych, które mogłyby wspierać rozwój takich modeli oraz zapewniać zainteresowanym podmiotom ich nieodpłatne udostępnianie. W rolnictwie wyniki modelowania klimatycznego stają się jednocześnie wręcz nieodzowne do konstruowania ubezpieczeń indeksowych.

Zasygnalizowane powyżej zrównoważenie w UE samo w sobie jest źródłem ryzyka, które ma implikacje finansowe i niefinansowe, ale tworzy także nowe szanse rozwojowe. Zarządzanie nimi poza rolnictwem regulowane jest w UE za pomocą stosownych dyrektyw w ramach koncepcji ESG (ang. *Environmental, Social and Governance*). Podmioty pozarolnicze będą stopniowo obejmowane obowiązkami raportowania swojego wpływu na środowisko przyrodnicze, społeczeństwo oraz obszar ładu korporacyjnego. Obowiązki te wprawdzie poluzowano i przesunięto w czasie z powodu krytyki Europejskiego Zielonego Ładu, pośrednio będą one jednak także wpływały na rynkowe gospodarstwa rolne, które funkcjonują w łańcuchach dostaw. Zgodnie z tym odbiorcy produktów rolnych mogą od rolników wymagać wylegitymowania się np. tzw. śladem węglowym, a więc poziomem emisji gazów cieplarnianych. Związek z ryzykiem klimatycznym jest tu oczywisty. Ponadto rolnictwo podlega również samoistnym reżimom zrównoważenia w ramach określonych rozwiązań Wspólnej Polityki Rolnej (WPR). Warunkowość uzyskania niektórych subsydiów związana jest bezpośrednio i pośrednio z przestrzeganiem regulacji dotyczących zrównoważonego rozwoju i klimatu, które tym samym stają się źródłem określonych rodzajów ryzyka.

Jeśli bliżej przeanalizuje się ryzyka związane ze zrównoważeniem, to uderzające jest to, że także i w tym przypadku operuje się ryzykami fizycznym i przejścia. Ich treść jest niemalże identyczna jak w przypadku ryzyka klimatycznego. Bardzo podobne są też interakcje między nimi. Zgodnie z tym wzrost ryzyka fizycznego z reguły powinien powodować podejmowanie działań ukierunkowanych na jego redukcję, co najczęściej prowadzi do wyższego ryzyka przejścia. Może ono wzrosnąć również w sytuacji, gdy importer produktów rolno-spożywczych – na przykład w reakcji na dotkliwą suszę – zwiększy skalę zakupów za granicą. Wiąże się to jednakże z wydłużeniem łańcuchów dostaw, a tym samym wzrostem emisji gazów cieplarnianych. Oczywiście, pojawia się wtedy także ryzyko uzależnienia od dostawców zagranicznych. W takiej sytuacji może wzrosnąć również ryzyko reputacyjne. W zarządzaniu ryzykami zrównoważenia trzeba zatem precyzyjnie oddać ich aspekty ilościowe i jakościowe. Zgodnie z tym najczęściej stosuje się następujące metody ich identyfikacji: ekonomiczną wartość

dodaną, zdyskontowane przepływy pieniężne, burzę mózgow i brainstorming (wariant burzy mózgow), deterministyczne analizy scenariuszowe oraz dynamikę systemów³⁵.

Modelowanie adaptacji i mitygacji

Bardzo kompleksowo i w sposób aktualny powyższy problem przeanalizowali M. Pisu i in³⁶. Przedstawmy główne ich ustalenia. Na wstępie grupa badaczy jednoznacznie stwierdza, że modelowanie adaptacji i mitygacji jest dużym wyzwaniem z uwagi na ich lokalność, niepewność samej zmiany klimatu oraz wielość celów, które dzięki nim chce się osiągnąć. Pierwszą grupą modeli przez nich omówionych są *integrated assessment models* (IAMs). Przeznaczone są one do badania interakcji między aktywnościami ekonomicznymi i procesami biofizycznymi w ramach zmiany klimatu, zwykle w skali globalnej. Modeluje się z ich pomocą zarówno adaptacje, jak i mitygacje w sposób dynamiczny i w długich horyzontach czasu. Głównym problemem jest tu precyzja odzwierciedlenia lokalności i regionalności oraz kanałów oddziaływań ekonomicznych.

Drugi typ modeli omówionych przez M. Pisu i in. to *computable general equilibrium* (CGE). Bazują one na przepływach ekonomicznych, które najlepiej ujmowane są w rachunkach narodowych. Dzięki nim można modelować relacje międzysektorowe i względnie elastycznie je dostosowywać do potrzeb. Jednak ich słabością jest brak uwzględniania tzw. *market frictions* oraz niepewności. Wyzwaniem bywa też odzwierciedlenie procesu przechodzenia do nowej równowagi. Konstrukcje i możliwości oferowane przez CGE warto przybliżyć, korzystając z artykułu T. Calvacantiego, Z. Hensa i C. Santosa³⁷.

Autorzy ci analizują trzy branże zajmujące się produkcją tzw. brudnej energii: ropy naftowej, gazu ziemnego i węgla oraz odnawialnych źródeł energii (branża „zielona”). Branże tradycyjne emitują dwutlenek węgla w przeciwieństwie do Odnawialnych Źródeł Energii (OZE). Ropa, gaz i węgiel mogą być wzajemnie zastępowane w sektorze dóbr pośrednich, do którego zaliczono łącznie rolnictwo, leśnictwo i rybołówstwo.

35. A. Creutzmann, W. Gleißner, *ESG-Dashboard als Basis für Business Judgment-Entscheidungen*, „ESG – Zeitschrift für nachhaltige Unternehmensführung” 2023, Jg. 2, H. 2; W. Gleißner, S. Ihlau, *Implikationen des Nachhaltigkeitsmanagements nach CSRD und des Risikomanagementsystems nach StaRUG für die wertorientierte Unternehmenssteuerung*, „Betriebs-Berater” 2024, Jg. 12, H. 8; Stein P., *Management von Nachhaltigkeitsrisiken. Einsatz ausgewählter quantitativer und qualitativer Methoden für die Praxis*, „Zeitschrift für Risikomanagement” 2025, nr 4.

36. M. Pisu, H. Costa, M.F. D’Arcangelo et al., op. cit.

37. T. Calvacanti, Z. Hensa, C. Santos, *Climate Change Mitigation Policies: Aggregate and Distributional Effects*, „The Economic Journal” 2025, Vol. 668.

