

Zarządzanie ryzykiem klimatycznym w rolnictwie

Jacek Kulawik

Abstrakt

Zmiana klimatu oraz polityka klimatyczna to dwa podstawowe źródła ryzyka klimatycznego, które tworzy wiele zagrożeń dla rolnictwa i całego sektora żywnościowego. Jednocześnie oferuje jednak szanse rozwojowe. Stąd oczywistą potrzebą jest zintegrowanie zarządzania tym ryzykiem – jako składnika holistycznego systemu. W tym kontekście podstawowym celem artykułu jest kompleksowa analiza źródeł i skutków ryzyka klimatycznego w rolnictwie oraz ocena skuteczności dostępnych instrumentów zarządzania nim, ze szczególnym uwzględnieniem adaptacji, mitygacji i jego transferu na rynek finansowy. Cel osiągnięto przez udzielenie odpowiedzi na cztery pytania badawcze. Te ostatnie i sam cel są jedynie środkami do naukowego podbudowania przyjętej tezy. Artykuł jest studium przeglądowo-monograficznym. Źródła z literatury przedmiotu wybrano za pomocą połączenia techniki manualnej z uproszczoną wersją metody snow-balling backward oraz dwóch asystentów sztucznej inteligencji (AI): Gemini i SciSpace. Z przeprowadzonej analizy wynikają następujące wnioski: (1) rolnicy i politycy rolni powinni starać się elastycznie i inteligentnie korzystać z całego instrumentarium zarządzania ryzykiem klimatycznym; (2) największe możliwości radzenia sobie z ryzykiem klimatycznym oferuje adaptacja do zmiany klimatu, najlepiej połączona ze wzmacnianiem rezylencji; to strategia, która nie wymaga nawet subsydiowania i innych bezpośrednich interwencji publicznych; (3) transfer ryzyka klimatycznego z rolnictwa jest możliwy, ale potrzebna jest tu perspektywa całego rynku ubezpieczeniowego i finansowego oraz znajomość ich ograniczeń.

Słowa kluczowe: ryzyko klimatyczne w rolnictwie, ubezpieczenia od ryzyka klimatycznego w rolnictwie, zarządzanie ryzykiem klimatycznym w rolnictwie, zmiana klimatu a rolnictwo.

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

Wstęp

Rok 2024 okazał się najgorętszym w 175-letniej historii pomiarów globalnej temperatury powietrza atmosferycznego¹. Współcześnie jednak częściej odnosi się wzrosty temperatury do lat 1850–1900. Okres ten traktuje się jako półwiecze poprzedzające rewolucję przemysłową. W tej konwencji globalna średnia temperatura powietrza z 2024 roku oznacza wzrost o 1,42–1,65°C. Tym samym wg niektórych ośrodków badawczych świat przekroczył już cel równy 1,5°C do końca bieżącego stulecia, który przyjęto w Porozumieniu Klimatycznym z Paryża w 2015 roku. Nie ma natomiast nieporozumień co do tego, że Europa jest kontynentem, który ociepla się mniej więcej dwa razy szybciej niż reszta świata. Szczególnie szybko rosną średnie temperatury w Europie Środkowo-Wschodniej i Południowo-Wschodniej². Nie dyskutuje się też z ustaleniami, że emisje dwutlenku węgla, metanu oraz podtlenku azotu są najwyższe od 800 tys. lat. Mało kto kwestionuje również i to, że wzrost ten wynika także z działalności ludzi, w tym o charakterze rolniczym. Innymi słowy, rolnictwo i cały sektor żywnościowy wnoszą pewien wkład w antropogeniczną zmianę klimatu. Rolnictwo, leśnictwo i inne sektory wykorzystujące ziemię (ang. *agriculture, forestry and other land use*, AFOLU) mają jednak pewne możliwości pochłaniania i zatrzymywania gazów cieplarnianych. Ekstrapolacja obecnych trendów na ogół pokazuje, że średni wzrost temperatury do końca obecnego stulecia przekroczy co najmniej 3°C w porównaniu do lat 1850–1900, jeśli nie podejmie się skoordynowanych globalnie działań³. Gdyby urzeczywistnił się ten scenariusz, to światowy PKB w ujęciu skumulowanym mógłby zmaleć od 15% do 34%. Jeśli ludzkość przeznaczała jednak około 1–2% rocznego PKB na działania powstrzymujące zmiany klimatu, udałoby się ograniczyć wzrost temperatury nawet o ok. 2°C. Mogłoby to wystarczyć do opanowania sytuacji. Z kolei koszt zaniechania działań – rozumiany jako różnica między skutkami zmian klimatu a wydatkami na ich powstrzymanie – szacuje się na 11–27% skumulowanego PKB.

Według K. Prandeckiego i W. Wrzaszcz wzrost średniej temperatury powietrza w Polsce będzie postępował szybciej niż w całej Europie i wyraźnie szybciej niż

-
1. M. Guff, *The global temperature may be even higher than we thought*, „New Scientist” 2025, 4. June, dostęp 9.06.2025.
 2. Climate Change Service, *European State of the Climate Report 2024 (2025)*, Copernicus Europe's eyes on Earth, dostęp 9.06.2025; European Environment Agency, *European Climate Risk Assessment Report 01(2024)*, dostęp 9.06.2025.
 3. Boston Consulting Group and University of Cambridge, *The Economic Case for Climate Investment is Clear, but Not Bradley Understood*, 2025.

w latach 1981–2010⁴. Jeszcze bardziej niepokojące jest to, że rzeczywiste tempo wzrostu temperatur w Polsce okazuje się wyższe niż przewidują to modele klimatyczne. Szczególnie narażone są województwa północno-wschodnie, zwłaszcza zimą i wiosną. Negatywne następstwa zmiany klimatu dla rolnictwa w Polsce są w zasadzie standardowe: (1) pojawienie się ekstremalnych zjawisk pogodowych; (2) zmiany wzorców opadów i problemy z dostępnością wody; (3) różnicowanie się długości okresów wegetacji; (4) ekspansja inwazyjnych gatunków i nowych chorób. Największym wyzwaniem mogą być jednak problemy z wodą.

Rolnictwo jest źródłem antropogenicznej zmiany klimatu poprzez swój wkład w emisję gazów cieplarnianych, ale jeszcze silniej odczuwa negatywne skutki tych zmian. Dotyczą one produkcji roślinnej, zwierzęcej, bezpieczeństwa żywnościowego, jakości żywności, a także poziomu i jakości życia rolników⁵. Ich syntetycznym wyrazem jest tzw. ryzyko klimatyczne – obejmujące z jednej strony rosnącą zmienność podstawowych parametrów pogodowych z tendencją do osiągnięcia wartości ekstremalnych, a z drugiej – szoki polityczne wynikające z działań dostosowawczych, prób hamowania zmian klimatu czy też nagłych zwrotów lub zaniechania polityki w tym zakresie. W tym kontekście nieodzowne jest zarządzanie również i tym rodzajem ryzyka. Trzeba w tym miejscu od razu dodać, że w literaturze polskiej brakuje prac, które wprost zajmują się zarządzaniem ryzykiem klimatycznym w rolnictwie. Niniejszy artykuł jest zatem próbą wypełnienia tej luki badawczej. W piśmiennictwie zagranicznym z kolei spotyka się artykuły i rozdziały w książkach, które poświęcone są powyższemu zarządzaniu, ale najczęściej ich autorzy koncentrują się na strategiach adaptacji i mitygacji albo pojedynczych ryzykach fizycznych (np. suszy) lub izolowanym instrumencie typu zarządzanie ryzykiem suszy albo dywersyfikacji upraw i działalności. W tym opracowaniu uwzględnili się również transfer ryzyka. To także jest novum w literaturze zagranicznej.

4. K. Prandecki, W. Wrzaszcz, *Uwarunkowania środowiskowo-klimatyczne rozwoju rolnictwa* [w:] *Środowiskowo-klimatyczne uwarunkowania rozwoju rolnictwa i obszarów wiejskich w Polsce w latach 2004–2030*, red. nauk. W. Wrzaszcz, M. Wigier, Warszawa, IERiGŻ PIB, 2024.

5. M.C. Cheng, *Three Essays on the U.S. Agriculture Under Climate Change: A Crop – Livestock Framework*, PhD thesis, College Station, TX, Texas A&M University, 2024, dostęp 1.06.2025; S. Frei, *Effect of Climate Change on Risk Management Practices in Agriculture Switzerland*, „International Journal of Modern Risk Management” 2024, Vol. 2, No. 2; P.R. Shulela, J. Skea et al. (ed.), *Intergovernmental Panel on Climate Change 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, New York, dostęp 1.06.2025.

Założenia metodyczne

Artykuł w sensie jego formalnej klasyfikacji obowiązującej w Polsce (Rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z 22 lutego 2019 r. w sprawie ewaluacji jakości działalności naukowej) wykazuje podobieństwo do studium monograficzno-przeglądowego, gdyż jego przedmiotem jest wyraźnie sformułowany problem naukowy (zarządzanie ryzykiem klimatycznym w rolnictwie) oraz korzysta się w nim z możliwie aktualnej literatury, ale ujętej w perspektywie historycznej. Bardzo dobrym punktem odniesienia jest tu konwencja stosowana przez „Journal of Economic Literature” (JEL). To tytuł, który legitymuje się bardzo wysokim wskaźnikiem *impact factor* (prawie 13) i przydziela mu się w Polsce maksymalną wartość 200 punktów w dyscyplinie ekonomia i finanse. Artykuły zamieszczane w JEL mają charakter studiów monograficzno-przeglądowych, a każdy problem ujmuje się w perspektywie historyczno-ewolucyjnej. Zgodnie z tym wydawca JEL nie kwestionuje, gdy w artykule są odwołania do publikacji nawet z wieku XIX i okresów wcześniejszych.

W całym artykule zastosowano kombinację zmodyfikowanej koncepcji *snowballing backward* i techniki manualnej (ręcznej, tradycyjnej) do przeszukiwania literatury przedmiotu. Istotą *snowballing backward* jest skonstruowanie tzw. zbioru startowego/początkowego kluczowych tytułów, a następnie cofanie się wstecz i dołączanie nowych pozycji⁶. Poszukiwaną frazą były angielskie i niemieckie odpowiedniki sformułowania: zarządzanie ryzykiem klimatycznym w rolnictwie. Modyfikacja polegała natomiast na tym, że zbiór startowy obejmował piętnaście wydawnictw anglojęzycznych i dwa niemieckie. Autor artykułu stale je monitoruje od prawie trzydziestu lat i ma dobre rozeznanie co do zamieszczanych w nich publikacji. Dodatkowo przyjęto założenie, że będą to artykuły posiadające *impact factor* i mające co najmniej 70 punktów w polskiej klasyfikacji. Rozwiązanie takie można traktować jako reguły włączania i wyłączania opracowań. Wykorzystuje się je w systematycznych przeglądach literatury opartych na cyfrowych bazach. Kombinacja ta przy dobrej znajomości przedmiotu badań jest co najmniej tak samo efektywna, jak systematyczny

6. C. Wohlin, *Guidelines for Snowballing in Systematic Literature Studies and Replication in Software Engineering*, Technical Report EBSE-2007-01, School of Computer Science and Mathematics, Keele University, 2007.

przegląd literatury zawartej w cyfrowych bazach danych⁷. Dzięki temu prezentowana dalej analiza odznacza się wysokim stopniem aktualności, a ponadto porusza w sposób logiczny najważniejsze problemy w przedmiotowym obszarze. Ponadto skorzystano z dwóch asystentów sztucznej inteligencji: Gemini Google oraz SciSpace.

Podstawowym celem artykułu jest kompleksowa analiza źródeł i skutków ryzyka klimatycznego w rolnictwie oraz ocena skuteczności dostępnych instrumentów zarządzania nim, ze szczególnym uwzględnieniem adaptacji, mitygacji i jego transferu na rynek finansowy. Środkami do jego osiągnięcia będzie udzielenie odpowiedzi na następujące pytania badawcze:

1. Jak definiuje i klasyfikuje się ryzyko klimatyczne?
2. Co jest istotą zarządzania ryzykiem klimatycznym?
3. Czym różni się adaptacja do zmiany klimatu od mitygacji?
4. Jakie są możliwości transferu ryzyka klimatycznego z rolnictwa na rynek finansowy?

