



# Gospodarcze koszty suszy dla polskiego rolnictwa

Cytowanie: Markiewicz, J., Ogórek, S. (2022), *Gospodarcze koszty suszy dla polskiego rolnictwa*,  
Working Paper, nr 3, Polski Instytut Ekonomiczny, Warszawa.

Warszawa, październik 2022 r.

Autorzy: Jan Markiewicz, Szymon Ogórek

Redakcja merytoryczna: Paweł Śliwowski

Redakcja: Jakub Nowak, Małgorzata Wieteska

Projekt graficzny: Anna Olczak

Skład i łamanie: Tomasz Gałazka

Współpraca graficzna: Sebastian Grzybowski

Polski Instytut Ekonomiczny

Al. Jerozolimskie 87

02-001 Warszawa

© Copyright by Polski Instytut Ekonomiczny

ISBN 978-83-66698-96-3

# Spis treści

Kluczowe liczby . . . . .	4
Kluczowe wnioski. . . . .	5
Wprowadzenie . . . . .	6
1. Przegląd literatury. . . . .	7
2.1. Dane. . . . .	11
2. Metodologia . . . . .	11
2.2. Model regresji . . . . .	14
3.1. Wyniki modelowania . . . . .	15
3. Rezultaty. . . . .	15
3.2. Analiza scenariuszowa . . . . .	19
4. Dyskusja i ograniczenia analiz . . . . .	21
5. Rekomendacje . . . . .	23
Bibliografia . . . . .	25
Spis tabel, map i wykresów . . . . .	28

# Kluczowe liczby

**6,5 mld PLN**

mogą być wartość plony, które tracimy przeciętnie co roku w wyniku susz

**10 mld PLN**

mogły być wartość plony utracone z powodu niedoboru wody w 2006 r.

**o 20 proc.**

mogłyby być większe plony zbóż przy lepszym nawodnieniu pól

**o 30 proc.**

mogłyby być większe plony roślin bulwiastych

**7 proc. plonów**

tracimy przez wahania temperatur

**co najmniej 14 proc.**

plonów będziemy traciłi, jeśli średnia temperatura wzrośnie o 2°C

**ponad 50 proc. plonów**

traciliśmy w niektórych latach

# Kluczowe wnioski

- **W ostatnich kilkunastu latach plony polskiego rolnictwa były istotnie mniejsze przez wpływ susz.** Przeciętna roczna suma strat w trzech kategoriach upraw (bulwiaste, zboża, oleiste) oszacowana przy użyciu wskaźnika klimatycznego niedoboru wody wynosi ok. 3,9 mld PLN, natomiast straty oszacowane z użyciem znormalizowanego różnicowego wskaźnika wegetacji (NDVI) mogły wynieść nawet 6,5 mld PLN (według przeciętnych cen bieżących w skupach w danym województwie). Przedstawione szacunki ograniczają się do upraw rolnych, nie obejmują całości szkód środowiskowych i gospodarczych wyrządzanych przez susze.
- **Przeciętnie największe straty odnotowaliśmy w województwie wielkopolskim, a najmniejsze w warmińsko-mazurskim.** Nie jest to zaskakujące: wielkopolskie to duży obszar i ma znaczny areał upraw, a jednocześnie okazał się bardzo suchy według obydwu zmiennych ekologicznych. Z kolei warmińsko-mazurskie według obydwu miar jest województwem najbardziej wilgotnym.
- **Ubytki w plonach rolnych zmniejszają dochody rolników i powodują wzrost cen żywności, a więc w konsekwencji dotyczą wszystkich mieszkańców Polski.** Znajomość finansowego szacunku kosztów suszy w rolnictwie może podnieść świadomość zagrożeń niesionych przez suszę.
- **Susze nie wynikają jedynie z ilości opadów, ale również ze sposobu zarządzania wodą.** Kluczowym pojęciem jest tu retencja, czyli zdolność terenu do zatrzymywania spływu wody. Retencję można poprawić przez ochronę lasów, naturalnych zbiorników wodnych i mokradel oraz zaprzestanie nadmiernej melioracji.
- **Bez odpowiednich działań zapobiegawczych koszty susz będą coraz większe.** Wzrost temperatur wynikający ze zmian klimatu spowoduje zintensyfikowanie problemów: zwiększy parowanie i częstotliwość skrajnych zjawisk pogodowych. Konieczne są działania adaptacyjne, m.in. odpowiednie zarządzanie zasobami wody, jak również dobór upraw.