W celu ograniczenia emisji CO₂ wprowadzono podatek węglowy dla wytwórców energii, który powoduje realokację zasobów w całej gospodarce narodowej i wspiera OZE. Cały mechanizm realokacji zasobów oraz jego efekty makroekonomiczne i redystrybucyjnie zależą od sposobu wykorzystania wpływów z podatku węglowego – czy zostaną one przeznaczone na sfinansowanie marnotrawionych wydatków, subsydiowanie OZE, inne użyteczne wydatki oraz zwroty dla gospodarstw domowych – a także międzysektorowych przepływów nakładów i produktów, elastyczności współczynników ich substytucji oraz zróżnicowania jakości siły roboczej. Model od strony formalnej składał się z: gospodarstw domowych z charakterystykami kwalifikacji zawodowych i wyborów ich członków; sfery produkcji (podsektor dóbr pośrednich i podsektor dóbr finalnych); warunków równowagi oraz zasad naliczania podatku węglowego (od emisji CO₂). Kalibracji modelu dokonano na podstawie danych rzeczywistych z USA, Chin i Brazylii.

Po wykonaniu stosownych symulacji okazało się, że dla osiągnięcia celów Porozumienia paryskiego do 2030 roku w USA należy się liczyć z utratą od 0,4% do 0,8% corocznej stopy wzrostu PKB. W przypadku Brazylii tak mierzony koszt mitygacji wynosił od 0,3% do 0,4%, ale w Chinach byłoby to aż od 1,7% do 3,8%. Liczby te pokazują, dlaczego tak trudno osiągnąć globalne porozumienie klimatyczne. Z drugiej strony wprowadzenie podatku węglowego spowodowałoby wyraźne zróżnicowanie płac w gospodarce narodowej. Wzrosłyby one w branży OZE i w innych sektorach dóbr pośrednich i finalnych, a drastycznie mogłyby stracić na zarobkach niektóre osoby pracujące w sektorze „brudnej energii”. Warto dodać, że podobne wnioski uzyskali również inni badacze³⁸. Odmienne sytuacja wyglądała jednak w UE, gdzie stosuje się specyficzny instrument mitygacji emisji CO₂ w postaci handlu uprawnieniami do emisji (EU ETS) – jest on podobny do podatku węglowego. Według G.E. Metcalfa i J.H. Stocka brak jest solidnych dowodów na jego negatywny wpływ na gospodarkę³⁹. Wracając jeszcze raz do symulacji T. Calvacantiego, Z. Hensa i C. Santosa, warto odnotować, że na skutek wprowadzenia podatku węglowego w USA wartość dodana wytworzona w rolnictwie, leśnictwie i rybołówstwie mogłaby zmaleć nawet o 5,7%, gdyby wpływy z niego były marnotrawione. W jednym ze scenariuszy, tj. korzystnego ich alokowania (funkcja Cobba-Douglasa), mogłaby wzrosnąć natomiast o 1%. Na marginesie warto zauważyć, że Polska w dużej mierze nieefektywnie wykorzystuje

38. S. Black, J. Chateau, F. Jarmote, *Getting on track to net zero: Accelerating a global just transition in this decade*, „Staff Climate Notes” 2021, Vol. 2022(010); C. Böhringer, S. Peterson, T.F. Rutherford, *Climate policies after Paris: Pledge, trade and recycle: Insights from the 36th energy modelling forum study (EMF36)*, „Energy Economics” 2022, Vol. 103.

39. G.E. Metcalf, J.H. Stock, *The macroeconomic impact of Europe's carbon taxes*, „American Economic Journal: Macroeconomics” 2023, Vol. 15, No. 3.

wpływy z systemu EU ETS. Według Najwyższej Izby Kontroli (NIK) budżet w latach 2013–2023 otrzymał z tego tytułu ok. 94 mld zł, ale z tej kwoty tylko 1,3% przekazano na cele związane z redukcją emisji gazów cieplarnianych⁴⁰.

Trzecią grupę modeli analizowaną przez M. Pisu i in. stanowią Input-Output (I-O) models. Służą one do badania rozchodzenia się (propagacji) szoków związanych ze zmianą klimatu i pogody w całej gospodarce narodowej. Ogólnie wymagają one mniej zasobów obliczeniowych niż modele CGE, ale nie oddają dynamiki, gdyż operuje się w nich stałymi współczynnikami. Stąd ich przydatność ogranicza się głównie do analiz krótkoterminowych, szczególnie wpływów krańcowych.

Modele dynamic stochastic general equilibrium (DSGE) mają przewyższyć słabości modeli CGE oraz IO. Nieźle oddają one dynamizm procesów gospodarczych i ścieżki przejścia do nowych równowag, ale trochę gorzej sobie radzą z opisem więzi międzysektorowych i międzynarodowych. Prace poświęcone adaptacji i mitygacji z ich użyciem zaczęły ukazywać się jednak dopiero w bieżącej dekadzie.

Ostatnia klasa modeli skomentowanych przez M. Pisu i in. to agent-based models (ABMs). Agentami mogą być w nich gospodarstwa domowe, firmy i rządy. Ich zachowania oraz wzajemne interakcje stanowią podstawę konstrukcji tych modeli oraz identyfikowania następstw makroekonomicznych planowanych i już zrealizowanych działań adaptacyjnych oraz mitygacyjnych. ABMs to w sumie dosyć złożone konstrukcje, wymagające dużej ilości szczegółowych danych oraz pod względem kompetencji – modelarzy, gdyż są trudne w parametryzacji, kalibracji, estymacji i walidacji.

Adaptacje i mitygacje można także analizować za pomocą samych narzędzi ekonometrycznych, co z kolei może tworzyć problemy z walidacją zewnętrzną uzyskiwanych wyników, oraz łączyć je na przykład z modelami klimatycznymi. Interesujący obszar zastosowań ekonometrii to analizy przyczynowe (ang. *causal impacts*) oraz ewaluacje wpływu (ang. *impact evaluation*). Najlepiej, jeśli badacz posiada odpowiednie zbiory danych panelowych. Stosując wtedy odpowiednie estymatory, można uzyskiwać rozmaite efekty interwencji publicznych o charakterze proklimatycznym. Ponieważ analizy przyczynowe i analizy wpływu pozwalają przede wszystkim szacować efekty brutto interwencji, zasadne jest ich uzupełnienie o analizy kosztów i korzyści, efektywności kosztowej oraz analizy wielokryterialne⁴¹.

Bardzo dużym doświadczeniem w modelowaniu wpływu adaptacji i mitygacji w rolnictwie dysponuje Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (OECD). W tym kontekście przeanalizujemy krótko dwie prace poświęcone temu zagadnieniu.

40. NIK, *NIK o gospodarowaniu środkami pochodzącymi ze sprzedaży uprawnień do emisji gazów cieplarnianych*, 30 października 2024, nik.gov.pl, dostęp 15.10.2025.

41. OECD, *The IFCMA's climate policy database: A proposal for a policy instruments typology and data structure*, Paris 2024.