Cel oraz odpowiedzi na pytania badawcze są tylko środkami do naukowego podbudowania następującej tezy: zarządzanie ryzykiem klimatycznym w rolnictwie jest poważnym wyzwaniem, głównie z racji możliwości generowania przez zmianę klimatu ekstremalnych zjawisk pogodowych, które do opisu formalnego wymagają bardzo zaawansowanych narzędzi rachunku prawdopodobieństwa i statystyki. Aby jednak zarządzanie mogło być w miarę skuteczne i efektywne, konieczna jest integracja dostępnych instrumentów, wsparta odpowiedzialną polityką publiczną – która, paradoksalnie, sama również stanowi źródło ryzyka.

Zmiana klimatu

Zmiana klimatu, albo zmiana klimatyczna, postrzegana jest często jako swoisty „mnożnik/ wyzwalacz/ detonator innych ryzyk”. Ten ostatni termin wprowadzony został przez amerykański departament obrony, czyli Pentagon. Są wśród nich nawet te o znaczeniu geopolitycznym⁸. Następstwem zmiany klimatycznej są też destrukcje

7. B. Danglot, O. Vera-Perez, 2. Yu et al., *A snowballing literature study on test amplification*, „Journal of Systems and Software” 2019, Vol. 157; S. Jalali, C. Wohlin, *Systematic Literature Studies: Database Searches vs. Backward Snowballing*, Proceedings International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering, 2014; Vrije Universiteit Amsterdam, University Library, *Snowball method-research skills-advanced-libGuides*, <https://libguides.vu.nl/c.php>, dostęp 7.02.2025; C. Wohlin, M. Kalinowski, K. Romero Felizardo et al., *Successful combination of database search on snowballing for identification of primary studies in systematic literature studies*, „Information and Software Technology” 2022, Vol. 147; K. Wnuk, T. Garropalli, *Knowledge Management in Software Testing: A Systematic Snowball Literature Review*, „e-Informatics Software Engineering Journal” 2018, Vol. 12, No. 1.

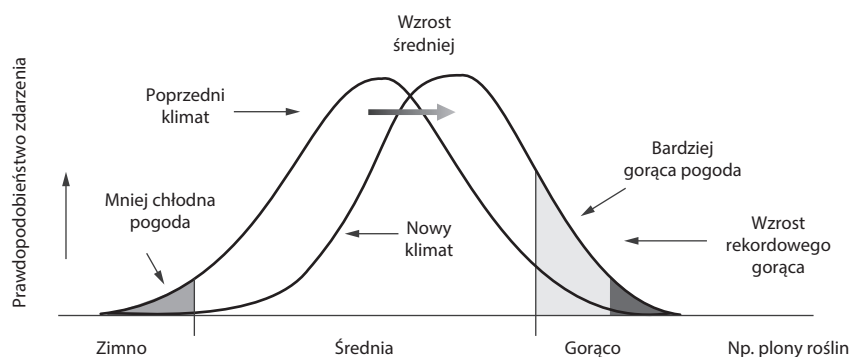
8. D. Carlin, M. Arshad, K. Baker, *Climate Risks in the Agricultural Sector*, UN environment programme/finance initiative, New York 2023.

systemów przyrodniczych i infrastrukturalnych. Zmiana ta w sensie statystycznym w najprostszym ujęciu oznacza wariacje wartości średnich parametrów pogodowych i miar opisujących ich zmienność. W analizach zaawansowanych jednak uwzględnia się już pozostałe momenty rozkładów tychże parametrów, szczególnie na ich krańcach (tzw. rozkłady ogonowe)⁹. Źródłem zmiany klimatycznej mogą być procesy naturalne oraz o pochodzeniu antropogenicznym. Ważne jest, aby identyfikować je w odpowiednio długich okresach i pamiętać, że zmiana klimatu oddziałuje zarówno na wartości średnie, jak i na wariancję parametrów pogodowych – tak, jak pokazano na rysunku 1.

Bezpośrednim następstwem zmiany klimatu mogą być ekstremalne zjawiska pogodowe, tj. relatywnie rzadkie, ale o dużym potencjale szkodowym, które mogą generować ryzyka katastroficzne i systemowe oraz wywoływać ich kaskadowość, złożoność i chaotyczność. Każdorazowo trzeba jednak odróżnić klimat, a więc zgodnie z definicją Światowej Organizacji Klimatycznej (ang. *the World Meteorological Organization*, WMO) średni przebieg pogody w okresie co najmniej 30 lat, od pogody. Ta ostatnia jest aktualnym stanem parametrów atmosfery (temperatura, wilgotność, wiatr, ciśnienie itd.) w danej lokalizacji¹⁰. W ślad za tym przez ryzyko pogodowe należy rozumieć aktualną częstość/prawdopodobieństwo wystąpienia powyższych stanów atmosfery oraz potencjalnie negatywny ich wpływ¹¹.

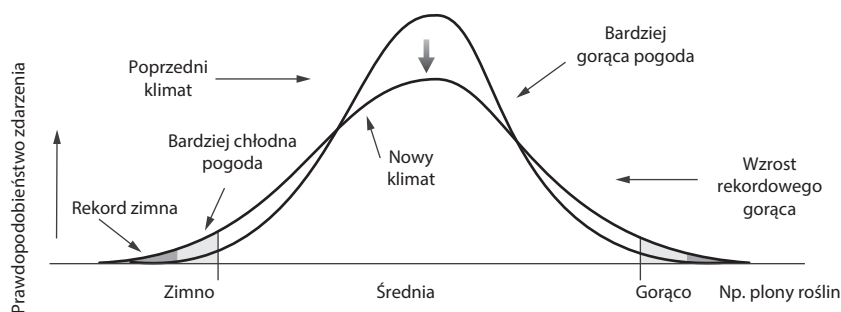
Rysunek 1. Wpływ zmiany klimatu na rozkłady wartości średnich i wariancji parametrów pogodowych

a) Zmiany wartości średnich

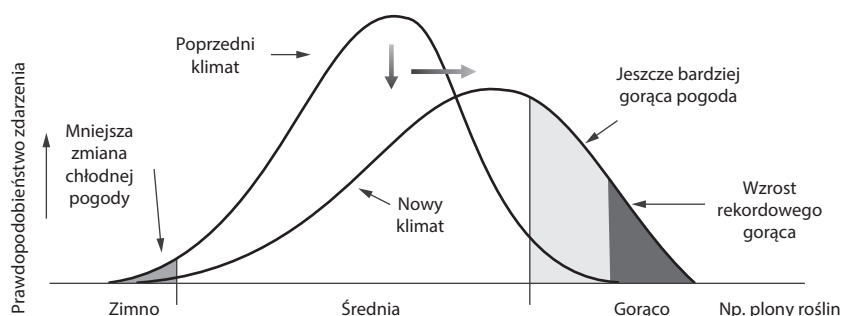


9. The World Bank, *Agricultural Risk Management in the Face of Climate Change*, Washington D.C., 2015.
10. K. Kożuchowski (red. nauk.), *Meteorologia i Klimatologia*, Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2012.
11. G. Dionne, D. Desjardins, *A reexamination of the US insurance markets capacity to pay catastrophe losses*, „Risk Management and Insurance Review” 2022, Vol. 25.

b) Zmiany wariancji



c) Równoczesny wzrost średniej i wariancji



Źródło: Opracowanie własne na podstawie: S. Ramasamy, *Climate risks: Assessment and management in agriculture*, FAO, 2023, dostęp 19.05.2025.

Wpływ zmiany klimatycznej na rolnictwo

Jak wskazano wcześniej, zmiana klimatu wywiera wieloaspektowy wpływ na sektor rolnictwa. W ujęciu szczegółowym chodzi o następujące zjawiska i procesy w przekroju ogólnosiwiatowym:

- wzrost temperatur, które oddziałują na wielkość i rozkład opadów atmosferycznych z możliwością pojawienia się zdarzeń ekstremalnych;
- utrudnienia dla prac prowadzonych na otwartej przestrzeni w gospodarstwach rolniczych powodowane przez ekstremalne zdarzenia pogodowe (w pierwszym rzędzie przez upały);
- wahania plonów roślin, które są pochodną m.in. wzrostu atmosferycznego stężenia dwutlenku węgla;
- wyższą niepewność co do kształtowania się produktywności w chowie zwierząt;

- wyższą populację szkodników i przestrzenne rozpowszechnianie się chorób;
- przesunięcia w regionalnych korzystnych i niekorzystnych warunkach prowadzenia działalności rolniczej;
- spadek całkowitej produktywności czynników produkcji i tempa postępu technicznego;
- rosnące problemy z zaopatrzeniem w wodę i zaostrzającą się w tym obszarze konkurencją wraz z możliwością wybuchu konfliktów zbrojnych¹².

Istota, pomiar i klasyfikacja ryzyka klimatycznego

Ryzyko klimatyczne to bezpośrednie następstwo zmiany klimatycznej, przy czym ten pierwszy termin można rozumieć jako podatność i ekspozycję na same ekstremalne zjawiska pogodowe oraz na pośrednie negatywne skutki ekonomiczne, rynkowe, polityczne tej zmiany, a także wywoływane działaniami ją mitygującymi¹³.

Zaawansowane metody pomiaru ryzyka klimatycznego, określane w literaturze jako *climate risk assessment* (CRA), to swoiste analizy scenariuszowe sporządzane w konwencji „co, jeśli”. Pełny ich cykl powinien obejmować następujące fazy:

1. Sporządzanie map ciepła/cieplnych (ang. *heat maps*) ryzyka klimatycznego, które pozwolą zrozumieć jego składowe oraz sformułować ogólne przypuszczenia co do ich wpływu na sektor rolny i poszczególne typy gospodarstw.
2. Wybranie obiektów do porównań.
3. Dopasowanie do konkretnych warunków najlepszego modelu klimatycznego, który pozwoli w pierwszym rzędzie oszacować częstość/prawdopodobieństwo wystąpienia określonego ryzyka i oczekiwane z tego tytułu szkody/straty.
4. Wprowadzenie uzyskanych w kroku trzecim wyników do modeli wzrostu roślin i zwierząt, by oszacować oczekiwane plony i wydajności, a także przychody i koszty.
5. Skalkulowanie skutków finansowych otrzymanych w fazie trzeciej i zaproponowanie metody ich zrekompensowania łącznie z transferem ryzyka klimatycznego do ubezpieczycieli. W przypadku profesjonalnego zarządzania tym ryzykiem producent

-
12. M.C. Cheng, *Three Essays on the U.S. Agriculture Under Climate Change: A Crop – Livestock Framework*, PhD thesis, College Station, TX, Texas A&M University, 2024, dostęp 1.06.2025; S. Frei, *Effect of Climate Change on Risk Management Practices in Agriculture Switzerland*, „International Journal of Modern Risk Management” 2024, Vol. 2, No. 2; G.S. Malhi, M. Kaur, P. Kaushik, *Impact of Climate Change on Agriculture and Its Mitigation Strategies: A Review*, „Sustainability” 2021, Vol. 13, No. 3; A. Ortiz-Bodea, T.R. Ault, C.M. Carrillo et al., *Anthropogenic Climate Change Has Shoved Global Agricultural Productivity Growth*, „Nature Climate Change” 2021, Vol. 11, No. 4.
 13. O.D. Cardona, K.M. van Alst, J. Birkmann et al., *Determinants of risk: exposure and vulnerability*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, New York, 2012.

rolny powinien też opracować strategię negocjowania korzystniejszych warunków z oferentami kapitału obcego, tj. bankami, leasingodawcami, dostawcami środków produkcji itd. (zmodyfikowana propozycja zawarta w „Strategies to address climate risks and capture opportunities. A guide for agricultural finance institutions”)¹⁴.

Wśród możliwych klasyfikacji ryzyka klimatycznego centralne miejsce zajmuje jego podział na ryzyka przejścia (ang. *transition risks*) oraz fizyczne (ang. *physical risks*). Ich konkretyzację w rolnictwie przedstawiono w tabeli 1. Wyzwaniem jest przy tym, jak ryzyko klimatyczne zintegrować z innymi rodzajami ryzyka w gospodarstwach i całym sektorze rolnym.