# Wprowadzenie

Tegoroczna susza w wielu miejscach na świecie osiągnęła rekordowe rozmiary. Przykładem są między innymi doniesienia o rekordowej suszy we Francji, historycznie niskim stanie wód rzek chińskich czy suszy w Stanach Zjednoczonych, przyczyniającej się do najniższych zbiorów kukurydzy

**Zmiana klimatu i jej następstwa dotyczą wielu dziedzin: środowiska naturalnego, naszego zdrowia, dostępu do wody pitnej, a także wyników gospodarczych wielu państw na świecie. Jednym ze skutków zmian klimatu jest coraz większe zagrożenie suszą i wynikającymi z niej stratami ekonomicznymi.**

(i wielu innych upraw) od wielu lat. Wydarzenia te – związane z niszczącymi falami gorąca, a także obniżanie się poziomu rzek, wysokie ceny żywności czy wzrost zainteresowania stanem polskiej gospodarki wodnej wobec katastrofy nad Odrą – skłaniają do refleksji nie tylko nad przyrodniczymi, ale również gospodarczymi konsekwencjami suszy.

Celem tego opracowania jest oszacowanie kosztów susz dla rolnictwa w Polsce, a konkretnie wartości spadku plonów rolnych, który można powiązać z suszami.

Ubytki w plonach rolnych są jednym z wielu rodzajów szkód wyrządzanych przez susze: zmniejszają dochody rolników i powodują wzrost cen żywności, a więc w konsekwencji dotyczą wszystkich

mieszkańców Polski. Znajomość finansowego szacunku kosztów suszy w rolnictwie może podnieść świadomość zagrożeń niesionych przez suszę.

W pierwszym rozdziale zamieściliśmy przegląd literatury, w którym obrazujemy skalę zagrożenia niesionego przez suszę, na przykładzie publikacji powstałych z podobnym zamiarem co nasza. Przedstawiamy definicje, którymi będziemy się posługiwać i podstawy teoretyczne potrzebne do zrozumienia zjawiska suszy. Drugi rozdział poświęcamy przyjętej metodologii: opisujemy wykorzystane dane geosatelitarne, omawiamy wskaźniki NDVI i CWD użyte jako zmienne objaśniające i tłumaczymy ich przydatność do tego typu analizy. W trzecim rozdziale prezentujemy wyniki, to znaczy straty plonów w podziale na poszczególne województwa, lata i kategorie. Przedstawiamy różne agregacje, szczegóły oszacowań parametrów modeli. Przeprowadzamy także analizę scenariuszową, prezentującą możliwy wzrost strat plonów w przypadku wzrostu przeciętnych temperatur.

Opracowanie kończymy wskazaniem ograniczeń metodologii, zamieszczamy również rekomendacje. W zaleceniach podajemy odniesienia do szerszych opracowań i publikacji, zarówno PIE, jak i innych instytucji publicznych, które określają dostępne narzędzia mogące zmniejszyć narażenie plonów i krajów na skutki niedoboru wody.

# 1. Przegląd literatury

Szacuje się, że w latach 1970–2019 katastrofy pogodowe i klimatyczne przyczyniły się do śmierci dwóch milionów ludzi na całym świecie oraz do strat pieniężnych w wysokości 3,64 bln USD (*WMO atlas of mortality...*, 2021). Co więcej, ryzyko częstszego występowania zagrożeń pogodowych oraz klęsk żywiołowych a także skala skutków tych zjawisk dla życia ludzi wzrastają z roku na roku, wraz ze stopniowym wzrostem średniej temperatury powietrza na Ziemi.

Jednym z poważniejszych zagrożeń pod względem kosztów i bezpieczeństwa żywieniowego jest susza. W najprostszy sposób definiuje się suszę jako wydłużony okres bez opadów (*Handbook of Drought Indicators and Indices*, 2016), jednak podkreśla się problem z brakiem jednoznacznej definicji. Susza jest zjawiskiem okresowym, tzn. stanowi odstępstwo względem normalnych warunków klimatycznych danego regionu.

Wyróżnia się obszary o mniejszym lub większym wyekspozowaniu na ryzyko wystąpienia suszy, jednak w niemal każdej strefie klimatycznej trzeba liczyć się z jej występowaniem, więc można określić ją jako zjawisko poniekąd typowe oraz powtarzalne. Warto podkreślić rosnącą częstotliwość występowania oraz skalę oddziaływania tego zjawiska. IPCC zaznacza, że postępująca zmiana klimatu przekłada się na częstsze występowanie susz. Pewność co do tego wpływu zwiększa się z kolejnymi odślonami raportu (IPCC, 2018). Dalszy wzrost średniej temperatury powietrza będzie prowadzić do zintensyfikowania zjawiska suszy oraz jej skutków, w tym skutków natury ekonomicznej.

Susza należy do powoli postępujących katastrof (*slow-onset disasters*). Zakłada się, że tego typu zjawiska przyczyniają się do poważniejszych strat, mają większy zasięg i dotyczą większą część populacji niż bardziej spektakularne i nagłe katastrofy (*sudden-onset disasters*), takie jak huragany, burze czy nagłe powodzie, choć media częściej donoszą o tych drugich (Enenkel i in., 2014). Do następstw procesów długofalowych, w tym m.in. suszy, można się przygotować i ostrzegać z odpowiednio dużym wyprzedzeniem.