J. Antón i in. skonstruowali mikroekonomiczny model symulacyjny służący do porównawczej analizy wpływu braku zmiany klimatu, zmiany krańcowej i wysokiego prawdopodobieństwa wystąpienia ekstremalnych zdarzeń pogodowych – zarówno przy braku adaptacji, jak i w warunkach dywersyfikacji oraz adaptacji strukturalnej – z uwzględnieniem możliwości korzystania z indywidualnych ubezpieczeń plonów, ubezpieczeń opartych na średnich plonach regionalnych, indeksu pogodowego oraz pomocy kłęskowej⁴². Model osadzony został w teorii użyteczności oczekiwanej. Jego kalibracji dokonano natomiast dla gospodarstw reprezentatywnych dla rolnictwa Australii, Hiszpanii i Kanady. Ponadto przyjęto dwa cele polityki rolnej: (1) redukcja ogólnego ryzyka dochodowego farm; (2) udostępnienie odszkodowań minimalnych dla ekstremalnego spadku dochodów. Skuteczność i efektywność osiągnięcia tych dwóch celów analizowano natomiast za pomocą standardowego podejścia probabilistycznego w sensie bayesowskim, kryteriów minimax oraz satysfakcji.

Drugą pracą OECD, którą poniżej bardzo ogólnie scharakteryzowano, jest opracowanie autorstwa A. Ignaciuk i D. Mason-D'Croza⁴³. Podstawą modelowania jest the International Model for Policy Analysis of Agricultural Commodities and Trade (IMPACT), skonstruowany i ciągle doskonalony w the International Food Policy Research Institute (IFPRI). Łączy on w sobie model równowagi cząstkowej oraz model hydrologiczny. Pierwszy służy do symulacji polityki i handlu, drugi zaś do symulacji systemów i stresów wodnych. IMPACT jest ponadto zintegrowany z dwoma biofizycznymi modelami klimatycznymi, żeby można było konstruować scenariusze klimatyczne. A. Ignaciuk i D. Mason-D'Croz w sumie operowali czterema scenariuszami klimatycznymi oraz jednym bazowym scenariuszem alternatywnym tego typu. Z kolei w przypadku adaptacji mieliśmy dwie strategie: (1) inwestowania w sferę badań i rozwoju; (2) zmiany technologii irygacji (nawadnianie zalewowe, zraszacze, nawadnianie kropelkowe).

Adaptacja i mitygacja to dwie podstawowe strategie radzenia sobie z postępującą zmianą klimatu, która wpływa na produktywność i efektywność rolnictwa, osiągane w tym sektorze dochody oraz jego ryzykowność, przy czym w najtrudniejszym położeniu są kraje znajdujące się w subsaharyjskiej Afryce. Dalej zajmiemy się jednak tylko metodami adaptacji. Jest ich całkiem sporo. Zbiór ten, jak pamiętamy, obejmuje: wdrażanie do uprawy nowych odmian, szczególnie odpornych na suszę; zmienianie terminów agrotechnicznych; nawadnianie i ochronę gleb oraz wód, a także

42. J. Antón, S. Kimura, J. Lankowski et al., *A comparative study of risk management in agriculture under climate change*, OECD, Paris 2012.

43. A. Ignaciuk, D. Mason-D'Croz, *Modelling Adaptation to Climate Change in Agriculture*, OECD, Paris 2014.

ubezpieczenia⁴⁴. Jeśli je się dobrze połączy, to można konstruować strategię nazywane „a climate-smart”, które charakteryzują się: (1) zrównoważonym wzrostem produktywności i dochodów rolniczych dzięki łącznemu optymalizowaniu układu (adaptacja do zmiany klimatu – ochrona gleb – ochrona wód); (2) umacnianiem odporności (ang. *resilience*) na samą zmianę klimatu; (3) redukcją emisji gazów cieplarnianych⁴⁵. Bardzo ważne jest jednak, by rolnictwo „climate-smart” stało się integralną częścią polityki rolnej, wiejskiej i żywnościowej. Wówczas pojawi się szansa na wzrost plonów, ograniczenie ich zmienności (a więc także ryzyka) oraz utrzymanie bezpieczeństwa żywnościowego. Warto również zwrócić uwagę, że sama poprawa bioróżnorodności może wprost prowadzić do redukcji ryzyka produkcyjnego w rolnictwie i minimalizowania szkód środowiskowych powodowanych przez ten sektor⁴⁶.

Jeśli chodzi o ekspozycję rolnictwa na ryzyko, to wciąż słabo rozpoznany jest problem, czy poszczególne działania adaptacyjne do zmiany klimatu w ramach strategii „climate-smart” są względem siebie komplementarne czy też substytucyjne. Źródłem tego jest głównie koncentracja badaczy na pojedynczych uprawach, a nie na całości struktury upraw gospodarstw⁴⁷. W konsekwencji oszacowania zmian ryzyk, a więc potencjału hedgingowego przedsięwzięć adaptacyjnych, są zawyżane lub niedoszacowane. Wynika to z faktu, że niektóre struktury upraw prowadzą do redukcji ryzyka na podstawie filozofii dywersyfikacji, podczas gdy w innych przypadkach interakcje między uprawami mogą mieć charakter negatywny – wzrost plonów niektórych ziemiopłodów odbywa się bowiem kosztem spadku plonów innych⁴⁸. Bez wątpienia badania G. Issahaku i A. Abdulai’ego dają głębszy wgląd w powyższe zależności⁴⁹. Przybliżmy je dokładniej, gdyż zastosowano w nich bardzo ciekawe i zaawansowane podejście metodologiczne. Mniejszą uwagę natomiast zwróci się na szczegółowe relacjonowanie otrzymanych wyników, które odnoszą się do rolnictwa Ghany.

-
44. S. Di Falco, J.P. Chaves, *On crop biodiversity, risk exposure, and food security in the highlands of Ethiopia*, „American Journal of Agricultural Economics” 2009, Vol. 91; M. Kassie, H. Tekleved, H. Marenya et al., *Production risk and food security under alternative technology choices in Malawi: Application of a Multinomial Endogenous Switching Regression*, „Journal of Agricultural Economic” 2014, Vol. 66.
45. T.T. Deressa, R.M. Hassan, C. Ringler et al., *Determinants of farmers’ choice of adaptation methods to climate change in the Nile Basin of Ethiopia*, „Global Environmental Change” 2009, Vol. 19.
46. S. Di Falco, J.P. Chaves, *On crop biodiversity, risk exposure, and food security in the highlands of Ethiopia*, „American Journal of Agricultural Economics” 2009, Vol. 91.
47. S. Di Falco, M. Veronesi, *How can African agriculture adapt to climate change?: a counterfactual analysis from Ethiopia*, „Land Economics” 2013, Vol. 89, No. 4; M. Kassie, H. Tekleved, H. Marenya et al., *Production risk and food security under alternative technology choices in Malawi: Application of a Multinomial Endogenous Switching Regression*, „Journal of Agricultural Economic” 2014, Vol. 66.
48. J.M. Antle, *Testing the stochastic structure of production: A flexible moment based approach*, „Journal of Business and Economic Statistics” 1983, Vol. 1.
49. G. Issahaku, A. Abdulai, *Adoption of climate-smart practices and its impact on farm performance and risk exposure among smallholder farmers in Ghana*, „Australian Journal of Agricultural and Resource Economics” 2020, Vol. 64.