Tabela 1. Główne typy ryzyka klimatycznego

Typ ryzyka	Rodzaj ryzyka	Skutki materializacji
Przejścia (tranzycji)	Wzrost stawek podatku węglowego	Wyższe koszty operacyjne w gałęziach wysokoemisyjnych
	Restrykcje w politykach publicznych	Ograniczenie rozmiarów działalności podlegających oddziaływaniu danego czynnika
	Postęp w technologiach niskoemisyjnych	Presja konkurencyjna na rolników stosujących technologie wysokoemisyjne
	Zmiany preferencji rynkowych konsumentów i odbiorców	Możliwy spadek popytu na produkty o wysokim śladzie węglowym
	Rosnąca aktywność inwestorów	Domaganie się redukcji emisji od rolników
	Rosnące ryzyko reputacyjne	Nacisk inwestorów, konsumentów i organizacji pozarządowych na wysokoemisyjnych wytwórców
Fizyczne	Susza i stresy termiczne	Spadki produkcji oraz wzrost jej kosztów
	Ekstremalne burze i powodzie	Redukcja wolumenu produkcji oraz pogorszenie jej jakości
	Wzrost poziomu mórz	Utrata bioróżnorodności, tzw. Cofki rzek i ich zasolenie spadek dochodów i bezpieczeństwa żywnościowego
	Pożary lasów	Spadek produkcji rolniczej, destrukcja infrastruktury i utrudnienia dla wykonywania prac na otwartych przestrzeniach
	Zasolenie oceanów	Utrata bioróżnorodności i mniejsze połowy ryb i owoców morza
	Ekspansja gatunków inwazyjnych	Redukcja rezylencji systemów rolniczych i zagrożenia dla zaopatrzenia w zdrową i bezpieczną żywność

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: D. Carlin, M. Arshad, K. Baker, *Climate Risks in the Agricultural Sector*, UN environment programme/finance initiative, New York 2023.

14. Environmental Defense Fund, *Strategies to address climate risks and capture opportunities. A guide for agricultural finance institutions*, Deloitte, 2023, dostęp 15.05.2025.

Rzecz jasna, obydwa rodzaje ryzyka klimatycznego są manifestacją zmiany klimatycznej. Ryzyko fizyczne jest przy tym jej następstwem bezpośrednim, ale ściśle trzeba je łączyć z dostępnością lub nadmiarem wody¹⁵. Ryzyko to dodatkowo można podzielić na ostre oraz chroniczne¹⁶. Do grupy pierwszej zalicza się generalnie ekstremalne zjawiska pogodowe, które wprost przekładają się na wzrost częstości i wielkości szkód/strat. Tym samym bardzo ściśle wiąże się to z możliwością jego transferu na rynek ubezpieczeniowy, gdyż te dwa ww. parametry są podstawą kalkulacji stawek ubezpieczeniowych i później kwot samych składek. Ryzyko chroniczne natomiast to długookresowe przesunięcie sezonowych wzorców rozkładów opadów atmosferycznych i temperatur oraz ich wartości skumulowanych.

Ryzyko przejścia pojawia się wtedy, gdy społeczeństwo podejmuje działania adaptacyjne do zmiany klimatu albo mitygujące jej przyczyny. Często skrótowo takie wysiłki określa się jako próby przejścia do gospodarki niskoemisyjnej. To z kolei generuje różne ryzyka polityczne, rynkowe i technologiczne. Ryzyka przejścia i fizyczne można transferować na rynek ubezpieczeniowy i bankowy, a to implikuje powstawanie ryzyka finansowego dla powyższych instytucji. Trzeba je następnie zintegrować i modelować łącznie z ryzykami typowymi dla banków i ubezpieczycieli, tj. ryzykiem rynkowym, płynności, organizacyjnym, ubezpieczeniowym i kredytowym czy reputacyjnym. Współcześnie w bankach i branży ubezpieczeniowej zarządzanie całością ekspozycji na ryzyka dokonuje się w ramach Enterprise Risk Management (ERM).

Zarządzanie ryzykiem klimatycznym

Ogólnie przyjmuje się w literaturze zagranicznej, bo polscy autorzy wprost nie definiują zarządzania ryzykiem klimatycznym, że przez zarządzanie to (ang. *the climate risk management*, CRM) rozumie się zintegrowane ex - ante i ex - post kombinacje instrumentów i strategii z obszaru technologii, instytucji i polityki, które pozwalają

15. Ibidem.

16. A. Gupta, A. Owusu, J. Wang, *Assessing and Attributing Climate Change response of U.S. Insurance Firms*, „The Geneva Papers on Risk and Insurance Issues and Practices” 2024, Vol. 49, No. 3.

będą na adaptację do zmiany klimatu i mitygowanie jej źródeł¹⁷. W przypadku technologii i instytucji chodzi o postęp techniczny i technologiczny, prognozy pogody i klimatu zintegrowane z modelami upraw i zarządzania inwentarzem żywym, programy wzmacniania rezyliencji, wspólnot lokalnych i kapitału społecznego. Interwencje polityczne z kolei obejmują działania, które z jednej strony mają ograniczać ryzyko dochodowe, a z drugiej – wzmacniać zdolność dostosowań i odporność na zmiany. Ich celem jest także tworzenie bodźców do systematycznego reagowania na skutki zmian klimatu oraz racjonalne wykorzystanie wsparcia budżetowego dla ubezpieczeń tradycyjnych, indeksowych oraz alternatywnego transferu ryzyka. W żadnym razie nie powinno się lekceważyć także lokalnej wiedzy i praktyk stosowanych od dziesięcioleci przez samych rolników.

Zarządzanie ryzykiem klimatycznym w rolnictwie w sensie najbardziej ogólnym powinno nawiązywać do normy ISO 31000 „Zarządzanie ryzykiem – zasady i wytyczne”. Jej aktualna wersja polska zawarta jest w PN-I-SO 31000: 2018.08. Zarządzanie to ujmowane jest jako proces składający się z pięciu faz:

- 1) określenia kontekstu (zakres, cele wewnętrzne i zewnętrzne, szanse i zagrożenia).
- 2) identyfikacji ryzyka (źródła, obszary wpływu, zdarzenia, skutki).
- 3) analizy ryzyka (poziom, prawdopodobne skutki).
- 4) ewaluacji ryzyka (porównanie, nadanie rang).
- 5) postępowania z ryzykiem (opracowanie planu, wdrożenie planu).

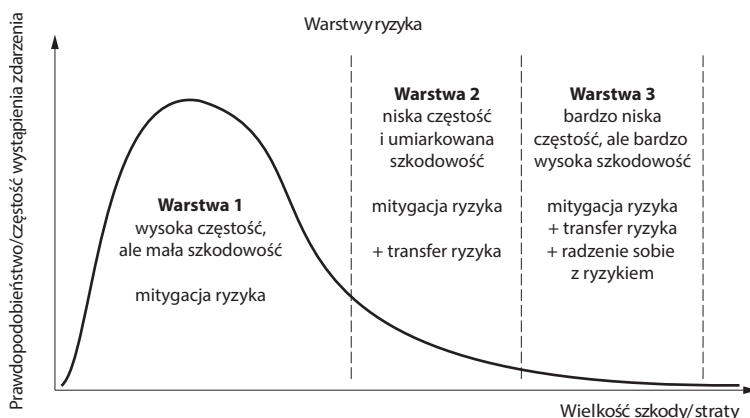
Klamrami spinającymi te fazy są komunikacja i konsultacja oraz monitoring (dokumentowanie, rejestracja, wskaźniki, raporty). Trzeba dodać, że powyższa norma jest jedynie ogólną ramą i to tylko jedną z kilku propozycji (COSO, Basel III, FERMA, HACCP, IT Risk Management Framework). W rolnictwie, szczególnie drobnotowarowym, wymaga ona znacznego uproszczenia.

Bank Światowy w swoich publikacjach posługuje się dwoma ujęciami zarządzania ryzykiem klimatycznym w rolnictwie standardowym oraz trójwarstwowym¹⁸.

17. V. Chandra, Ch. Padhy, S. Mahapatro et al., *Climate risk assessment and management in agriculture: An overview*, „International Journal of Agricultural Extension and Social Development” 2024, Vol. 7, No. 2; S. Frei, *Effect of Climate Change on Risk Management Practices in Agriculture Switzerland*, „International Journal of Modern Risk Management” 2024, Vol. 2, No. 2; N. Grochowina, *Climate Risk Management in Dryland Agriculture: Technological Management and Institutional Options to Adoption*, Springer, 2023, dostęp 5.06.2025, s. 55–71; L. Kouadio, E. Rahn, *Agricultural climate risk management and global food security: Recent progress in South-East Asia* [w:] *Evaluating climate change impacts*, V. Lyubchich et al., New York, Chapman and Hall/CRC, 2020, dostęp 5.06.2015, s. 348–359; E. Sihem, *Management of Climate Risks and Its Effects on Agricultural Productivity: Evaluating the Impacts of Government Policy*, „International Journal of Food and Agricultural Economics” 2019, Vol. 7, No. 3; E. Surmaini, F. Agus, *Climate Risk Management for Sustainable Agriculture in Indonesia: A Review*, „Journal of Pertanian” 2020, Vol. 39, No. 1.
18. The World Bank, *Agricultural Risk Management in the Face of Climate Change*, Washington D.C., 2015.

W pierwszym przypadku zarządzanie to, nazywane cyklem zarządzania, składa się z pięciu faz: oceny ryzyka, analizy rozwiązań/narzędzi/instrumentów, ich wdrożenia, monitorowania ryzyka i ewaluacji. Istotę ujęcia trójwarstwowego przedstawiono natomiast na rysunku 2.

Rysunek 2. Trójwarstwowe podejście do zarządzania ryzykiem klimatycznym w rolnictwie



Źródło: The World Bank, *Agricultural Risk Management in the Face of Climate Change*, Washington D.C., 2015.

Adaptacja do zmiany klimatu

W ogólnym znaczeniu przez adaptację do zmiany klimatu rozumie się dostosowania w systemach przyrodniczych, społecznych i ekonomicznych, których celem jest ograniczenie przyszłych negatywnych jej skutków i wykorzystanie szans przez nią tworzonych¹⁹. W ujęciu bardziej szczegółowym chodzi o wdrożenie odpowiednich operacji i działań oraz praktyk agro-i zootechnicznych, a nie bezpośrednie wpływanie na samą tę zmianę. Powyższe rozumienie istoty adaptacji zawiera w sobie zarówno samoubezpieczenia – ograniczanie rozmiarów przyszłych szkód, jak i samoochronę, tj. działania ukierunkowane na zmniejszenie prawdopodobieństwa/częstości ich wystąpienia. Co równie ważne, działania te mają jednoznaczny antycypacyjny aspekt zarządzania *ex-ante* przyszłymi ryzykami. To natomiast, że adaptacja ma także ułatwić zdyskontowanie ewentualnych korzyści z tytułu zmiany klimatu, powoduje, iż

19. 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.

jest ona również instrumentem zarządzania ryzykami spekulatywnymi. Tym samym adaptacja wpisuje się w obecnie dynamicznie rozwijający się nurt w zarządzaniu ryzykiem określany jako *balanced chance and risk management*²⁰. Przegląd praktyk adaptacyjnych w rolnictwie zawiera tabela 2.

Tabela 2. Zbiór dostępnych działań adaptacyjnych do zmiany klimatu w rolnictwie

Obszar działań	Instrumenty adaptacyjne
Zarządzanie uprawami	– Zmiana terminów zasiewów/ nasadzeń i zbiorów – Dobór odpowiedniejszych odmian roślin – Dostosowania w strukturze upraw – Regionalizacja upraw – Systemy rolniczo-leśne, leśno-pastwiskowe itp. – Ograniczanie ekspansji gatunków inwazyjnych
Nawożenie	– Zmiana praktyk – Rolnictwo precyzyjne – Stosowanie nawozów organicznych – Używanie nawozów długodziałających – Wzrost znaczenia roślin strączkowych
Gospodarka wodą	– Stosowanie irygacji – Precyzyjne nawadnianie – Zmienny czas nawodnień – Przeciwdziałanie zasoleniu gleb – Retencja wód opadowych – Schematy upraw warstwowych – Systemy informacyjne dotyczące relacji: woda – nawożenie – pogoda
Użytkowanie gleb i ziemi uprawnej	– Zmiana systemu upraw – Hamowanie erozji – Stosowanie roślin głęboko korzeniących się – Przeciwdziałanie zbiściu gleb – Nawożenie organiczne, zasiewy roślin osłonowych, poplonów, wsiewek i mieszanek oraz biowęgla – Dobór roślin pochłaniających dwutlenek węgla
Produkcja zwierzęca	– Kontrola obsady zwierząt – Stosowanie dodatków paszowych – Gospodarka paszami i ich rezerwami – Poprawa warunków sanitarnych i opieki weterynaryjnej – Zarządzanie obrotem stad

Ciąg dalszy tabeli na następnej stronie.