Wyróżnia się kilka rodzajów suszy. Są one współzależne i niejako występują po sobie kaskadowo. Podstawowym rodzajem jest susza atmosferyczna (meteorologiczna), która powstaje w wyniku długotrwałego braku opadu atmosferycznego. Długotrwały brak opadu prowadzi do suszy glebowej – szczególnie istotnej z punktu widzenia rolnictwa. Niedostateczna wilgotność gleby stanowi zagrożenie dla rolnictwa, ponieważ ogranicza rozwój roślin i wpływa na zmniejszenie wielkości upraw. Wyróżnia się także suszę hydrologiczną, czyli niski stan wody w rzekach oraz jeziorach, oraz hydrogeologiczną – niedobór wody w zasobach podziemnych (www1). Istnieje również zjawisko suszy socjoekonomicznej, czyli braku wystarczających zasobów wodnych dla ludności.

Zmianą klimatu w największym stopniu dotknięte zostaną regiony z niższych szerokości geograficznych, a więc przeciętnie o niższym dochodzie, tak zwanego „globalnego Południa”, ale skutki są kosztowne także dla państw uprzemysłowionych i o wysokim dochodzie (Mohaddes i in., 2022), w tym również dla Polski.

Według podsumowania susz European Drought Centre (www7), najbardziej rozległe susze klimatologiczne w Europie (w latach 1958-2009), obejmujące obszar ponad 4 mln km<sup>2</sup> wystąpiły w 1972 r. (Europa Północna i Wschodnia), w latach 1975-1976 (Europa) i 2003 r. (Europa). Szczególnie dotkliwa susza wystąpiła w 1983 r. w Afryce. Szacuje się, że z jej powodu śmierć poniosło

300 tys. osób w Etiopii i 150 tys. w Sudanie (*WMO atlas of mortality...*, 2021). Szacowana liczba ofiar tej suszy jest największa w historii wszystkich naturalnych katastrof na Ziemi od początku obserwacji.

Skutki suszy dotyczą wielu sektorów. Najbardziej oczywistym następstwem są straty ekonomiczne sektora rolniczego wynikające z długotrwałego deficytu wilgotności w glebie. Rolnictwo jest szczególnie narażone na częstsze występowania zjawisk ekstremalnych, w tym suszy (obok „opadów nawalnych”). W Polsce szacuje się, że blisko 13,5 proc. powierzchni obszarów rolnych i leśnych jest nią silnie zagrożonych, a blisko 1/4 jest zagrożona ekstremalnie (Rączka i in., 2020).

Koszty suszy glebowej bezpośrednio ponoszą przede wszystkim rolnicy, a pośrednio wszyscy konsumenci, poprzez wyższe ceny żywności. Poza wzrostem cen, susze wpływają na jakość odżywczą upraw oraz zwiększają ryzyko pojawienia się szkodników i chorób roślin (www8).

Mimo że największy koszt suszy dotyczy działalności rolniczej, to nie należy zapominać, że dotyczy ona też innych sektorów gospodarki (np. energetyka, turystyka, ogrodnictwo). Przykładowo, wyjątkowo suche tegoroczne lato na południu Europy sprawiło, że zasoby wodne były najniższe od lat, a elektrownie wodne notowały spadek produkcji energii o 1/3 względem 2021 r. (www9). Koszty związane z suszą dzieli się także na bezpośrednie i pośrednie (lub odpowiednio pierwotne i wtórne). Do tych pierwszych należą ubytki w plonach lub w powierzchniach upraw i pastwisk, a więc są to straty fizyczne i łatwo obserwowalne. W wyniku poniesionych strat bezpośrednich pojawia się szereg kosztów pośrednich i wtórnych, które wynikają ze złożonych i wielostronnych połączeń biznesowych oraz szoków podażowych na rynku produktów spożywczych. Susza objawia się również w zwiększonej częstotliwości pożarów oraz w zmniejszonych zapasach wód gruntowych, z których pochodzi większość wody w polskich kranach i kanalizacji. Cenę utrudnionego wydobycia ponoszą samorządy.

### Monitoring suszy

W Polsce monitoring suszy hydrologicznej jest prowadzony przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy (www2), suszy glebowej – Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy (www3), natomiast suszy hydrogeologicznej – Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy (www4).

Monitoringiem suszy w skali całego kontynentu zajmuje się European Drought Observatory (www5) – jednostka w tym celu powołana przez Komisję Europejską. Na witrynie EDO można również podejrzeć stan suszy w ujęciu globalnym (www6).