Centralne miejsce w metodologii G. Issahaku i A. Abdulai'ego zajmuje regresja przełącznikowa (ang. *the switching regression*). Jest to metoda opisu zależności jednej lub wielu zmiennych statystycznych od innych obserwowalnych zmiennych statystycznych za pomocą kilku funkcji matematycznych, których postać pozostaje w związku z warunkami, w jakich realizują się te zmienne. W praktyce najczęściej wykorzystuje się funkcje liniowe różniące się wartościami parametrów. Podstawy tej metody wyłożył w 1972 roku E.R. Quandt⁵⁰. Punktem wyjścia jego rozważań były dwa poniższe równania regresji:

$$Y_t = x_{1t} \beta_1 + \varepsilon_{1t} - \text{reżim 1,}$$

$$Y_t = x_{2t} \beta_2 + \varepsilon_{2t} - \text{reżim 2,}$$

gdzie: $t = 1, \dots, T$; x_{1t}, x_{2t} – wektory zmiennych egzogenicznych.

Obserwowana zmienna zależna Y_t w każdym okresie jest generowana przez reżim (warunki) 1 lub 2, ale nigdy przez obydwa naraz. Prawdopodobieństwo, że będzie to reżim 1 jest przy tym stałe.

G. Issahaku i A. Abdulai bazowali już na daleko bardziej zaawansowanym modelu regresji przełącznikowej zastosowanym do badania wpływu działań adaptacyjnych do zmian klimatu, ale głównie na przywołanych już wcześniej pracach S. Di Falco z J.P. Chavesem i M. Veronesim oraz M. Kassiego i innych. Przyjmijmy, że celem rolnika jest wybranie aktywności dostosowawczych, które zmaksymalizują jego korzyści na działce i -tej, które oznaczymy zmienną ukrytą V_{ij}^* . Niestety, ta ostatnia nie może być bezpośrednio obserwowana. Można ją natomiast wyrazić jako funkcję obserwowalnych charakterystyk rolnika, gospodarstwa, wsi, tj. za pomocą X_i oraz czynników nieobserwowalnych ε_{ij} :

$$V_{ij}^* = X_{ij} \beta_j + \theta_j \bar{X}_{ij} + \varepsilon_{ij}.$$

Oznaczmy teraz przez V_i wskaźnik, który pokazuje obserwowane wybory rolnika dotyczące działań adaptacyjnych:

$$V_i = \begin{cases} 1 & \text{wtedy i tylko wtedy, gdy } V_{i1}^* > \max_{k \neq 1} (V_{ik}^*) \text{ lub } \varepsilon_{ij} < 0 \\ M & \text{wtedy i tylko wtedy, gdy } V_{iM}^* > \max_{k \neq j} (V_{ij}^*) \text{ lub } \varepsilon_{iM} < 0 \end{cases}$$

gdzie: $\max_{k \neq j} (V_{ik}^* - V_{ij}^*) < 0$.

50. R. Quandt, *A New Approach to Estimating Switching Regressions*, „Journal of American Statistical Association” 1972, Vol. 67.

Widzimy, że rolnik wybierze aktywność j na działce i , która zmaksymalizuje jego korzyści oczekiwane V_{ij}^* , jeśli będą one wyższe niż w każdej innej alternatywie $k \neq j$, tzn., jeśli $\varepsilon_{ij} = \max_{k \neq j} (V_{ik}^* - V_{ij}^*) < 0, \forall j, k \in M$.

G. Issahaku i A. Abdulai zdecydowali, że rolnik będzie wybierał między następującymi rozwiązaniami: (1) dokonywaniem zmian tylko w strukturze upraw; (2) tylko wdrożenie działań chroniących glebę i wodę; (3) łącznie dwa ww. przedsięwzięcia; (4) nie będzie stosował żadnych działań dostosowawczych. To ostatnie jest scenariuszem referencyjnym. Przy założeniu, że błąd modelu ε_{ij} będzie miał niezależny i identyczny rozkład Gumbela, prawdopodobieństwo, iż rolnik zdecyduje się na wariant j , można ustalić za pomocą wielomianowego modelu logitowego (MNL) autorstwa D. McFaddena z 1973 roku:

$$P_{ij} = P(\varepsilon_{ij} < 0 | X_i) = \frac{\exp(X_{ij}\beta_j + \bar{X}_{ij}\delta_j)}{\sum_{k=1}^M \exp(X_{ij}\beta_k + \bar{X}_{ij}\delta_k)},$$

gdzie: \bar{X}_{ij} – wektor średnich charakteryzujących działki; δ_j – parametry do oszacowania, co zrobiono za pomocą metody największej wiarygodności.

W następnej fazie wykonywano badania wpływu wybranych wariantów na łączne przychody gospodarstw oraz skośność ich rozkładu jako miarę ryzyka. Do tego celu zastosowano wielomianowy model endogenicznej regresji przełącznikowej (MESR), który skonstruowali F. Bourguignon, M. Fourier i M. Gurgand w 2007 roku.

Oznaczmy przez $j=1$ wariant referencyjny, czyli brak jakichkolwiek działań dostosowawczych do zmiany klimatu. Z kolei $j=2$ niech będzie tylko przesunięciami w strukturze upraw, $j=3$ oznaczać będzie ochronę gleb i wód, a $j=4$ odzwierciedli nam połączenie wariantów 2 i 3. W konwencji regresji przełącznikowej przyjęło się, że nazywa się je reżimami. Każdy rezultat wyboru opisywany jest odpowiednimi równaniami:

$$\left\{ \begin{array}{lll} \text{reżim 1:} & y_{i1} = Z_{i1}\alpha_1 + \bar{Z}_{i1}\theta_1 + u_{i1} & \text{jeśli } V_i = 1 \\ & \vdots & \vdots \\ \text{reżim M:} & y_{ij} = Z_{ij}\alpha_j + \bar{Z}_{ij}\theta_j + u_{ij} & \text{jeśli } V_i = J, \end{array} \right.$$

gdzie: y_{ij} – zmienna zależna (przychody gospodarstwa i skośność ich rozkładu); Z_i – wektor charakterystyk gospodarstwa i rodziny rolniczej; u – błąd modelu z wartością oczekiwaną równą zero i wariancją $\text{Var}(u_{ij} | X_i, Z_i) = \sigma_j^2$; α_j – wektor parametrów do oszacowania; \bar{Z}_i – średnie charakterystyki działek; θ_j – parametry do oszacowania.