20. W. Gleißner, *Grundlagen des Risikomanagements. Handbuch für ein Management unter Unsicherheit*, 4. Auflage, Vahlen, München 2022; W. Gleißner, *Einführung in das Risikomanagement. Umgang mit Chancen und Gefahren in Unternehmen*, Vahlen, München 2025; T. Reichmann, M. Kißler, U. Baumöl, *Controlling-Konzeption*, 9. Auflage, Vahlen, München 2017.

Tabela 2. Zbiór dostępnych działań adaptacyjnych do zmiany klimatu w rolnictwie (cd.)

Obszar działań	Instrumenty adaptacyjne
Trwałe użytki zielone	– Dobór odpowiedniejszych gatunków i odmian traw – Racjonalizacja wypasów – Kontrola erozji – Odtwarzanie zdegradowanych użytków – Nawożenie i stosowanie roślin głęboko korzeniących się
Dywersyfikacja	– Struktury produkcji i zasiewu oraz przychodów i dochodów rolniczych oraz pozarolniczych
Pożary	– Wdrożenie odpowiednich procedur – Stosowanie kombinacji elementów krajobrazu hamujących rozprzestrzenianie się pożarów – Pracowanie planów ewentualnościowych
Zarządzanie ryzykiem	– Kombinacja różnych narzędzi zarządczych – Prognozowanie zmian sytuacji w otoczeniu – Kooperacja i integracja
Po zbiorach upraw	– Redukcja strat – Ponowne używanie niewykorzystanej żywności i surowców – Racjonalizacja zapasów i kanałów sprzedaży
Procesy informacyjne i transfer wiedzy	– Poprawa edukacji – Doskonalenie funkcjonowania doradztwa i nauki rolniczej – Wdrażanie praktyk rolnictwa cyfrowego
Polityki publiczne	– Wsparcie dla technologii praktyk uodparniających na skutki zmiany klimatu – Rozwój good governance – Zmiany infrastrukturalne – Inicjowanie i wdrażanie polityk promujących dywersyfikację międzynarodowego handlu rolno-żywnościowego

Źródło: 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; P. Smith, K.V. Calvin, J. Niken et al., *Which practices co-deliver food security, climate change mitigation and desertification*, „Global Change Biology” 2020, Vol. 26, No. 3.

Stosowanie adaptacji wynika również z prostego faktu. Otóż tempo mitygacji jest z reguły powolne i narażone przy tym jeszcze na spowolnienie z racji zmian polityki klimatycznej. Czasami, jak po drugim wyborze D. Trumpa na prezydenta USA, zmiana taka może być wręcz fundamentalna. W ślad za jego administracją, która powtórnie wypowiedziała Porozumienie Paryskie z 2015 roku, wiele innych krajów również rozważa taką decyzję. Tymczasem dużo łatwiej jest pozyskać przychylność opinii publicznej i finansowanie na działania adaptacyjne. Często brakuje niestety koordynacji w stosownych wydatkach publicznych na ten cel, gdyż wciąż utrzymuje się w strukturach zarządzania państwami „silosowość”, a więc niezależność funkcjonowania ministerstw, agencji i podobnych instytucji.

Mitygacja zmiany klimatu

W rolnictwie należy także dążyć do wdrażania technologii i innowacji redukujących emisje gazów cieplarnianych. W sensie najbardziej ogólnym mogą one dotyczyć suplementów paszowych, które zmniejszą intensywność emisji metanu wytwarzanego przez zwierzęta gospodarskie, oraz praktyk agrotechnicznych, szczególnie w zakresie nawożenia roślin czy drenażu pól²¹. Gdyby, na przykład, rolnictwo UE wdrożyło szeroko model rolnictwa zwinnego klimatycznie (ang. *climate-smart agriculture*, CSA), to w 2030 roku sektor ten mógłby emitować mniej o 6% gazów cieplarnianych niż w roku 2020²².

Dużą rolę w działaniach mitygujących negatywne skutki ryzyka klimatycznego ma cały rynek technologii rolniczych, określany często jako „agritech”. Chodzi tu m.in. o biotechnologie, zmniejszające zużycie różnego typu agrochemikaliów i intensywność oraz częstość wykonywania zabiegów uprawowych. W porównaniu do tradycyjnych technologii w uprawach polowych redukcja emisji gazów cieplarnianych (GHG) zawiera się tu w przedziale od 7% do 35%²³. Przez analogię do wszystkich badań, które koncentrują się na wdrażaniu wszelkich nowoczesnych technologii i innowacji w rolnictwie, można przypuszczać, że strategia mitygacji w pierwszym rządzie jest stosowana przez większe gospodarstwa. Oczywiście hipoteza ta wymaga solidnej weryfikacji. Bardzo interesujący jest także obszar produkcji tzw. mięsa komórkowego i roślinnych zamienników mięsa tradycyjnego. Początkowo segmenty te rozwijały się bardzo powoli, później nastąpiło wyraźne przyspieszenie dynamiki rynkowej, ale teraz pojawiła się faza stabilności. Musimy zatem poczekać, czy takie mięsa rzeczywiście staną się substytutem dla mięsa tradycyjnego.

Mitygacja ma w pierwszym rządzie służyć do ograniczania przyszłej ekspozycji na negatywne skutki zmiany klimatu przez zmniejszenie emisji netto gazów cieplarnianych do atmosfery i/lub ciepła zgromadzonego w systemie ziemskim. To szersze ujęcie mitygacji przez A.B. McCarla implikuje też stosowanie geoinżynierii, a więc:

- 1) zwiększenie współczynnika odbicia promieniowania słonecznego docierającego do ziemi;
- 2) fizyczne zatrzymanie dwutlenku węgla, nazywane także jego sekwestracją.

21. B. Henderson, S.F. Havlik, P. Valin, *Policy strategies and challenges for climate change mitigation in the agriculture, forestry and other land use (AFOLU), sector*, OECD, Paris 2021.

22. World Economic Forum, *Transforming Food Systems With Farmers: A Pathway for the EU*, 2022, dostęp 7.05.2025.

23. B. Rutkowska, W. Szulc, T. Sosulski et al., *Impact of reduced tillage on CO₂ emission from soil under maize cultivation*, „Soil and Tillage Research” 2016, Vol. 180.

Dodatkowymi instrumentami mitygacji są: wytwarzanie bioenergii i biomateriałów oraz zwiększanie współczynnika albedo (zdolności odbijania światła przez powierzchnię, co redukuje jej nagrzewanie się).

Główne możliwości mitygacji negatywnych skutków zmiany klimatu w rolnictwie przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Strategie mitygujące zmianę klimatu w rolnictwie

Strategia	Mechanizm działania	Emisja CO ₂	Emisja metanu	Emisja podtlenku azotu
Zmiana struktury upraw	Sekwestracja emisji	X	X	X
Nawożenie roślin	Sekwestracja emisji	X		X
Zmiana nakładów w uprawach	Emisja	X		
Zmiana systemów uprawy	emisja	X		X
Okrywa roślinna	Sekwestracja emisji	X		X
Transformacja użytków zielonych	Sekwestracja	X		
Irygacja	Emisja	X		
Biopaliwa	Rekompensata/offset	X	X	
OZE	Rekompensata/offset	X	X	X
Zmiany obsady zwierząt	Emisja	X	X	X
Fermentacja jelitowa	Emisja	X	X	X
Wielkość stad zwierząt	Emisja		X	X
Zmiana systemu chowu	Emisja		X	X
Nawozy organiczne	Emisja		X	X
Areał uprawy ryżu	Emisja		X	
Zalesianie	Sekwestracja	X		
Lasy	Sekwestracja	X		X
Postęp technologiczny	Emisja, sekwestracja	X	X	
Manipulacje albedo	Odbicie ciepła			

Źródło: 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; P. Smith, K.V. Calvin, J. Niken et al., *Which practices co-deliver food security, climate change mitigation and desertification*, „Global Change Biology” 2020, Vol. 26, No. 3.

Ubezpieczenia tradycyjne jako instrument zarządzania ryzykiem klimatycznym

Susza jest głównym typem ryzyka fizycznego w ramach ryzyka klimatycznego, która to w największym stopniu przyczynia się do spadków plonów i produktywności w rolnictwie (FAO, 2021). Wraz z falami upałów najbardziej zagraża ona też produkcji zwierzęcej albo bezpośrednio przez stres termiczny, który pogarsza dobrostan zwierząt i redukuje ilość spożywanych przez nie pasz, co przy innych czynnikach stałych zmniejsza ich wydajności jednostkowe, albo pośrednio, gdy ogranicza zasoby paszowe. Możliwości redukcji tego ryzyka w ramach tradycyjnych ubezpieczeń są jednak ograniczone.

Straty w rolnictwie wywołane zmianą klimatu pod koniec ubiegłej dekady bieżącego wieku szacowano na 26% w relacji do strat łącznych (FAO, 2019). Jednakże w krajach rozwijających się wskaźnik powyższy wynosił aż 83%. Ocenia się, że rosnące temperatury w latach 1991–2017 zmusiły ubezpieczycieli do wypłaty rolnikom ok. 28 mld USD odszkodowań²⁴.

Ubezpieczenia upraw mogą łagodzić bezpośrednie straty finansowe ponoszone przez rolników z racji materializacji się ekstremalnych zjawisk pogodowych, ale wówczas muszą się oni liczyć ze wzrostem składek ubezpieczeniowych, co redukuje ich rentowność oraz płynność, a to z kolei ogranicza potencjał w ramach działań adaptacyjnych i mitygujących w całym instrumentarium zarządzania ryzykiem klimatycznym²⁵. Poza rosnącymi składkami ubezpieczyciele mogą wprowadzać limity swojej odpowiedzialności za szkody w majątku trwałym wywołane kataklizmami fizycznymi dla rolników nieubezpieczających swoich upraw albo w ogóle mogą odmówić objęcia ich ochroną²⁶. Sytuacja rolników może się również komplikować przez to, że większość prac wykonują oni na otwartej przestrzeni, a upały bardzo redukują ich wydajność. Oddzielnym zagadnieniem jest to, że susze i fale upałów zdecydowanie zwiększają prawdopodobieństwo pożarów lasów. Sytuacja taka miała miejsce na przykład w Australii w latach 2019–2020. Tamtejsi farmerzy otrzymali wprawdzie rekompensaty budżetowe, ale pokrywały one średnio tylko ok. 20% strat²⁷. U nas

24. N.S. Diffenbaugh, F.V. Davenport, M. Burke, *Historical warming has increased US crop insurance losses*, „Environmental Research Letters” 2021, Vol. 16, No. 8.

25. D. Carlin, M. Arshad, K. Baker, *Climate Risks in the Agricultural Sector*, UN environment programme/finance initiative, New York 2023.

26. Agriculture Economic Insights, *How does wildfire affect U.S. Agriculture*, 13.09.2021, ei.ag/2021/09/13/wildfire-smoke-impact-agriculture, dostęp 6.05.2025.

27. Ibidem.

bardzo naganną praktyką jest wypalanie traw przez niektórych rolników, co także może wywoływać pożary lasów.

Ryzyko klimatyczne, jeśli konkretyzuje się w postaci ekstremalnych zjawisk pogodowych, w literaturze przedmiotu często modeluje się jako ryzyko katastroficzne. Podejście to datuje się od pracy K. Borch'a z 1962 roku²⁸. Ten norweski ekonomista i aktuariusz swój model skonstruował w konwencji maksymalizacji użyteczności oczekiwanej zakładu ubezpieczeniowego. Prześledźmy w dużym skrócie formalną stronę jego rozumowania. Oznaczmy przez L_i losową stratę lub odszkodowanie wypłacane przez zakład i a jego kapitał przez Q_i . Niech $F_i(L_i)$ oznacza dystrybucję L_i . Funkcję użyteczności oczekiwaną możemy zapisać następująco:

$$U_i(L_i) = U(Q_i, F_i(L_i)) = \int_0^\infty U_i(Q_i - L_i) dF_i(L_i).$$

Ubezpieczyciel odznaczający się awersją do ryzyka może poprawić swój dobrobyt przez zawarcie kontraktu lub umowy zbiorowej (L^P) z innymi zakładami w branży, których liczba wynosi N . Stąd mamy:

$$L^P = (L_1^P(L_1 \dots L_N) \dots L_N^P(L_1 \dots L_N)),$$

gdzie: $L_i^P(L_1 \dots L_N) = L_i^P(\bar{L})$ jest sumą płatności ponoszonych przez ubezpieczyciela, zgodną z umową. Sama umowa musi natomiast spełniać warunek alokacji dla pełnego pokrycia zobowiązań wobec klientów.

$$\sum_{i=1}^N L_i^P(\bar{L}) = \sum_{i=1}^N L_i.$$

Umowa będzie optymalna w sensie Pareto, gdy istnieje będzie n nieujemnych stałych $k_1 \dots k_n$, spełniających poniższe równanie:

$$k_i U_i'(Q_i - L_i^P(\bar{L})) = k_1 U_1'(Q_1 - L_1^P(L)) \text{ dla wszystkich } i = 1 \dots N,$$

gdzie: U_i' oznacza krańcową użyteczność ubezpieczyciela. Warto dodać, że ostatnie równanie jest niezależne od $F_i(L_i)$. Wynika z tego dalej, że umowa optymalna nie zależy od rozkładu szkód, ale od ich łącznej wielkości.