Poza gospodarczymi konsekwencjami suszy należy również pamiętać o kosztach środowiskowych: susza jest katastrofą ekologiczną dla wszystkich organizmów w ekosystemie oraz konsekwencjach społecznych, jak zjawisko migracji klimatycznych (www10) i powiązanych z nimi wzrostem napięć społecznych. Wśród dotychczasowych szacunków kosztów susz i zmian klimatycznych można wyróżnić:

**Tabela 1. Przykładowe publikacje naukowe na temat szkód wyrządzanych przez susze**

Miejsce	Badany okres	Metoda szacunku	Skala strat	Źródło
Dorzecze rzeki Ebro (Hiszpania)	2005	Model <i>input-output</i>	Łączny koszt 482 mln EUR, utrata ponad 11 tys. miejsc pracy	Pérez y Pérez, Barreiro-Hurlé (2009).
Hiszpania (cała)	2013	Analiza scenariuszowa <i>input-output</i>	Koszty pośrednie 32-57 proc. strat bezpośrednich	Jenkins (2013).
Uganda	2015	Regresja plonów wobec zmiennych klimatycznych i hydrologicznych	10-40 proc. strat plonów w 2015 r., zależnie od rodzaju upraw i scenariusza wzrostu temperatur	Markandya, Cabot-Venton, Beucher (2015).
Włochy	2001-2016	Użycie jednostki fAPAR do regresji szacującej spadek plonów i wprowadzenie straty jako szoku do regionalnego modelu równowagi ogólnej	1,75 mld EUR w suchych latach, z czego 40 proc. poza rolnictwem	García-León, Standardi, Staccione (2021).
Stany Zjednoczone	1963-2016	Regresja PKB i zatrudnienia wobec odchyłeń od średnich wartości zmiennych klimatycznych dla poszczególnych sektorów gospodarki w różnych amerykańskich stanach	Niedobory opadów w badanym okresie potrafiły zmniejszyć dochody sektora rolniczego nawet o 50 proc.	Mohaddes i in. (2022).
Kraje Sahelu	1970-2000	Regresja parametrów funkcji produkcji względem opadów, ich rozproszenia i temperatur	Zmiany klimatu mogą szkodzić plonom nie tylko przez zwiększenie temperatur, ale również przez mniej równomierne rozłożenie opadów	Boubacar (2010).

Źródło: opracowanie własne PIE.

Do oceny konsekwencji suszy stosowane są różne metodyki, co z kolei prowadzi do zróżnicowanych wyników. W dotychczasowej literaturze stosowano także niejednakowe wskaźniki suszy i powszechnie nie ma zgody, który z wskaźników suszy cechuje się największą efektywnością w szacowaniu kosztów suszy (Bachmair i in., 2016). Różne wskaźniki są również uwarunkowane zróżnicowaniem sektorów gospodarki, dla których prowadzone są analizy. Badania empiryczne różnią się także zakresem analizowanych kosztów i mogą obejmować bezpośrednie koszty suszy (szacowanie wpływu na straty w produkcji rolniczej), ale również obejmować więcej sektorów gospodarki i uwzględniać również koszty pośrednie.

Wśród polskich badań warto wymienić prace prof. Łabędzkiego, od kilkadziesiąt lat zajmującego się monitorowaniem i kwantyfikowaniem susz i ich szkód (Łabędzki, 1992; 1997; 2002) oraz innych autorów, którzy wcześniej podnosili ten problem (Kaca, Stąpel, Śniadowski, 1993).

Dużym ułatwieniem w monitorowaniu suszy i szacowaniu jej wpływu jest rozwój nowoczesnych narzędzi do teledetekcji satelitarnej. Pozwoliło to na opracowanie szeregu wskaźników suszy wykorzystujących dane satelitarne, jak np. wykorzystywany w niniejszej publikacji Normalized Difference Vegetation Index (NDVI).

# 2. Metodologia

Od strony metodologicznej inspirowaliśmy się publikacją zawierającą szacunki dotyczące kosztów susz we Włoszech (García-León, Standardi, Staccione, 2021), jednak używamy innych zmiennych. Naszym celem było oszacowanie kosztów susz dla rolnictwa mierzonych spadkiem plonów kilku grup produktów rolnych. Zastosowana metodologia polega na użyciu zmiennych geosatelitarnych wskaźników ekologicznych do wytłumaczenia zmienności kilku rodzajów plonów rolnych, a następnie wykorzystaniu oszacowań wpływu tych zmiennych do określenia sumarycznych strat powodowanych przez niedobór wody na polach uprawnych na poziomie rocznym i wojewódzkim, dla trzech grup upraw: zbóż, roślin bulwiastych (ziemniaków i buraków cukrowych) oraz roślin oleistych (rzepaku, rzepiku i słonecznika).

## 2.1. Dane

Warto podkreślić, że w opisanych niżej analizach, wśród zmiennych objaśniających modelu nie ma danych o opadach. Powodem tej decyzji jest to, że o ile Polska nie ma niższych opadów niż większość krajów w naszej strefie klimatycznej, to problematyczną pozostaje kwestia retencji wodnej, której wpływ nie jest zawarty w informacji o wielkości opadów. W związku z tym użyto zmiennych zastępczych:

- znormalizowany różnicowy wskaźnik wegetacji (Natural Difference Vegetation Index, NDVI),
- klimatyczny niedobór wody (Climatic Water Deficit, CWD).