By zagwarantować, że oszacowania α_j będą nieobciążone i zgodne, trzeba jeszcze dokonać korekty błędów związanych z wyborem próby badawczej. W tym celu przyjęto, że błędy ε_{ij} oraz u_{ij} będą liniowo skorelowane dla każdego j . W konsekwencji oczekiwana wartość uv_{ij} będzie równa $E[u_i | \varepsilon_1, \dots, \varepsilon_i] = \sigma \sum_{j=1 \dots M} p_j \varepsilon_j$, przy czym p_j jest korelacją między u_{ij} a ε_{ij} , gdzie δ jest odchyleniem standardowym ω_{ij} . Musimy wobec tego zmodyfikować teraz wzór powyżej przedstawiony:

$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{reżim 1:} & y_{i1} = Z_{i1}\alpha_1 + \sigma_1\hat{\lambda}_{i1} + \bar{Z}_{i1}\theta_j + \omega_{i1}, \quad \text{jeśli} \quad V_i = 1 \\ & \vdots \\ \text{reżim M:} & y_{ij} = Z_{ij}\alpha_j + \sigma_j\hat{\lambda}_{ij} + \bar{Z}_i\theta_M + \omega_{ij}, \quad \text{jeśli} \quad V_i = J, \end{array} \right.$$

gdzie: $\lambda_{ij} = \sum_{k \neq j}^M p_j \left[\frac{\hat{P}_{ik} \ln(\hat{P}_{ik})}{1 - \hat{P}_{ik}} + \ln \hat{P}_{ij} \right]$ jest odwrotnością wskaźników Millisa;

p_j – korelacja między ε_{ij} a u_{ij} ; błąd losowy ω_{ij} ze średnią równą zero; \hat{P}_{ik} – prawdopodobieństwo, że na działce i zastosowano adaptację j .

W końcowej części swojego modelowania G. Issahaku i A. Abdulai zajęli się oceną spodziewanych korzyści z tytułu wdrożenia działań dostosowawczych do zmian klimatu dla rolników, którzy to zrobili. Korzyści te wyniosą:

$$\begin{aligned} E(y_{i2} | V_i = 2) &= \mathbf{Z}_{i2} \alpha_2 + \sigma_2 \hat{\lambda}_{ij} + \bar{Z}_i \theta_2 \\ E(y_{ij} | V_i = J) &= \mathbf{Z}_{ij} \alpha_j + \sigma_j \hat{\lambda}_{ij} + \bar{Z}_i \theta_j. \end{aligned}$$

Punktem odniesienia jest natomiast scenariusz kontrfaktyczny, tj. przyjęcie, że tacy rolnicy nie zastosowali tych adaptacji:

$$\begin{aligned} E(y_{i1} | V_i = 2) &= \mathbf{Z}_{i2} \alpha_1 + \sigma_j \hat{\lambda}_{ij} + \bar{Z}_i \theta_j \\ E(y_{i1} | V_i = j) &= \mathbf{Z}_{ij} \alpha_1 + \sigma_j \hat{\lambda}_{ij} + \bar{Z}_i \theta_j. \end{aligned}$$

Odejmując wartości uzyskane na podstawie wzoru dla korzyści od wartości ze wzoru dla scenariusza kontrfaktycznego, otrzymujemy the average treatment effect on the treated (ATT):

$ATT = E(y_{2i} | V_i = 2) - E(y_{i1} | V_i = 2) = Z_{i2}(\alpha_2 - \alpha_1) + \bar{Z}_{i2}(\theta_2 - \theta_1) + \hat{\lambda}_{ij}(\sigma_2 - \sigma_1)$,
gdzie: $\hat{\lambda}_{ij}(\cdot)$ wraz z narzędziem Mundlaka (\bar{Z}_{i2}) jest korektą błędu doboru próby i z racji możliwego pojawienia się endogeniczności, której źródłem będzie pominięcie niektórych zmiennych objaśniających.

G. Issahaku i A. Abdulai przeprowadzili weryfikację empiryczną swoich modeli na podstawie danych pochodzących z badania 476 gospodarstw zlokalizowanych w 25 wspólnotach lokalnych w Ghanie, zrealizowanego na przełomie lat 2015 i 2016. Ogółem przebadano 1 001 działek pod uprawami, głównie kukurydzy i fasolnika chińskiego. Z prostej prezentacji rozkładów przychodów wynikało, że przy braku działań adaptacyjnych do zmiany klimatu skośność była negatywna, a ich wariancja najwyższa.

Jeśli chodzi o determinanty wdrożenia praktyk ze sfery „climate-smart”, to jest to szeroki zbiór zmiennych. W szczególności zagrożenie erozją i poziom drenażu gruntów pozytywnie wpływały na ich przyjmowanie. Z kolei wiek wykazywał ujemne i istotne statystycznie skorelowanie. Innymi słowy, ludzie starsi, przeciętnie biorąc, mniej interesowali się klimatem. Inaczej natomiast oddziaływały wielkość gospodarstw domowych oraz liczba posiadanych zwierząt, jak również stosowanie herbicydów. Angażowanie się rolników w zajęcia pozarolnicze oddziaływało przeciwnie. Jeśli adaptacje miały charakter pakietu przedsięwzięć, to logicznie z tego też wynika, że ich wprowadzenie powinno być pozytywnie skorelowane z dostępem do usług doradczych. Za oczywisty fakt trzeba przyjąć, że taka sama korelacja pojawiła się dla zmiennych „nasilenie zmienności opadów deszczu” oraz „zagrożenie suszą” i „przynależność rolników do zrzeszeń producentów”.

Wśród determinant przychodów herbicydy pozytywnie wpływały, gdy rolnicy wdrożyli same tylko zabiegi chroniące gleby i wody oraz cały pakiet analizowanych przedsięwzięć adaptacyjnych. Herbicydy należy zatem traktować jako ich uzupełnienie. Zgodnie z intuicją anomalie opadów szczególnie negatywnie wpływały na przychody gospodarstw, które w ogóle nie wdrożyły żadnych adaptacji. Wreszcie, przychody te były dodatnio skorelowane z żywnością działek i dochodami z pracy poza rolnictwem.

Ostatnia część analizy empirycznej G. Issahaku i A. Abdulai'ego to oszacowanie ATT dla przychodów i ich skośności (ang. *downside risk exposure*). Stosowne wartości dla całej badanej populacji zestawiono w tabeli 6.