W 2002 roku D.J. Cummins, N. Doherty i A. Lo opublikowali artykuł, który rozszerzył, uogólnił oraz zweryfikował empirycznie teoremat Borch'a²⁹. Novum polegało na wprowadzeniu neutralności ubezpieczyciela względem ryzyka i ograniczeniu jego odpowiedzialności za szkody tak, aby równocześnie można było minimalizować jego

28. K. Borch, *Equilibrium in a reinsurance market*, „Econometrica” 1962, Vol. 30, No. 3.

29. J.D. Cummins, N. Doherty, A. Lo, *Can insurers pay for the „big one”? Measuring the capacity of the insurance market to respond to catastrophic losses*, „Journal of Banking and Finance” 2002, Vol. 26, No. 2–3.

niewypłacalność oraz maksymalizować wypłaty odszkodowań. Innymi słowy, autorzy ci zajmowali się już całym rynkiem ubezpieczeniowym. W 2022 roku G. Dionne i D. Desjardins, bazując na koncepcji D.J. Cumminsa i in., wykonali nowe obliczenia empiryczne, pokazując, że przy istnieniu dobrze rozwiniętego rynku reasekuracji i alternatywnego rynku transferu ryzyka, można było dosyć dobrze poradzić sobie w USA z ryzykiem katastroficznym bez angażowania budżetu państwa³⁰.

Firmy ubezpieczeniowe mogą stosować różne strategie reagowania na ryzyko klimatyczne, z którym one i ich klienci są konfrontowani. Generalnie wyróżnia się dwie ich grupy: tradycyjne i innowacyjne³¹. Pierwsza koncentruje się na unikaniu zagrożeń, a więc wycofywaniu się z najbardziej ryzykownych sektorów, aby w ten sposób uniknąć strat³². Mitygacja z kolei polega na redukcji samego ryzyka klimatycznego, ale przez podnoszenie stawek i składek ubezpieczeniowych oraz wprowadzanie limitów swojej odpowiedzialności za szkody, a także przesuwanie części ryzyka na władze publiczne³³. Innowacyjne podejście do ryzyka klimatycznego to adaptacja do niego oraz inwestycje w doskonalsze metody analizy i predykcji za pomocą coraz bardziej wyrafinowanych technik modelowania³⁴. Z badań A. Gupty i in. wynika, że np. amerykańscy ubezpieczyciele najbardziej narażeni na ryzyko klimatyczne raczej nie są liderami adaptacji do niego, ale i tak grupa ta osiąga dobre wyniki finansowe, gdyż wyróżnia się dobrą integracją ich zarządów z głównymi specjalistami dziedzinowymi. Sytuacja ta może się jednak szybko zmienić. Z raportu firmy Bain & Company jasno wynika, że do 2030 roku tylko 25–33% szkód spowodowanych katastrofami naturalnymi prawdopodobnie będzie zrekompensowane nabywcom stosownych polis, gdyż ubezpieczyciele mają coraz większe problemy z wyceną takiego ryzyka³⁵.

Zmiana klimatyczna jest wyzwaniem dla tradycyjnych ubezpieczycieli majątkowych, gdyż ryzyko fizyczne oddziałuje głównie na ich zobowiązanie (pasywa), a ryzyko przejścia zasadniczo na aktywa, ale przecież równocześnie mogą zdarzyć

30. G. Dionne, D. Desjardins, *A reexamination of the US insurance markets capacity to pay catastrophe losses*, „Risk Management and Insurance Review” 2022, Vol. 25.

31. A. Gupta, A. Owusu, J. Wang, *Assessing and Attributing Climate Change response of U.S. Insurance Firms*, „The Geneva Papers on Risk and Insurance Issues and Practices” 2024, Vol. 49, No. 3.

32. A. Thomas, R. Leichenko, *Adaptation through insurance: lessons from the NFIP*, „International Journal of Climate Change Strategies and Management” 2011, Vol. 3, No. 3.

33. Z.A. Elum, J.B. Simonyan, *Analysis of Nigerian insurers' perceptions of climate change*, „South African Journal of Economic and Management Sciences” 2016, Vol. 19, No. 4; S.S. Groth, J. Muntermann, *An intraday market risk management approach based on textual analysis*, „Decision Support Systems” 2011, Vol. 50, No. 4.

34. W.C.H. Keskitalao, G. Vulturis, P. Scholten, *Adaptation to climate change in the insurance sector: examples from the UK, Germany and the Netherlands*, „Natural Hazards” 2014, Vol. 71, No. 1.

35. P. Skwirkowski, *Coraz mniej osób może być stać na zakup polisy*, „Rzeczpospolita” 2025, nr 115.

się obydwie te ryzyka³⁶. Trzeba wobec tego znaleźć odpowiednie narzędzia do modelowania tych ryzyk i nieliniowych zależności między nimi, co określa się jako the upper tail dependence (UTD). W istocie to nic innego niż analizowanie łącznych rozkładów brzegowych dwóch zmiennych losowych: częstości wystąpienia szkód oraz ich wielkości. Współcześnie w badaniach takich powszechnie stosuje się kopuły, czyli dystrybuanty wielowymiarowe, w których rozkłady krańcowe poszczególnych zmiennych mieszczą się w przedziale $[0, 1]$ ³⁷. Przybliżmy w dużym skrócie problemy powyższe, korzystając z pracy N. Gatzert i O. Özdiła³⁸. Zaczniemy od analizy zobowiązań ubezpieczeniowych.

Zgodnie z kolektywnym modelem ryzyka kwota roszczeń wobec zakładu ubezpieczeniowego do momentu czasu t jest sumą stochastyczną o poniższej postaci:

$$\tilde{S}_t = \sum_{i=1}^{N_t} X_i,$$

gdzie: N_t – częstość roszczeń; X_i – wielkość szkody i .

Na skutek rosnącej intensywności występowania katastrof naturalnych jako skutku postępującej zmiany klimatu obydwa ww. parametry będą rosły, co przekłada się na UTD między nimi. Żeby móc teraz modelować strukturę zależności między N i X , Gatzert i Özdił S_t zastępują kwotą roszczeń jednorocznych, ale w układzie ich kumulacji w kolejnych 52 tygodniach. Mamy wobec tego:

$$S_1 = \sum_{w=1}^{52} N_w \cdot X_w,$$

gdzie: N_w – częstość roszczeń w tygodniu w . Stąd UTD między N_w i X_w oznacza teraz, że jeśli liczba roszczeń jest wyższa w tygodniu w , to prawdopodobnie ich wielkość też jest wyższa. Zachodzi również zależność odwrotna. Opisuje je dwuwymiarowa kopuła Clayтона, C_θ^{CL} , po rotacji o 180° :

$$C_\theta^{FS}(u_1 u_2) = u_1 + u_2 - 1 + C_\theta^{CL}(1 - u_1, 1 - u_2)$$

gdzie: u_1, u_2 – odpowiedniki zmiennych losowych; N_w i X_w po całkowitoliczbowej transformacji prawdopodobieństw; F – frequency; S – severity. Siłę zależności odzwierciedla współczynnik tau Kendalla oznaczony przez ρ_τ , tj. współczynnik korelacji

36. N. Gatzert, Özdił, *The impact of dependencies between climate risks on the asset and liability side of non-life insurers*, „European Actuarial Journal” 2024, Vol. 14, No. 1.

37. P. Smith, K.V. Calvin, J. Niken et al., *Which practices co-deliver food security, climate change mitigation and desertification*, „Global Change Biology” 2020, Vol. 26, No. 3.

38. N. Gatzert, O. Özdił, *The impact of dependencies between climate risks on the asset and liability side of non-life insurers*, „European Actuarial Journal” 2024, Vol. 14, No. 1.

między zmiennymi porządkowymi. Wraz ze wzrostem ρ_c przechodzimy coraz bardziej do tzw. gruboogoniastych zależności, czyli wzrostu prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzeń ekstremalnych na krańcach rozkładów statystycznych.

Dalej Gatzter i Özdil do analizy wprowadzają możliwość skorzystania przez ubezpieczyciela pierwotnego z reasekuracji w formie kontraktu *stop-loss*, tj. takiego, który będzie ograniczał jego odpowiedzialność, zwykle wyznaczaną jako pewien procent zebranej składki, podwyższania stawek oraz składek.

Centralne miejsce w modelowaniu aktywów ubezpieczyciela pierwotnego zajmuje następujące równanie ich wartości dla jednego roku A_1 :

$$A_1 = A_0 \cdot (1 + r_1), A_0 = U_0 + p - \Pi,$$

gdzie: A_0 – aktywa na początku roku; r_1 – rentowność; W_0 – nadwyżka na początku roku; p – dochód ze składek; Π – płatność na rzecz reasekuratora.

W ostatniej części formalnej swoich rozważań Gatzter i Özdil zajmują się najpierw problemem możliwości pojawienia się nieregulowania przez zakład ubezpieczeniowy swoich zobowiązań:

$$DP = P(U_1 < 0),$$

gdzie: DP – default probability; P – prawdopodobieństwo, a później oczekiwaną nadwyżką ES:

$$ES = E[U_1].$$

Jakość i odporność założeń formalnych Gatzter i Özdil weryfikują za pomocą symulacji Monte Carlo, wyróżniając cztery scenariusze:

- 1) uporządkowanego przejścia do gospodarki neutralnej klimatycznie; jest to scenariusz bazowy, w którym nie pojawiają się żadne dodatkowe ryzyka fizyczne i przejścia;
- 2) nieuporządkowanego przejścia do ww. gospodarki;
- 3) świata jako jednej wielkiej szklarni (ang. *hot house world*);
- 4) odroczenia polityki neutralności klimatycznej nazwanego w języku angielskim *too little, too late*.

We wszystkich scenariuszach symulowano każdorazowo jeszcze podscenariusze: zależności UTD, reasekuracji i podwyższania składek ubezpieczeniowych.

Wszystkie wykonane symulacje jasno pokazały, że ubezpieczyciele majątkowi koniecznie muszą doskonalić modelowanie zdarzeń ekstremalnych na dolnym krańcu rozkładów odpowiednich parametrów z obszaru zarządzania ryzykiem i aktywami oraz pasywami. Rozważne korzystanie z reasekuracji może zredukować zagrożenia dla wypłacalności i rentowności zakładów ubezpieczeniowych. W tym samym kierunku

oddziałuje wzrost stawek i składek ubezpieczeniowych, o ile jest to możliwe prawnie i w danych warunkach konkurencji rynkowej. Na poziomie natomiast polityki klimatycznej jej łagodzenie i odraczanie w czasie może prowadzić do kumulowania się ryzyk fizycznych i przejść, których nie będzie można już zrównoważyć reasekuracją, alternatywnym transferem ryzyka i ewentualnymi podwyżkami stawek i składek.

Fizyczne ryzyko klimatyczne materializuje się już w okresach krótkich, natomiast ryzyko przejścia dopiero w średnich i długich. Obydwa te ryzyka pozostają przy tym jednak w złożonych relacjach statystycznych, ale szczególnie ważne jest ich poznanie, modelowanie i symulowanie w dolnych ogonach rozkładów odpowiednich zmiennych losowych opisujących funkcjonowanie ubezpieczycieli majątkowych. Znow powszechnie do tych celów stosuje się różnego typu kopuły, jak to rekomenduje³⁹ O. Özdil.

Ryzyko fizyczne Özdil modeluje na zasadzie prostej ekstrapolacji połączonej z założeniem stałości współczynnika zmienności, by w miarę precyzyjnie oddać zmiany częstości zagrożeń pogodowych i ich wielkości, które wpływają na oczekiwane roszczenia finansowe wobec ubezpieczycieli. Modelowanie ryzyka przejścia Özdil potraktował jako okazję do wprowadzenia nowego jego ujęcia jako stochastycznego procesu, który zorientowany jest na cel, ustalony w porozumieniu Paryskim z 2015 roku, w postaci nieprzekroczenia w roku 2050 globalnej temperatury o 2°C w porównaniu do okresu przed rewolucją przemysłową (lata 1850–1900). Prześledźmy znow w dużym skrócie formalne podejście zastosowane przez Özdila.