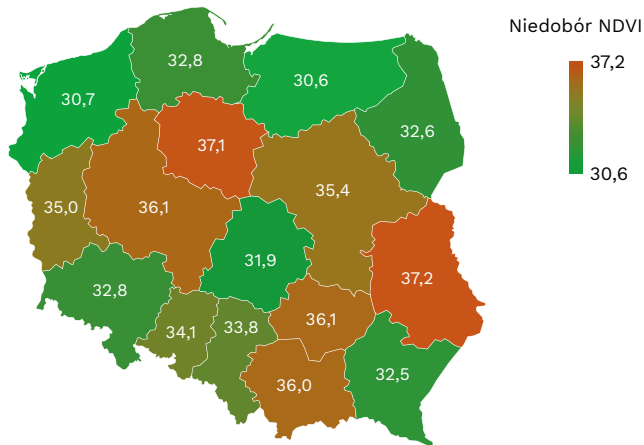
Obie te zmienne służą do badania nasycenia warstwy powierzchniowej gleby wodą z nieco innej perspektywy. NDVI jest wskaźnikiem mierzonym satelitarnie, pokazującym stosunek wchłoniętego promieniowania słonecznego w spektrum widzialnym i bliskim podczerwonym do całego spektrum światła czerwonego.

Jest używany do badania zdrowia i bujności roślinności zielonej, ponieważ liście roślin fotosyntezujących pochłaniają światło w innym spektrum niż ziemia i rośliny przy niedoborze wody. Jego skuteczność w szacowaniu plonów jest szeroko udokumentowana (Sruthi, Aslam, 2015; Vannoppen i in., 2020; Gouveia, Trigo, DaCamara, 2009).

W obliczeniach użyto niedoboru NDVI, rozumianego jako  $1 - \text{NDVI}$ , dodatkowo przeskalowanego 100-krotnie dla klarowności wyników. Tym sposobem wartość 30 w poniższej pracy oznacza klasycznie ujęte NDVI równe 0,7.

CWD to różnica między potencjalną a rzeczywistą ewapotranspiracją, czyli procesem parowania z ziemi, akwenów i roślin, a więc podażą pary wodnej w atmosferze.

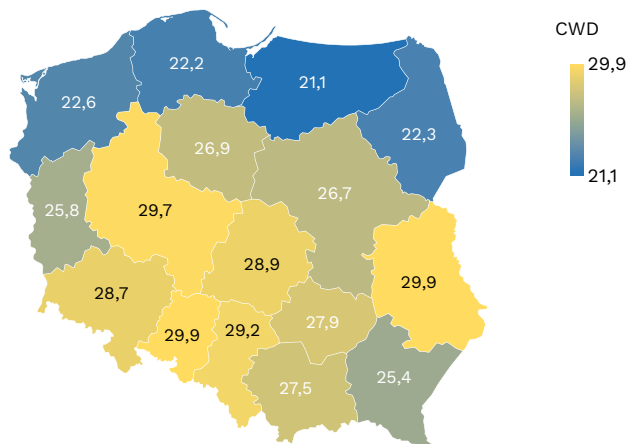
**Mapa 1. Przeciętny niedobór wskaźnika NDVI na polach badanych upraw w skali 100:1**



Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie danych MODIS13, NASA LP DAAC (www11).

Ewapotranspirację rzeczywistą szacuje się przy użyciu kilku obserwowanych miar klimatycznych i meteorologicznych, takich jak zmiana wilgotności powietrza, natężenie promieniowania słonecznego, ciśnienia atmosferycznego i temperatury gleby, na podstawie tzw. równania Penmana-Monteitha (Monteith, 1965). Nie należy mylić tej jednostki z klimatycznym bilansem wody, definiowanym jako różnica między opadami a ewapotranspiracją potencjalną (Bąk, Łabędzki, 2004).

**Mapa 2. Przeciętny klimatyczny niedobór wody na polach badanych upraw (w setkach gramów wody na metr kwadratowy dziennie)**



Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie danych MODIS16, NASA LP DAAC (www12).

Ewapotranspiracja potencjalna to ilość parowania, która powinna wystąpić w danych warunkach przy maksymalnej dostępności pary wodnej. Różnica między tymi dwiema wartościami to inaczej niedobór wody rzeczywiście wykrytej wobec tej, której można się spodziewać przy nawodnieniu gleby. Obrazuje niedobór wody w glebie i roślinach na niej rosnących, wyrażony w masie wody (w obliczeniach tej pracy w setkach gramów), która powinna być wyparować z metra kwadratowego gleby w ciągu doby, a jej zabrakło. Za użyciem CWD do kwantyfikacji susz również przemawia jej dotychczasowe wykorzystanie w podobnych pracach (Mitchell i in., 2015, Micheli i in., 2012).