Tabela 6. Średnie wartości ATT dla logarytmu (log) przychodów i skośności ich rozkładów (miara ekspozycji na ryzyko) dla trzech wariantów dostosowań do zmiany klimatu

Wyszczególnienie	Decyzja dostosowawcza		ATT
	rolnik wdraża	rolnik nie wdraża	
Log przychodów z upraw			
– tylko przesunięcie w strukturze upraw	5,848	5,192	0,656***
– ochrona gleb i wód	5,978	5,356	0,622**
– pakiet całościowy	1,149	5,565	1,149***

Ciąg dalszy tabeli na następnej stronie.

Tabela 6. Średnie wartości ATT dla logarytmu (log) przychodów i skośności ich rozkładów (miara ekspozycji na ryzyko) dla trzech wariantów dostosowań do zmiany klimatu (cd.)

Wyszczególnienie	Decyzja dostosowawcza		ATT
	rolnik wdraża	rolnik nie wdraża	
Log skośności przychodów			
– tylko przesunięcie w strukturze upraw	1,280	0,970	0,310***
– ochrona gleb i wód	-0,150	-0,231	0,081***
– pakiet całościowy	0,734	0,523	0,211***

***, ** Istotność na poziomie 1 i 5%.

Źródło: Opracowano na podstawie: G. Issahaku, A. Abdulai, *Adoption of climate-smart practices and its impact on farm performance and risk exposure among smallholder farmers in Ghana*, „Australian Journal of Agricultural and Resource Economics” 2020, Vol. 64.

Widzimy, że w przypadku przychodów najlepszą strategią jest łączne wdrożenie wszystkich rozważanych dostosowań do zmiany klimatu. Sytuacja jest wyraźniej zróżnicowana dla skośności przychodów. Tu wprawdzie obydwie strategie często ją zwiększają, a więc redukują ryzyko produkcyjne. Połączenie zmian w strukturze upraw z ochroną gleb i wód przynosi jednak mniejszy efekt hedgingowy niż same przesunięcia w powierzchni upraw. Nie zmienia to w niczym nasuwającego się oczywistego wniosku, że rolnicy mają szereg możliwości w obszarze agrotechniki, by zredukować ryzyko produkcyjne, nie czekając wcale na zaoferowanie im subsydiowanych ubezpieczeń upraw. Władze publiczne nie powinny przeszkadzać, a wprost przeciwnie – powinny zachęcać rolników do tego, żeby w stopniu maksymalnym wykorzystywali oni wewnętrzne narzędzia samoochrony i samoubezpieczeń.

Podsumowanie

Adaptacja do zmiany klimatu jest łatwiejsza do zrozumienia i akceptacji przez rolników, ponieważ mają oni na nią bezpośredni wpływ, a ponadto szybciej można w niej uzyskać nadwyżkę korzyści nad ponoszonymi kosztami. Jest ona również mniej narażona na ryzyko polityczne. Dominują w niej jednak prywatne dostosowania ekonomiczne, głównie reaktywne z uwagi na dużą niepewność i niejednoznaczność co do tempa i skali zmian klimatycznych oraz proporcji jej negatywnych i pozytywnych wpływów na rolnictwo. Bardzo potrzebne są również działania mieszczące się w obszarze adaptacji planowej, proaktywnej oraz partnerstw publiczno-prywatnych. Należy pamiętać także i o tym, że wiele działań adaptacyjnych ma głównie charakter

lokalny. Adaptacja w żadnym razie nie rozwiązuje wszystkich problemów związanych ze zmianą klimatu, nie ma też uniwersalnego schematu jej stosowania. Jej koszty jednostkowe rosną wraz ze wzrostem intensywności wpływania, a efekty są niepewne i często odroczone w czasie. Istnieje również ryzyko pojawienia się tzw. maladaptation. Ponadto w UE, w następstwie protestów rolniczych skierowanych przeciwko Europejskiemu Zielonemu Ładowi, można zaobserwować zmianę kursu w ramach WPR w stronę preferowania wynagradzania za praktyki proklimatyczne w formie różnych subsydiów, mimo że wiąże się to ze znacznymi kosztami budżetowymi – zarówno bezpośrednimi, jak i pośrednimi oraz transakcyjnymi. To obniża również motywacje rolników do samoubezpieczania się i samoochrony.

Mitygacja ze swej istoty bardziej zorientowana jest na radzenie sobie z ryzykiem klimatycznym przejścia/tranzykcji. Z jednej strony, fundamentalnym jej założeniem w rolnictwie jest często przywoływany fakt, iż sektor ten jest źródłem zmiany klimatu, ponieważ przyczynia się do wzrostu emisji gazów cieplarnianych, pochodzących z przemian nawozów naturalnych i sztucznych oraz powstających w przewodach pokarmowych przeżuwaczy, a szczególnie metanu i podtlenku azotu. Z drugiej strony rolnictwo łagodzi natomiast negatywne skutki tychże emisji, gdyż dwutlenek węgla wiązany jest przez rośliny w procesie fotosyntezy oraz przekształcany w węgiel organiczny, który przez jakiś czas pozostaje w glebach. Okoliczności te powodują, że niekiedy rolnictwo uznawane jest za relatywnie tani pomost do przechodzenia do gospodarki niskoemisyjnej. Byłoby tak, gdyby sektor ten był włączony do systemu handlu emisjami, a to jest raczej wyjątkiem niż regułą. W rzeczywistości przeceniane są też korzyści dodatkowe z racji realizowania mitygacji w rolnictwie. Kluczowy jest natomiast problem, jak skonstruować cały system sterowania rolnictwem i jego subsydiowania, żeby rolnicy racjonalnie stosowali nawozy i profesjonalnie zarządzali produkcją zwierzęcą, ponieważ na tych obszarach powinna się koncentrować mitygacja bezpośrednia i pośrednia. Z kolei decydenci w polityce rolnej powinni postrzegać mitygację w rolnictwie jako element działań w ramach większych agregatów, takich jak AFOLU oraz łańcuchy, sieci i sektory żywnościowe. Wszyscy wreszcie powinniśmy rozumieć, że znaczącej, wielkoskalowej mitygacji nie da się wdrożyć bez efektywnej międzynarodowej współpracy i koordynacji oraz finansowego wsparcia krajów ubogich przez bogate (łącznie z Chinami), które głównie odpowiadają za obecny poziom emisji gazów cieplarnianych. Obecnie to chyba największe wyzwania. Cały czas musimy również pamiętać o tym, że mitygacja także nie jest uniwersalnym remedium. Źle zaprojektowana i wdrażana może nawet zwiększyć emisje gazów cieplarnianych, podatna jest na ich wyciek, a także generuje koszty transakcyjne, budżetowe i deformacje behawioralne.