Punktem wyjścia jest równanie tworzenia nadwyżki przez ubezpieczyciela $U_n, n \in \{n_0, \dots, N\}$, a więc w konwencji czasu dyskretnego:

$$U_n = (1 + r_n) \cdot (U_{n-1} + \pi_n) - (S_n - S_{n-1}), U_{n_0} = E_0,$$

gdzie: E_0 – początkowy kapitał własny; π_n – dochód ze składek; r_n – zwrot/rentowność z całego portfela aktywów; $S_n - S_{n-1}$ – przyrost roszczeń w roku n .

Ryzyko przejścia odzwierciedla szoki powodowane przez klimatyczne polityki publiczne zorientowane na mitygację i adaptację, które z kolei wpływają na ryzyka ubezpieczeniowe i technologiczne innowacje w branży ubezpieczeniowej oraz proporcje w niej między tzw. *brown investments* (głównie sektory wysokoemisyjne) i *green investments* (firmy niskoemisyjne i OZE). Z gruntu nierealistyczne jest przyjmowanie założenia, że szoki te i ich następstwa są zdarzeniami krótkotrwającymi (np. dokonują się w ciągu jednego roku). W tym momencie Özdil wprowadza już ww. monotonicznie rosnący stochastyczny proces przejścia świata do gospodarki zeroemisyjnej w 2050 roku. Zapisał go w konwencji wartości oczekiwanej (operator E).

39. O. Özdil, *A multi-period model for assessing the reinforcing dependence between climate transition and physical risks of non-life insurers*, „The Journal of Risk Finance” 2025, Vol. 26, No. 1.

Gdy zakończy się on w momencie nieprzekroczenia przyrostu temperatury o 2°C w 2050 roku, mamy:

$$E[t_n - t_{n-1} | t_{n-1}] = \max\left(\frac{1 - t_{n-1}}{(N+1) - n}, 0\right), t_{n_0} = 0,$$

przy czym: t – oznacza czas, zmieniający się od n_0 do N .

Oczywiście proces ten ma granicę górną równą 1, gdy osiągnie się 100% założonego w Porozumieniu Paryskim globalnego celu klimatycznego. Stąd mamy:

$$\min(t_{\tilde{n}}, 1) = 1 \Rightarrow t_n = 1, \forall n \in \{\tilde{n}, \dots, N\},$$

gdzie: $\tilde{n}$ – rok zatrzymania procesu stochastycznego przejścia.

Symulacje, które wykonał Özdil, zorientowane były na śledzenie zmian dwóch miar z zakresu bezpieczeństwa (wypłacalności) i efektywności ubezpieczyciela majątkowego. Pierwszym było prawdopodobieństwo wystąpienia w skończonym czasie (roku) ruiny zakładu, $RP(n)$:

$$RP(n) = \left(\min_{n_0 \leq m \leq n} \{U_m\} < 0 \right).$$

Kategoria ta pokazuje prawdopodobieństwo pojawienia się ujemnej nadwyżki co najmniej raz w okresie czasu aż do roku n . Innymi słowy, uzyskujemy wtedy informację, że aktywa nie wystarczałyby do pokrycia wszystkich roszczeń.

Druga miara to oczekiwana/antycypowana nadwyżka, która później może być podstawą ustalenia rentowności zakładu:

$$ES(n) = E[U_n].$$

W symulacji Monte Carlo Özdil jako scenariusz bazowy przyjął brak procesu przejścia do celu przyrostu globalnej temperatury o maksimum 2°C do roku 2050. Scenariuszami alternatywnymi były natomiast rozkłady statystyczne przejścia: Rayleigha, wykładniczy i Pareto oraz ich kombinacje ze wzmocnionymi zależnościami statystycznymi między ryzykiem fizycznym i przejścia ustalonymi za pomocą rotowanej kopuły Clayтона. A oto dwa główne wnioski z symulacji.

1. Nieuporządkowane przejście do gospodarki nisko- i zeroemisyjnej dla ubezpieczycieli majątkowych jest poważnym wyzwaniem. Szczególnie wtedy rośnie prawdopodobieństwo ruiny/niewypłacalności. Ustalenie to jest modyfikowane przez pogłębienie zależności statystycznych między ryzykiem fizycznym i przejścia, typ rozkładu statystycznego i proporcje między brown i green investments.

Generalnie nadwyżka pieniężna natomiast mniej reaguje na zmiany parametrów symulacji.

2. Ubezpieczyciele majątkowi muszą stale aktualizować swoje modele klimatyczne i zarządzania ryzykiem, żeby precyzyjniej odzwierciedlać wpływ ekstremalnych zdarzeń pogodowych na częstość i wielkość szkód. To samo odnosi się do nadzorców i regulatorów sektora ubezpieczeniowego.

Indeksy w zarządzaniu ryzykiem klimatycznym w rolnictwie

Spółeczno-ekonomiczne podejście do ryzyka klimatycznego koncentruje się przede wszystkim na rosnącej podatności plonów na anomalie pogodowe oraz na innych kanałach negatywnego oddziaływania, takich jak ograniczenia w realizacji bieżących i przyszłych prac agrotechnicznych, wzrost ich kosztów czy pogorszenie jakości zbiorów. Na gruncie ubezpieczeń tradycyjnych pojawiała się tu kwestia, jak zwiększone ryzyka pogodowe i klimatyczne wpłyną na przyszłe stawki i składki⁴⁰. Z kolei w przypadku ubezpieczeń indeksowych ważnym wyzwaniem jest odzwierciedlenie w ich konstrukcji niezbędnej elastyczności, a więc ich dostosowanie do zmienności ekspozycji na ryzyka w poszczególnych fazach rozwojowych chronionych roślin⁴¹. Generalnie chodzi o to, by zredukować ryzyko bazowe zawarte w tego typu kontraktach⁴².

W większości krajów świata wśród ubezpieczeń upraw dominują produkty zorientowane na ochronę przychodów z poszczególnych działalności. Formalnie bazujące w krajach rozwiniętych na prognozach oczekiwanych plonów oraz na cenach futures poszczególnych ziemiopłodów. Warunkami podstawowymi zadawalającej partycypacji rolników w tym segmencie rynku, a w ślad za tym uzyskiwania wysokiej penetracji, mierzonej przede wszystkim chronionym arealem, są niskie koszty polis i znaczące stopy subsydiowania, gdy kontrakty mają charakter *all-risks*. W zamian można wprowadzić istotne ograniczenia negatywnej selekcji i doraźnej pomocy klęskowej kierowanej do rolnictwa, która podlega jednak wszystkim deformacjom powodowanym przez procesy i procedury polityczne, chociaż z drugiej strony koszty budżetowe takiej strategii tworzenia sieci bezpieczeństwa socjalnego

40. J. Tack, K. Coble, B. Barnett, *Warming temperature will likely induce higher premium rates and governments outlays for the U.S. crop insurance program*, „Agricultural Economics” 2018, Vol. 49.

41. S. Conradt, R. Finger, M. Spörri, *Flexible weather index-based insurance design*, „Climate Risk Management” 2015, Vol. 10.

42. T. Dalhaus, O. Musshoff, R. Finger, *Phenology information contributes to reduce temporal basis risk in agricultural weather index insurance*, „Scientific Reports” 2018, Vol. 8, No. 46.

i finansowego są wysokie. Nie zaskakuje zatem, że stale poszukuje się rozwiązań alternatywnych. Interesującą propozycją jest ta zaprezentowana przez E.J. Belasco, J. Coopera i V.H. Smitha⁴³.

Autorzy Ci nawiązują i rozwijają koncepcję przedstawioną już w 2008 roku przez D.N. Paulsena i B.A. Babcocka. Przyjęto w niej, że rolnikom udostępni się swobodny dostęp do subsydiowanych przez rząd federalny ubezpieczeń grupowych ochrony dochodów (ang. *the Group Risk Income Protection*, GRIP) opartych na plonach z hrabstw. Jak wiadomo, w istocie jest to rodzaj kontraktu indeksowego. W koncepcji tej założono, że całkowicie wyeliminowane zostanie pośrednictwo zakładów ubezpieczeniowych, co będzie podstawowym źródłem oszczędności kosztów dla podatników. Oczywiście pojawiają się w zamian nowe koszty, np. marketingu, raportowania, wystawiania zleceń płatniczych dla rolników, monitoringu i edukacji. W dużym stopniu procesy te można jednak zautomatyzować, wtedy oszczędność kosztowa netto będzie bezdyskusyjna. E.J. Belasco, J. Cooper i V.H. Smith idą jednak dalej – proponują, by ich rozwiązanie miało charakter trwałego programu pomocy klęskowej *ex-ante*. W ten sposób rolnicy z góry by wiedzieli, na jaką pomoc mogą liczyć w przypadku materializacji ryzyka katastroficznego oraz jakie będą warunki jej otrzymania. Równie ważne jest to, że wsparcie to trafiałoby do nich automatycznie, gdy zadziałają mechanizmy aktywujące indeks (tzw. *triggers*), i niemalże w czasie rzeczywistym, a co najmniej – tuż przed nowymi cyklami upraw. Warto zauważyć, że system taki uwalniałby politykę rolną od rozbudowy *ad hoc* i *ex-post* wsparcia, np. opartego na bardzo popularnych w Polsce preferencyjnych kredytach klęskowych i na odtwarzaniu produkcji, a także dotacjach z PROW.

Innym źródłem inspiracji dla ww. autorów były wdrożone w USA w 2008 roku trzy programy pomocy klęskowej w produkcji zwierzęcej, tj. the Livestock Forage Program (LFP), the Livestock Indemnity Program (LIP) i the Emergency Assistance for Livestock Honeybees and Farm-Raised/Fish (ELAP). Wszystkie one bazują na pomiarach parametrów pogodowych, ogólnie dostępnych w ramach the Drought Monitor Index. Obsługą programów zajmuje się federalna the Farm Service Agency (FSA) bez jakiegokolwiek udziału sfery pośrednictwa ubezpieczeniowego, co radykalnie redukuje koszty systemu oraz opóźnienia w płatnościach dla poszkodowanych rolników.

Już od pionierskiej pracy G.H. Halcrova z 1949 roku jest rzeczą wiadomą, że podstawową wadą wszelkich kontraktów indeksowych jest obecność ryzyka bazowego/resztowego, z którym muszą radzić sobie sami rolnicy. Ryzyko to najprościej można

43. J.E. Belasco, J. Cooper, H.V. Smith, *The Development of a weather-based crop disaster program*, „American Journal of Agricultural Economics” 2020, Vol. 107, No. 1.

definiować jako różnicę między ryzykiem systemowym a specyficznym. Punktem odniesienia każdorazowo jest standardowe ubezpieczenie upraw oparte na plonach z poszczególnych gospodarstw, w których nie ma zagrożenia, że szkody będą większe od sumy ubezpieczeniowej. W ujęciu bardziej zaawansowanym możemy powiedzieć, że w kontraktach tradycyjnych nie powinno się zdarzyć, iż *downside risk* (ponoszenie strat) rolnika nie będzie większe niż wspomniana suma. Z kolei w umowach indeksowych trzeba się liczyć z błędami dwóch rodzajów: typu I – występuje prawdopodobieństwo braku odszkodowania mimo poniesienia straty; typu II – istnieje prawdopodobieństwo uzyskania rekompensaty, chociaż w ogóle w gospodarstwie nie pojawiły się szkody. Dla kompletności ujęcia trzeba dodać, że każdorazowo musimy brać pod uwagę także bazowe/resztowe ryzyko ekonomiczne. To sytuacja, w której na poziomie całego gospodarstwa pozostanie pewne ryzyko, które rolnik będzie musiał sam finansować, mimo posiadania nawet pakietu polis i wdrożenia wysublimowanego systemu zarządzania całością ekspozycji na różne ryzyka. Na gruncie techniczno-ubezpieczeniowym konsekwencją istnienia tradycyjnego ryzyka bazowego są niższe pokrycia ochroną, co równoznaczne jest z wyższymi udziałami własnymi rolników czy fransyzami.