Pomiary satelitarne dla obydwu zmiennych pochodzą z instrumentu MODIS (satelita Terra agencji NASA). Obliczenia dla ich wyprodukowania zostały przeprowadzone przez Numerical Terradynamic Simulation Group NTSG, University of Montana (UMT) dla pikseli o wymiarze 500 metrów na 500 metrów. Odpowiednie agregacje dla granic administracyjnych polskich województw i lat wykonano w narzędziu Google Earth Engine. Obydwie zmienne zostały dopasowane do granic odpowiednich pól uprawnych przy użyciu EUCROPMAP, o dokładności do 100 m<sup>2</sup>.

Dane o produkcji rolnej odpowiednich upraw pochodzą z Bazy Danych Lokalnych GUS, a o ich cenach – z publikowanych przez GUS tabel skupu i cen produktów rolnych. Użyto cen bieżących. Analiza obejmowała miesiące 05-10 w latach 2004-2020. O wyborze tego okresu zdecydowała dostępność danych rolniczych. Przyjęliśmy założenie, że rolnicy sprzedawali swoje plony w skupach w województwie, w którym je uprawiali.

Sumarycznie analizowane uprawy stanowią około 80 proc. powierzchni zasiewów w Polsce. Nie przeanalizowaliśmy większej liczby kategorii upraw ze względu na rozdzielczość pomiarów satelitarnych, która nie pozwoliła obliczyć wartości dla naszych zmiennych na małych polach lub polach upraw, które trudno rozróżnić od siebie z poziomu satelitarnego (np. różne rodzaje sadów lub uprawy ogrodowe czy szklarniowe). Nie podjęliśmy się określenia czy straty w plonach upraw nieobjętych analizą są podobne, mniejsze czy większe od analizowanych.

## 2.2. Model regresji

W celu oszacowania strat plonów wywołanych zmiennością objaśniających wskaźników ekologicznych, stworzyliśmy sześć modeli regresji panelowej o wzorze ogólnym:

$$y_{ijt} = \alpha_{ij} + \beta_{i1} \cdot t + \beta_{i2} \cdot SUSZA_{ijt} + \varepsilon_{ijt}$$

gdzie:

$y$  – plony w decytonach z hektara danego rodzaju upraw spośród trzech wymienionych grup (i), województwa (j) i roku (t);

$\alpha$  – efekt indywidualny województwa dla każdej grupy upraw;

$\beta$  – efekty krańcowe indeksu roku i ekologicznej zmiennej objaśnianej (w przypadku tej drugiej również różnica wpływu suszy na plony między wartością maksymalną i minimalną w dt/ha);

$t$  – indeks roku (pierwszym jest 2004 r.);

$SUSZA$  – jedna z dwóch zmiennych objaśniających, znormalizowana między minimalną a maksymalną wartością roczno-wojewódzką;

$\varepsilon_{ijt}$  – błąd losowy.

Po oszacowaniu sześciu takich modeli (o efektach stałych lub losowych, zależnie od wyniku testu Hausmana), wartości znormalizowanych zmiennych pomnożyliśmy przez oszacowania ich efektów krańcowych. Tym sposobem otrzymaliśmy oszacowania dotyczące spadku wielkości plonów z hektara dla poszczególnych województw i lat. Następnym krokiem było przemnożenie wielkości strat plonów przez liczbę hektarów odpowiednich upraw i średnie ceny osiągnięte w skupach, żeby otrzymać ostateczne oszacowanie sumarycznych strat.

Sumę strat tłumaczonych wahaniami temperatury uzyskaliśmy przez przeprowadzenie regresji obydwu znormalizowanych zmiennych ekologicznych dla każdej kategorii upraw i względem przeciętnej znormalizowanej temperatury w danym województwie. Następnie temperaturę przemnożyliśmy przez oszacowanie jej wpływu na zmienne ekologiczne, tym sposobem otrzymując wartość wahań zmiennych ekologicznych spowodowanych wahaniami temperatur. Te wartości przemnożyliśmy przez uzyskane wcześniej współczynniki modeli szacujących wpływ CWD i NDVI na plony, tym sposobem uzyskując wpływ wahań przeciętnych temperatur w trakcie okresu wegetacyjnego roślin.

Na plony wpływa wiele czynników – nie tylko nawodnienie – jednak nie jest to istotne dla celów tej pracy. Badamy wpływ suszy na plony wobec wartości średnich, do czego nie jest konieczne wprowadzenie do modelu takich czynników jak nawożenie i jakość gleby.