Władze publiczne powinny uczestniczyć w projektowaniu polityk zorientowanych na wdrażanie adaptacji i mitygacji w gospodarstwach rolnych, pośrednio

i bezpośrednio, stosując każdorazowo unikatowe i stale aktualizowane kombinacje całego dostępnego instrumentarium, posilając się różnego typu modelami, bazując przy tym na solidnych podstawach mikroekonomicznych podejmowania decyzji przez producentów rolnych w obszarze zarządzania jednak całością ich ekspozycji na różne ryzyka. Mnogość założeń i uproszczeń przyjmowanych w modelowaniu, niepewność i niejednoznaczność dalszego przebiegu zmiany klimatu oraz zróżnicowanie interesów aktorów politycznych stanowią główne przyczyny trudności w skonstruowaniu optymalnej polityki w zakresie adaptacji i mitygacji. Oddzielnym zagadnieniem jest jej wdrażanie, gdyż w całym niemalże świecie obserwuje się zniechęcenie do podejmowania bardziej ambitnej polityki proklimatycznej, szczególnie w obszarze mitygacji. Ta często wymaga bowiem ponoszenia znacznych kosztów i wyrzeczeń, a efekty odroczone są w czasie i niepewne oraz nie wiadomo, jak będą dystrybuowane. W tym kontekście pragmatyczne polityki proklimatyczne w rolnictwie w obecnych czasach to takie, które skoncentrują się przede wszystkim na tworzeniu zachęt i regulacji dostosowanych do preferencji rolników i możliwości budżetowych państw, dostarczaniu im informacji i alertów pogodowych, oferowaniu szkoleń i programów edukacyjnych. W ramach zaś interwencji bezpośrednich rządy powinny wspierać sferę badań i wdrożeń, która w Polsce staje się coraz bardziej niedofinansowana, oraz inwestować i/lub współfinansować projekty infrastrukturalne w różnych formach partnerstw publiczno-prywatnych. Duże przedsięwzięcia infrastrukturalne powinny być, rzecz jasna, koordynowane jednak na poziomach międzysektorowych i międzyregionalnych.

Bibliografia

- Alimaghani S., van Loon P.V., Villegos-Ramirez J.**, *Integrating crop models and machine learning for projecting climate change impacts on crop in data-limited environments*, „Agricultural Systems” 2025, Vol. 228.
- Antle J.M.**, *Testing the stochastic structure of production: A flexible moment based approach*, „Journal of Business and Economic Statistics” 1983, Vol. 1.
- Antón J., Kimura S., Lankowski J. et al.**, *A comparative study of risk management in agriculture under climate change*, OECD, Paris 2012.
- Badiani R., Jessoe K.K., Plant S.**, *Development and the Environment: The Implications of Agricultural Electricity Subsidies in India*, „The Journal of Environment and Development” 2012, Vol. 21.
- Beldowicz A.**, *Potrzeba redukcji emisji, by chronić kluczowy dla Europy prąd atlantycki*, „Rzeczpospolita”, nr 205, 4.09.2025.
- Beldowicz A.**, *Szczyt klimatyczny COP 30 już za moment. Co się może wydarzyć?*, „Rzeczpospolita”, nr 229, 3.10.2025.

- Bilal A., Känzig D.R.**, *The Macroeconomic Impact of Climate Change: Global vs. Local Temperature*, „The Quarterly Journal of Economics” 2026, Vol. 141, No. 2.
- Black S., Chateau J., Jarmote F.**, *Getting on track to net zero: Accelerating a global just transition in this decade*, „Staff Climate Notes” 2021, Vol. 2022(010).
- Böhringer C., Peterson S., Rutherford T.F.**, *Climate policies after Paris: Pledge, trade and recycle: Insights from the 36th energy modelling forum study (EMF36)*, „Energy Economics” 2022, Vol. 103.
- Calvacanti T., Hensa Z., Santos C.**, *Climate Change Mitigation Policies: Aggregate and Distributional Effects*, „The Economic Journal” 2025, Vol. 668.
- Chambwera M., Heal G., Dubeux S.**, *Economics of Adaptation [w:] Climate Change. Impacts, Adaptation, and Vulnerability*, Part A., Cambridge University Press, Cambridge UK 2014, dostęp 3.06.2025.
- Chhun B., Sehder D., Prentice C.A. et al.**, *Environmental domain tagging in the OECD PINE database*, OECD, Paris 2024.
- Climate** Trace Emissions Date (February/March), 19.02.2026.
- Coburn C.**, *Climate Change Adaptation Policies to Foster Resilience in Agriculture*, OECD, Paris 2023.
- Creutzmann A., Gleißner W.**, *ESG-Dashboard als Basis für Business Judgment-Entscheidungen*, „ESG – Zeitschrift für nachhaltige Unternehmensführung” 2023, Jg. 2, H. 2.
- Deressa T.T., Hassan R.M., Ringler C. et al.**, *Determinants of farmers’ choice of adaptation methods to climate change in the Nile Basin of Ethiopia*, „Global Environmental Change” 2009, Vol. 19.
- Di Falco S., Chaves J.P.**, *On crop biodiversity, risk exposure, and food security in the highlands of Ethiopia*, „American Journal of Agricultural Economics” 2009, Vol. 91.
- Di Falco S., Veronesi M.**, *How can African agriculture adapt to climate change?: a counterfactual analysis from Ethiopia*, „Land Economics” 2013, Vol. 89, No. 4.
- Diogo V., Reidsma P., Schaap B. et al.**, *Assessing local and regional economic impact of climate extremes and feasibility of adoption measures in Dutch arable farming systems*, „Agricultural Systems” 2017, Vol. 157.
- Gleißner W., Ihlau S.**, *Implikationen des Nachhaltigkeitsmanagements nach CSRD und des Risikomanagementsystems nach StaRUG für die wertorientierte Unternehmenssteuerung*, „Betriebs-Berater” 2024, Jg. 12, H. 8.
- Gomez-Trajos F.**, *Dynamic welfare implications of market-based climate policy under demand uncertainty*, „Journal of Economic Behavior and Organization” 2025, Vol. 238.
- Groot A., Werners S., Regmi B.**, *Critical climate-stress moments and their assessment in the Hindu Kush Himalaya: Conceptualization and assessment methods*, Nepal, Katmandu 2017, dostęp 20.05.2025.
- Grossi G., Goglio D., Vitali A. et al.**, *Livestock and climate change impact of livestock on climate and mitigation strategies*, „Animal Frontiers” 2019, Vol. 9.
- Gruère G., Migliaccio E., Ellis E.**, *Pursuing higher environmental goals for agriculture in an interconnected world: Climate change and pesticides*, OECD, Paris 2023.
- Gu X., Zhu J.**, *Climate physical risks and technological innovation in the grain industry chain: an empirical analysis based on machine learning of patent text in China*, „Agricultural Systems” 2026, Vol. 231.