Całość procedury badawczej zastosowanej przez E.J. Belasco, J. Coopera oraz V.H. Smitha jest dosyć rozbudowana. W pierwszej fazie wykorzystuje się publicznie dostępne dane pogodowe do konstrukcji indeksów pogodowych. Następnie indeksy te posłużyły do skonstruowania prognoz plonów kukurydzy na ziarno, soi, pszenicy ozimej i bawełny na poziomie hrabstw. W dalszej kolejności za pomocą regresji i symulacji określono wpływ pogody i plonów z hrabstw na plony farm. Poniżej w sposób syntetyczny omawia się istotę powyższych faz.

Zastosowany przez E.J. Belasco, J. Coopera i V.H. Smitha indeks pogodowy należy do typu złożonego, gdyż skonstruowany został na podstawie tzw. stopodni oraz opadów atmosferycznych w okresie od pierwszego kwietnia do końca września dla hrabstw w stanach, które tworzą pięć głównych centrów produkcji ww. ziemiopłodów. Po obliczeniu średniorocznych temperatur i opadów dla lat 1950–2014, uzyskane odchylenia można było uznać za wartości typowe. Z kolei plony dla hrabstw zestawiono jako wielkości oczyszczone z trendów za pomocą regresji liniowej, by wyeliminować ich wzrosty z tytułu dokonującego się postępu technologicznego. Z kilku powodów nie można używać jednak obydwu tych parametrów pogodowych jako liniowych predyktorów plonów. Po pierwsze, między nimi występują różne interakcje. Po drugie, dla wystąpienia suszy i jej dokuczliwości znaczenie ma rozkład opadów w czasie. Po trzecie, zależności między różnymi typami pogody a plonami mogą układać się rozmaicie. Jednak szczególnie złożone są one w przypadkach suszy i innych ekstremalnych

zjawiskach pogodowych. Z kolei dla ubezpieczeń ważne są w pierwszym rzędzie negatywne odchylenia plonów od wartości średnich (downside risk).

Problem zależności między pogodą a plonami E.J. Belasco, J. Cooper i V.H. Smith rozwiązali, odwołując się do modelu zastosowanego przez T. Yu i B.A. Babcocka w ich artykule z 2010 roku, w którym operowali również indeksem pogodowym. Zgodnie z tym najpierw policzono standardowe odchylenie dla temperatury jako $STDGDD_{it} = \max(0, GDD_{it} / \text{std}(GDD_i))$. Następnie to samo zrobiono w przypadku opadów atmosferycznych $STDPRCP_{it} = \min(0, PRCP_{it} / \text{std}(PRCP_i))$, gdzie: STD – odchylenie standardowe plonów w hrabstwie i ; $STDGDD_{it}$ – standaryzowane stopniodni dla hrabstwa i oraz roku t ; $PRCP_{it}$ – suma opadów dla hrabstwa i oraz roku t . Stąd mamy następujący multiplikatywny indeks pogodowy:

$$IP_{it} = STDGDD_{it}^* (-STDPRCP_{it}).$$

Indeks ten przyjmuje wartości dodatnie, gdy temperatury są wyższe niż normalne ($GDD_{it} > 0$) i opady są mniejsze od normalnych ($PRCP_{it} < 0$). Oprócz indeksu multiplikatywnego można skonstruować jeszcze jego poniższą postać addytywną:

$$IS_{it} = STDGDD_{it} - STDPRCP_{it}.$$

Obydwa indeksy policzone zostały dla hrabstw, dystryktów rolniczych (DIP) oraz stanów (SIP).

Z uwagi na to, że pogoda w zróżnicowany sposób wpływa na plony w poszczególnych fazach rozwojowych roślin, obliczono dodatkowo jeszcze obydwie indeksy z subskryptem dolnym $G = AM =$ kwiecień – maj; $JJ =$ czerwiec – lipiec; $AS =$ sierpień – wrzesień; $GS =$ kwiecień – wrzesień. Teraz można zapisać model regresji, w którym zmienna zależna Y_{it} oznaczać będzie standardowe odchylenia plonów oczyszczonych z trendów w hrabstwie i w okresie t :

$$\begin{aligned} Y_{it} = & \beta_0 + \beta_1 IS_{it} - G_{it} + \beta_2 IS_{it} - G_{it}^2 \\ & + \beta_3 IP_{it} - G_{it} + \beta_4 IP_{it} - G_{it}^2 + \beta_7 DIP_{dt} \\ & + \beta_8 DIP_{dt}^2 + \beta_9 SIP_{st} + \beta_{10} SIP_{st}^2 + e_{it}. \end{aligned}$$

Dane empiryczne pochodziły z lat 1980–2015. Po wykonaniu całości obliczeń okazało się, że skorygowane współczynniki determinacji są ogólnie niskie. Z pewnością wynika to w dużym stopniu z faktu, że zależności między plonami a ich determinantami mają w przeważającej części charakter nieliniowy. Oszacowania parametrów regresji wykazały przy tym znaczne różnice na poziomie stanów. Analiza samych zaś indeksów pogodowych pokazała, że dla poziomu plonów rozstrzygające były opady i temperatury późną wiosną i wczesnym latem. Z kolei przy ocenie ryzyka

systemowego istotne jest posługiwanie się większymi jednostkami terytorialnymi, ponieważ lokalne różnice w skutkach jego wystąpienia mogą się wzajemnie kompensować, co w efekcie może nieco zmniejszać efekt netto suszy.

W celu określenia poziomu aktywatorów (tzw. triggerów) wypłaty odszkodowań E.J. Belasco, J. Cooper i V.H. Smith przeprowadzili symulację na poziomie reprezentatywnych farm, korzystając z propozycji J. Coopera i B. Delberga z 2014 roku. Metoda ma trzy zalety: (1) odzwierciedla zależności między plonami a cenami, co ma fundamentalne znaczenie dla ubezpieczania przychodów; (2) zachowuje korelacje przestrzenne między poziomami terytorialnymi zróżnicowań plonów; (3) pozwala określić korelacje między plonami z hrabstw i z poszczególnych farm. Odszkodowanie będzie przysługiwać wtedy, gdy oczekiwany plon na poziomie hrabstw spadnie poniżej plonu gwarantowanego na tym samym poziomie. Plon oczekiwany natomiast wynikać będzie z przedstawionych już wyżej równań regresji plonów na poziomie stanów, w których kluczowymi zmiennymi niezależnymi są różne postacie indeksów pogodowych. Wybrano przy tym dwa poziomy pokrycia ochroną w proponowanym programie, tj. 70% i 85%. Punktem odniesienia dla takich samych pokryć były już funkcjonujące w USA ubezpieczenia przychodów. Ogółem wykonano 10 tys. iteracji modelu symulacyjnego. Scenariuszem bazowym był brak jakiegokolwiek ubezpieczenia. Dodajmy, że proponowany przez E.J. Belasco, J. Coopera i V.H. Smitha program ma charakter pomocy klęskowej *ex-ante* i będzie on dostępny dla rolników za darmo.

W tabeli 4 zestawiono wyniki symulacji dla pokrycia 70% tylko dla kukurydzy na ziarno i pszenicy ozimej, gdyż te dwie uprawy mają odniesienie do polskich warunków. Z uwagi na to, że program *ex-ante* ukierunkowany jest na ochronę przed ryzykiem systemowym, a nie tym specyficznym dla pojedynczych gospodarstw, średnie subsydia i przychody z hektara są w nim niższe niż w tradycyjnych ubezpieczeniach, lecz jednocześnie wyższe niż w scenariuszu bazowym, czyli przy braku jakiegokolwiek ubezpieczenia. Niestety program indeksowy w konsekwencji przynosi mniejszą redukcję ryzyka mierzonego współczynnikiem zmienności. W przypadku zaś ryzyka bazowego zdecydowanie większym problemem jest błąd pierwszy niż drugi.

Symulacja dla poziomu ochrony wynoszącego 85% – co nie jest zaskakujące – spowodowała wzrost wysokości subsydiów i przychodów z hektara we wszystkich analizowanych scenariuszach. Zmalały też współczynniki zmienności. Bardzo interesująco ukształtowały się natomiast obydwa błędy w ramach ryzyka bazowego. Pierwszy zmalał, z wyjątkiem kukurydzy na ziarno, drugi z kolei radykalnie wzrósł w porównaniu do pokrycia 70% i w przypadku kukurydzy był nawet nieco wyższy niż błąd pierwszy.

Tabela 4. Wyniki symulacji tradycyjnego ubezpieczenia przychodów na tle programu pomocy klęskowej ex-ante i braku ubezpieczenia (scenariusz bazowy)

Uprawa	Subsydium na akr w USD	Średni przychód na akr w USD	Współczynnik zmienności przychodów na akr	Ryzyko bazowe	
				Strata, ale brak odszkodowania, typ I (%)	Brak straty, ale otrzymano odszkodowanie, typ II (%)
Kukurydza					
brak ubezpieczenia	–	720	0,30	–	–
ubezpieczenie tradycyjne	21,83	742	0,22	–	–
pomoc klęskowa	10,14	730	0,28	10,41	5,58
Pszenica ozima					
brak ubezpieczenia	–	275	0,52		
ubezpieczenie tradycyjne	16,10	291	0,38		
pomoc klęskowa	7,80	293	0,45	9,96	2,84

Źródło: Opracowano na podstawie: J.E. Belasco, J. Cooper, H.V. Smith, *The Development of a weather-based crop disaster program*, „American Journal of Agricultural Economics” 2020, Vol. 107, No. 1.

Bardzo ciekawa jest końcowa część symulacji E.J. Belasco, J. Coopera i V.H. Smitha, w której skoncentrowano się przede wszystkim na kosztach budżetowych ubezpieczeń tradycyjnych przychodów i proponowanego programu indeksowego. Ponownie ograniczmy się tu tylko do porównania kukurydzy na ziarno z pszenicą ozimą. Jak widzimy, program indeksowy dla obydwu poziomów pokryć przynosi znaczne oszczędności budżetowe, jednak w sumie wyższe dla pokrycia niższego. Oszczędności te wynikają z ubezpieczenia jedynie ryzyka systemowego przez program oraz ze spadku kosztów administracyjnych, które są pochodną prostego faktu – nie trzeba już angażować pośredników ubezpieczeniowych. Okupione jest to jednak spadkiem ochrony odchyleń in minus plonów od wartości średnich (*downside risk*). W szerszej perspektywie ryzyko bazowe oraz słabsza skuteczność programu indeksowego w ograniczaniu tzw. *downside risk* mogą sprawić, że rolnicy uczestniczący w tym programie będą uzyskiwać kredyty bankowe na mniej korzystnych warunkach. To pokazuje, że bardzo ważne jest stosowanie podejść, w których równocześnie modeluje się kwestie ubezpieczeniowe z finansowymi⁴⁴.

44. D.N. DeLay, B. Brewer, M.A. Featherstone, *The impact of crop insurance on farm financial outcomes*, „Applied Economic Perspective and Policy” 2023, Vol. 45, No. 1.

Tabela 5. Koszty budżetowe tradycyjnych ubezpieczeń przychodów na tle indeksowego programu pomocy klęskowej

Wyszczególnienie	Kukurydza na ziarno	Pszenica ozima
Średnie subsydium do składki na akr dla pokrycia 70%		
a ubezpieczenia tradycyjne	21,83	16,10
b darmowy program indeksowy	10,14	7,80
c reedukacja w % (a-b)/a	53,55	51,55
koszt ubezpieczeń tradycyjnych	2,97	1,14
koszt programu indeksowego	1,06	0,42
oszczędność kosztów	1,92	0,72
zmiana w ochronie downside risk	-43	-55
Średnie subsydium do składki na akr dla pokrycia 85%		
a ubezpieczenia tradycyjne	26,65	16,58
b darmowy program indeksowy	17,41	10,33
c reedukacja w % (a-b)/a	34,67	37,70
koszt ubezpieczeń tradycyjnych	3,14	1,02
koszt programu indeksowego	1,82	0,56
oszczędność kosztów	1,33	0,46
zmiana w ochronie downside risk	-46	-44

Źródło: Opracowano na podstawie: J.E. Belasco, J. Cooper, H.V. Smith, *The Development of a weather-based crop disaster program*, „American Journal of Agricultural Economics” 2020, Vol. 107, No. 1.