# 3. Rezultaty

## 3.1. Wyniki modelowania

W poniższej tabeli przedstawiamy oszacowania dotyczące poszczególnych modeli:

Tabela 2. Wyniki oszacowań dla plonów na podstawie modeli szkód wywołanych suszą

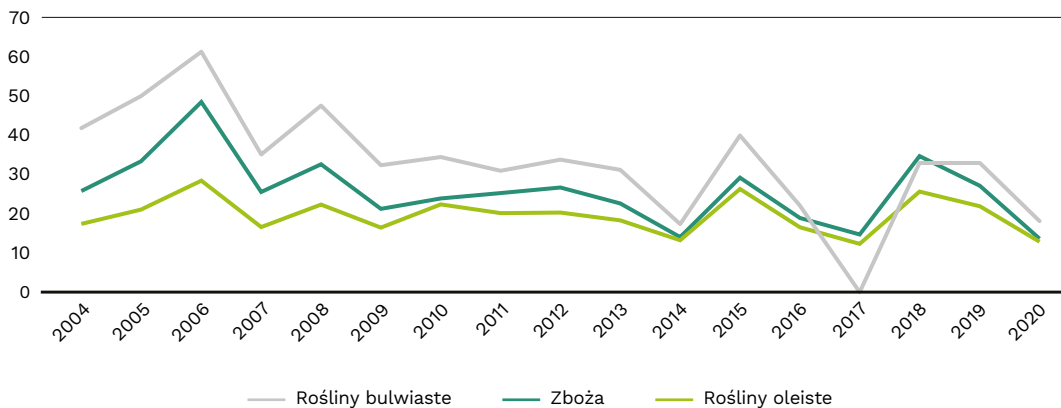
Model	Współczynnik (B)	P-value	Skorygowany r-kwadrat	Współczynnik podzielony przez przeciętną wielkość plonów
Model upraw bulwiastych wg CWD	-146,916	5,01E-10	60 proc.	45 proc.
Model upraw bulwiastych wg NDVI	-208,168	5,22E-17	65 proc.	64 proc.
Model upraw zbóż wg CWD	-9,65878	5,72E-08	45 proc.	26 proc.
Model upraw zbóż wg NDVI	-17,3161	7,43E-26	57 proc.	47 proc.
Model upraw oleistych wg CWD	-10,2624	0,004213	0 proc.	25 proc.
Model upraw oleistych wg NDVI	-18,4602	8,45E-06	4 proc.	44 proc.

Źródło: opracowanie własne PIE – modelowanie z wykorzystaniem danych GUS (www13).

Modele dla upraw bulwiastych mają znacznie większe oszacowania efektu krańcowego zmiennych ekologicznych. Nie jest to zaskakujące, ponieważ wielkości tych upraw wyrażone w wadze są znacznie wyższe niż pozostałych kategorii (w 2020 r. ziemniaki 339 dt/ha, zboża ogółem 48 dt/ha). Modele oparte na NDVI mają w każdym przypadku wyższe oszacowania współczynnika i skorygowany r-kwadrat. Nie jest to jednak jednoznaczne z odrzuceniem modeli opartych na klimatycznym niedoborze wody, współczynniki w każdym z oszacowanych modeli są istotne. Testy odporne na niesferyczność składnika losowego podtrzymały ten wniosek.

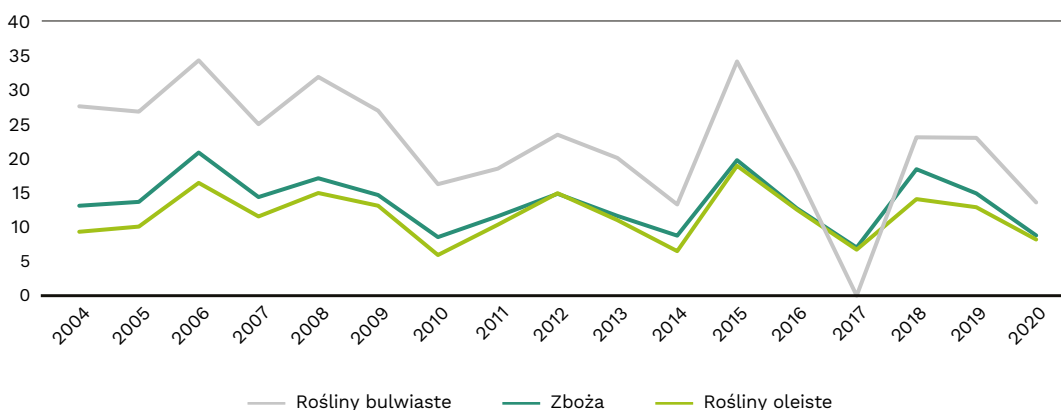
Oszacowania  $\beta$  dla odpowiednich zmiennych ekologicznych można interpretować jako różnicę w plonach w dt/ha między najsilniejszą suszą zarejestrowaną we wszystkich latach i województwach, a plonami w województwie i roku, który był najbardziej wilgotny. Z kolei w ostatniej kolumnie przedstawimy stosunek tej wartości do przeciętnych plonów, z którego wynika o ile wyższe mogłyby być plony w przypadku skrajnym. Przeciętnie straty plonów są mniejsze i wahają się istotnie geograficznie i czasowo.