Adaptacja i mitygacja w zarządzaniu ryzykiem klimatycznym w rolnictwie

- Hallegate S.**, *Strategies to Adapt to an Uncertain Climate Change*, „Global Environmental Change” 2009, Vol. 19, No. 2.
- Heltberg R., Siegel R.B., Jorgensen S.L.**, *Addressing human vulnerability to climate change: toward a „non-regrets” approach*, „Global Environmental Change” 2009, Vol. 19, No.11.
- Hintz G., Carcedo A., Carassa A.**, *Climate-adaptive management strategies for soybean production under EBSO scenarios in Southern Brazil: An in-silico analysis of crop failure risks*, „Agricultural Systems” 2025, Vol. 222.
- Holdys A.**, *Ciepłe przejście*, „Polityka”, nr 35, 27.08.2025–2.09.2025.
- Hołownia A.**, *Brakuje sektorowego planu*, „Dziennik Gazeta Prawna”, nr 196, 9.10.2025.
- Ignaciuk A.**, *Adapting Agriculture to Climate Change. A role for public politics*, OECD, Paris 2015.
- Ignaciuk A.**, *Measuring Policy Progress on Climate Change Mitigation in the Agriculture Forestry and Other Land Use (AFOLU) Sectors*, OECD Technical Paper, OECD, Paris 2024.
- Ignaciuk A., Boonstra C.**, *Synergies and trade-offs between agricultural productivity and climate change and mitigation: Netherlands case study (brochure)*, OECD, Paris 2017.
- Ignaciuk A., Mason-D’Croz D.**, *Modelling Adaptation to Climate Change in Agriculture*, OECD, Paris 2014.
- IPCC**, *Climate change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change*, Masson-Delmotte 2021.
- Issahaku G., Abdulai A.**, *Adoption of climate-smart practices and its impact on farm performance and risk exposure among smallholder farmers in Ghana*, „Australian Journal of Agricultural and Resource Economics” 2020, Vol. 64.
- Janik M.**, *OZE rozwijają się wbrew nieprzychylnemu klimatowi*, „Rzeczpospolita”, nr 211, 11.09.2025.
- Kassie M., Teklevoold H., Marenya H. et al.**, *Production risk and food security under alternative technology choices in Malawi: Application of a Multinomial Endogenous Switching Regression*, „Journal of Agricultural Economic” 2014, Vol. 66.
- KOBIZE**, *Krajowy raport inwentaryzacyjny 2025*, 19.02.2026.
- Lin B.B.**, *Resilience in Agriculture through Crop Diversification: Adaptive Management for Environmental Change*, „American Institute of Biological Science” 2011, Vol. 61, No. 3.
- Liu D., Nozick L., Williams C.**, *Insurability and government-funded mitigation: safer but costlier*, „The Geneva Papers on Risk and Insurance: Issues and Practice” 2025, Vol. 50, No. 2.
- Martini R.**, *Towards a taxonomy of agri-environmental regulations: A literature review*, OECD, Paris 2023.
- McCarl A.B.**, *Climate change: What do we do about it? Economic issues regarding agricultural adaptation and mitigation*, „American Journal of Agricultural Economics” 2025, Vol. 107, No. 2.
- Mendelshon R.**, *Agriculture and Economic Adaptation*, OECD, Paris 2012.
- Metcalf G.E., Stock J.H.**, *The macroeconomic impact of Europe’s carbon taxes*, „American Economic Journal: Macroeconomics” 2023, Vol. 15, No. 3.
- NIK**, *NIK o gospodarowaniu środkami pochodzącymi ze sprzedaży uprawnień do emisji gazów cieplarnianych*, 30 października 2024, nik.gov.pl, dostęp 15.10.2025.

Adaptacja i mitygacja w zarządzaniu ryzykiem klimatycznym w rolnictwie

- OECD, *Climate Change Adaptation Policies to Foster Resilience in Agriculture. Analysis and Stock-take Based on UNFCCC Reporting Documents*, OECD Food, Agriculture and Fisheries, Paris 2023.
- OECD, *The IFCMA's climate policy database: A proposal for a policy instruments typology and data structure*, Paris 2024.
- Ogunpaimo R.O., Rafiat Buckley C., Hynes S. et al., *Integrated assessment of farm-level mitigation measures for gaseous emissions*, „Agricultural Systems” 2025, Vol. 223.
- Pisu M., Costa H., D’Arcangelo M.F. et al., *Accelerating Climate Adaptation: A Framework for Assessing and Addressing Adaptation Needs and Priorities*, OECD, Paris 2024.
- Quandt R., *A New Approach to Estimating Switching Regressions*, „Journal of American Statistical Association” 1972, Vol. 67.
- Seusing P., Leichsening C., Marx S., *Klimatrisiken. Herausforderungen im Risikomanagement von Automobilzulieferung*, „Zeitschrift für Risikomanagement” 2025, No. 1.
- Shah H., Hellegerst P., Siderius Ch., *Climate risk to agriculture: A synthesis to define different types of critical moments*, „Climate Risk Management” 2021, Vol. 34.
- Shen L., Liu W., Si H., *What affects farmers’ intention and behavior to mitigate the impact of climate change? Evidence from Hebei Province, China*, „Journal of Rural Studies” 2025, Vol. 114.
- Sigman H., *Climate Change Adaptation in Government Decisions: Empirical Evidence from Superfund Remedies*, „Land Economics” 2025, Vol. 101, No. 1.
- Sommer M., *Nowojorski szczyt klimatycznej smuty*, „Newsweek”, nr 35, nr 25, 8–31.08. 2025.
- Sommer M., *Ropa naftowa jednak wciąż ma przyszłość*, „Dziennik Gazeta Prawna”, nr 189, 30.09.2025.
- Stein P., *Management von Nachhaltigkeitsrisiken. Einsatz ausgewählter quantitativer und qualitativer Methoden für die Praxis*, „Zeitschrift für Risikomanagement” 2025, nr 4.
- Tychmanowicz P., *ESG wspiera właściwą ocenę ryzyka*, „Rzeczpospolita”, nr 233, 7.10.2025.
- Wołownia A., *Deregulacja możliwa z każdym*, „Dziennik Gazeta Prawna”, nr 194, 7.10.2025.
- Wreford A., Ignaciuk A., Graère G., *Overcoming barriers to the adaptation of climate-friendly practices in agriculture*, OECD, Paris 2017.
- Zandalinas S.L., Mittler R., Balfagón D. et al., *Plant adaptations to the combination of drought and high temperatures*, „Physiologia Plantarum” 2018, Vol. 162.

otrzymano: 22.10.2025
zaakceptowano: 27.04.2026