Podsumowanie

Zmiana klimatu jest źródłem fizycznego ryzyka klimatycznego. Może ona wielokanałowo negatywnie wpływać na rolnictwo, szczególnie gdy zmienność parametrów klimatycznych i pogodowych owocuje pojawieniem się zdarzeń ekstremalnych. W sensie statystycznym generują one rozkłady tychże parametrów, które opisuje się za pomocą narzędzi tzw. gruboogoniastych. Mierzone w ten sposób ryzyko ma charakter czysty. Równolegle zmiana klimatyczna może stwarzać także warunki bardziej sprzyjające prowadzeniu działalności rolniczej. Te odchylenia in plus mieszczą się w kategorii ryzyka spekulatywnego. Należy zatem zarządzać obydwojema rodzajami ryzyka, łącząc je z innymi kluczowymi zagrożeniami w rolnictwie – katastroficznym i systemowym – oraz z działaniami ukierunkowanymi na wzmacnianie odporności gospodarstw i całego sektora rolnego. Podstawowym instrumentem zarządzania jest tu adaptacja.

Drugim źródłem ryzyka klimatycznego jest polityka klimatyczna oraz ściśle powiązana z nią polityka energetyczna, którą w artykule jednak nie zajmowano się, a więc chodzi tu o tzw. ryzyko przejścia. Jego źródłem są szoki wywoływane zarówno przez zbyt restrykcyjną politykę klimatyczną, jak i wadliwie skonstruowaną, nieprecyzyjnie adresowaną i nie na czas aktualizowaną lub w ogóle wycofywaną, a także jej brak albo odsuwanie w czasie, m.in. pod naciskiem lobbystów i populistów. Na wysyłane bodźce polityczne gospodarstwa domowe i przedsiębiorstwa reagują w różny sposób, co stanowi wtórne źródło ryzyka przejścia. Podstawowym instrumentem zarządzania tym ryzykiem klimatycznym jest mitygacja emisji gazów cieplarnianych. Jej skuteczność wprost determinowana jest jednak decyzjami i działaniami na poziomie globalnym, ponieważ taki charakter ma przecież zmiana klimatu. Z chwilą ponownego wybrania D. Trumpa na prezydenta USA i po protestach rolników UE dotyczących Zielonego Ładu bardzo radykalnie zmaleły szanse na wdrożenie takiej polityki.

Ryzyko klimatyczne fizyczne można próbować przenieść z rolnictwa na tradycyjnych ubezpieczycieli majątkowych. Nie jest to jednak łatwe z uwagi na ww. jego charakterystyki gruboogoniaste oraz często ograniczony potencjał jego przyjmowania przez sektor ubezpieczeniowy, wsparty nawet koasekuracją, reasekuracją i retrocesją oraz instrumentami alternatywnego transferu ryzyka. Ubezpieczenia indeksowe mogą być w przyszłości wprawdzie remedium, ale wcale nie są one prostsze od strony konstrukcyjnej i wygenerowania znaczącego i trwałego (niewspieranego subsydiami) popytu po stronie rolników. Innym rozwiązaniem są produkty indeksowe z wbudowanym komponentem pomocy klęskowej *ad hoc* i *ex-ante*. Przedstawiono przykład takiego rozwiązania, które wciąż jest rozważane w USA.

Bibliografia

- Agriculture Economic Insights**, *How does wildfire affect U.S. Agriculture*, 13.09.2021, [ei.ag/2021/09/13/wildfire-smoke-impact-agriculture](https://www.ei.ag/2021/09/13/wildfire-smoke-impact-agriculture), dostęp 6.05.2025.
- Belasco J.E., Cooper J., Smith H.V.**, *The Development of a weather-based crop disaster program*, „American Journal of Agricultural Economics” 2020, Vol. 107, No. 1.
- Borch K.**, *Equilibrium in a reinsurance market*, „Econometrica” 1962, Vol. 30, No. 3.
- Boston Consulting Group and University of Cambridge**, *The Economic Case for Climate Investment is Clear, but Not Bradly Understood*, 2025.
- Cardona O.D., van Alst K.M., Birkmann J. et al.**, *Determinants of risk: exposure and vulnerability*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, New York, 2012.
- Carlin D., Arshad M., Baker K.**, *Climate Risks in the Agricultural Sector*, UN environment programme/finance initiative, New York 2023.

- Chandra V., Padhy Ch., Mahapatro S. et al.**, *Climate risk assessment and management in agriculture: An overview*, „International Journal of Agricultural Extension and Social Development” 2024, Vol. 7, No. 2.
- Cheng M.C.**, *Three Essays on the U.S. Agriculture Under Climate Change: A Crop – Livestock Framework*, PhD thesis, College Station, TX, Texas A&M University, 2024, dostęp 1.06.2025.
- Climate Change Service**, *European State of the Climate Report 2024 (2025)*, Copernicus Europe’s eyes on Earth, dostęp 9.06.2025.
- Conradt S., Finger R., Spörri M.**, *Flexible weather index-based insurance design*, „Climate Risk Management” 2015, Vol. 10.
- Cummins J.D., Doherty N., Lo A.**, *Can insurers pay for the „big one”? Measuring the capacity of the insurance market to respond to catastrophic losses*, „Journal of Banking and Finance” 2002, Vol. 26, No. 2–3.
- Dalhaus T., Musshoff O., Finger R.**, *Phenology information contributes to reduce temporal basis risk in agricultural weather index insurance*, „Scientific Reports” 2018, Vol. 8, No. 46.
- Danglot B., Vera-Perez O., Yu 2. et al.**, *A snowballing literature study on test amplification*, „Journal of Systems and Software” 2019, Vol. 157.
- DeLay D.N., Brewer B., Featherstone M.A.**, *The impact of crop insurance on farm financial outcomes*, „Applied Economic Perspective and Policy” 2023, Vol. 45, No. 1.
- Diffenbaugh N.S., Davenport F.V., Burke M.**, *Historical warming has increased US crop insurance losses*, „Environmental Research Letters” 2021, Vol. 16, No. 8.
- Dionne G., Desjardins D.**, *A reexamination of the US insurance markets capacity to pay catastrophe losses*, „Risk Management and Insurance Review” 2022, Vol. 25.
- Elum Z.A., Simonyan J.B.**, *Analysis of Nigerian insurers’ perceptions of climate change*, „South African Journal of Economic and Management Sciences” 2016, Vol. 19, No. 4.
- Environmental Defense Fund**, *Strategies to address climate risks and capture opportunities. A guide for agricultural finance institutions*, Deloitte, 2023, dostęp 15.05.2025.
- European Environment Agency**, *European Climate Risk Assessment Report 01(2024)*, dostęp 9.06.2025.
- Frei S.**, *Effect of Climate Change on Risk Management Practices in Agriculture Switzerland*, „International Journal of Modern Risk Management” 2024, Vol. 2, No. 2.
- Gatzert N., Özdlil O.**, *The impact of dependencies between climate risks on the asset and liability side of non-life insurers*, „European Actuarial Journal” 2024, Vol. 14, No. 1.
- Gleißner W.**, *Grundlagen des Risikomanagements. Handbuch für ein Management unter Unsicherheit*, 4. Auflage, Vahlen, München 2022.
- Gleißner W.**, *Einführung in das Risikomanagement. Umgang mit Chancen und Gefahren in Unternehmen*, Vahlen, München 2025.
- Grochowina N.**, *Climate Risk Management in Dryland Agriculture: Technological Management and Institutional Options to Adoption*, Springer, 2023, dostęp 5.06. 2025.
- Groth S.S., Muntermann J.**, *An intraday market risk management approach based on textual analysis*, „Decision Support Systems” 2011, Vol. 50, No. 4.

- Guff M., *The global temperature may be even higher than we thought*, „New Scientist” 2025, 4. June, dostęp 9.06.2025.
- Gupta A., Owusu A., Wang J., *Assessing and Attributing Climate Change response of U.S. Insurance Firms*, „The Geneva Papers on Risk and Insurance Issues and Practices” 2024, Vol. 49, No. 3.
- Henderson B., Havlik S.F., Valin P., *Policy strategies and challenges for climate change mitigation in the agriculture, forestry and other land use (AFOLU), sector*, OECD, Paris 2021.
- Jalali S., Wohlin C., *Systematic Literature Studies: Database Searches vs. Backward Snowballing*, Proceedings International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering, 2014.
- Keskitalao W.C.H., Vulturis G., Scholten P., *Adaptation to climate change in the insurance sector: examples from the UK, Germany and the Netherlands*, „Natural Hazards” 2014, Vol. 71, No. 1.
- Kożuchowski K. (red. nauk.), *Meteorologia i Klimatologia*, Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2012.
- Kouadio L., Rahn E., *Agricultural climate risk management and global food security: Recent progress in South-East Asia* [w:] *Evaluating climate change impacts*, V. Lyubchich et al., New York, Chapman and Hall/CRC, 2020, dostęp 5.06.2015.
- Malhi G.S., Kaur M., Kaushik P., *Impact of Climate Change on Agriculture and Its Mitigation Strategies: A Review*, „Sustainability” 2021, Vol. 13, No. 3.
- 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.
- Ortiz-Bodea A., Ault T.R., Carrillo C.M. et al., *Anthropogenic Climate Change Has Shoved Global Agricultural Productivity Growth*, „Nature Climate Change” 2021, Vol. 11, No. 4.
- Özdil O., *A multi-period model for assessing the reinforcing dependence between climate transition and physical risks of non-life insurers*, „The Journal of Risk Finance” 2025, Vol. 26, No. 1.
- Prandecki K., Wrzaszcz W., *Uwarunkowania środowiskowo-klimatyczne rozwoju rolnictwa* [w:] *Środowiskowo-klimatyczne uwarunkowania rozwoju rolnictwa i obszarów wiejskich w Polsce w latach 2004–2030*, red. nauk. W. Wrzaszcz, M. Wigier, Warszawa, IERiGŻ PIB, 2024.
- Ramasamy S., *Climate risks: Assessment and management in agriculture*, FAO, 2023, dostęp 19.05.2025.
- Reichmann T., Kißler M., Baumöl U., *Controlling-Konzeption*, 9. Auflage, Vahlen, München 2017.
- Rutkowska B., Szulc W., Sosulski T. et al., *Impact of reduced tillage on CO₂ emission from soil under maize cultivation*, „Soil and Tillage Research” 2016, Vol. 180.
- Shulela P.R., Skea J. et al. (ed.), *Intergovernmental Panel on Climate Change 2023. Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, New York, dostęp 1.06.2025.
- Siheem E., *Management of Climate Risks and Its Effects on Agricultural Productivity: Evaluating the Impacts of Government Policy*, „International Journal of Food and Agricultural Economics” 2019, Vol. 7, No. 3.
- Skwirkowski P., *Coraz mniej osób może być stać na zakup polisy*, „Rzeczpospolita” 2025, nr 115.
- Smith P., Calvin K.V., Niken J. et al., *Which practices co-deliver food security, climate change mitigation and desertification*, „Global Change Biology” 2020, Vol. 26, No. 3.
- Vrije Universiteit Amsterdam, University Library, *Snowball method-research skills-advanced-libGuides*, <https://libguides.vu.nl/c.php>, dostęp 7.02.2025.

- Surmaini E., Agus F.**, *Climate Risk Management for Sustainable Agriculture in Indonesia: A Review*, „Journal of Pertanian” 2020, Vol. 39, No. 1.
- Synadino A.**, *Physical risk impact measurement for banks*, 2025, dostęp 14.05.2025.
- Tack J., Coble K., Barnett B.**, *Warming temperature will likely induce higher premium rates and governments outlays for the U.S. crop insurance program*, „Agricultural Economics” 2018, Vol. 49.
- The World Bank**, *Agricultural Risk Management in the Face of Climate Change*, Washington D.C., 2015.
- Thomas A., Leichenko R.**, *Adaptation through insurance: lessons from the NFIP*, „International Journal of Climate Change Strategies and Management” 2011, Vol. 3, No. 3.
- Wnuk K., Garropalli T.**, *Knowledge Management in Software Testing: A Systematic Snowball Literature Review*, „e-Informatics Software Engineering Journal” 2018, Vol. 12, No. 1.
- Wohlin C.**, *Guidelines for Snowballing in Systematic Literature Studies and Replication in Software Engineering*, Technical Report EBSE-2007–01, School of Computer Science and Mathematics, Keele University, 2007.
- Wohlin C., Kalinowski M., Romero Felizardo K. et al.**, *Successful combination of database search on snowballing for identification of primary studies in systematic literature studies*, „Information and Software Technology” 2022, Vol. 147.
- World Economic Forum**, *Transforming Food Systems With Farmers: A Pathway for the EU*, 2022, dostęp 7.05.2025.

otrzymano: 30.06.2025
zaakceptowano: 26.08.2025