**Wykres 1. Procentowe straty potencjalnych plonów spowodowane suszą mierzoną NDVI (w proc.)**



Źródło: opracowanie własne PIE.

**Wykres 2. Procentowe straty potencjalnych plonów spowodowane suszą mierzoną CWD (w proc.)**



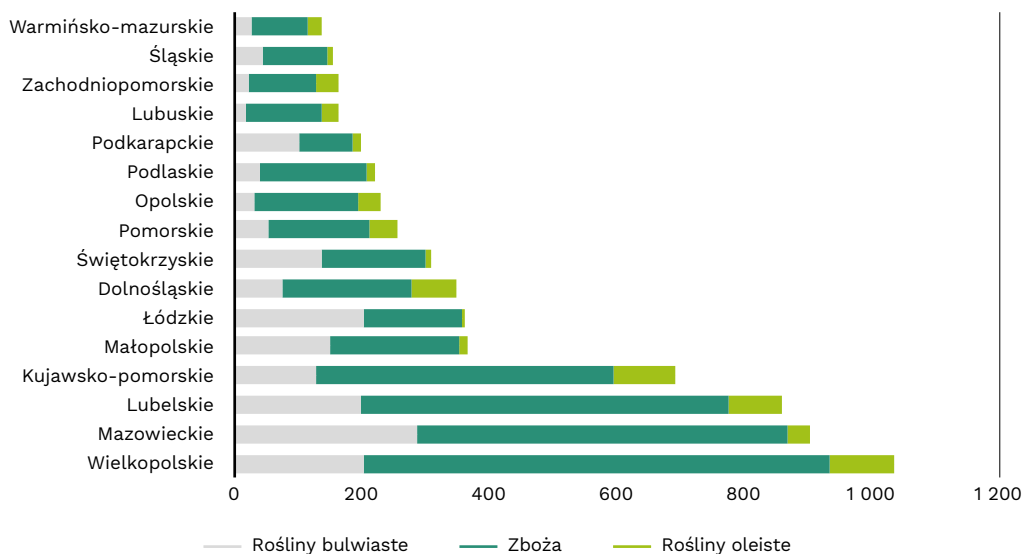
Źródło: opracowanie własne PIE.



Powyższe wykresy obrazują zmianę w nasileniu strat w plonach spowodowanych przez suszę na przestrzeni lat. O ile straty szacowane CWD są z zasady niższe, to mają dość podobną dynamikę – rosną i maleją w analogicznych latach, co zdaje się potwierdzać przypuszczenie, że obrazują to samo zjawisko, czyli skalę suszy glebowej. Na obydwu wykresach widać szczególnie duże straty w latach 2006 i 2015, za to relatywnie niskie w latach 2017 i 2020.

Ze względu na zróżnicowanie terytorialne zmiennych wykorzystanych w analizie, ale również zróżnicowanie typów działalności rolniczej między polskimi regionami, warto również przyjrzeć się wynikom na poziomie poszczególnych województw.

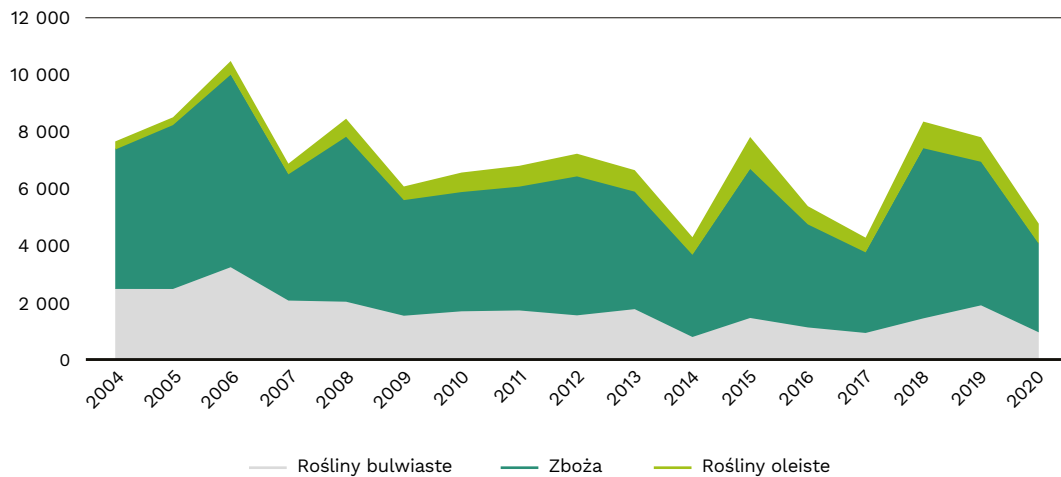
**Wykres 3. Przeciętne roczne straty zbiorów w podziale na województwa według NDVI (w mln PLN)**



Źródło: opracowanie własne PIE.

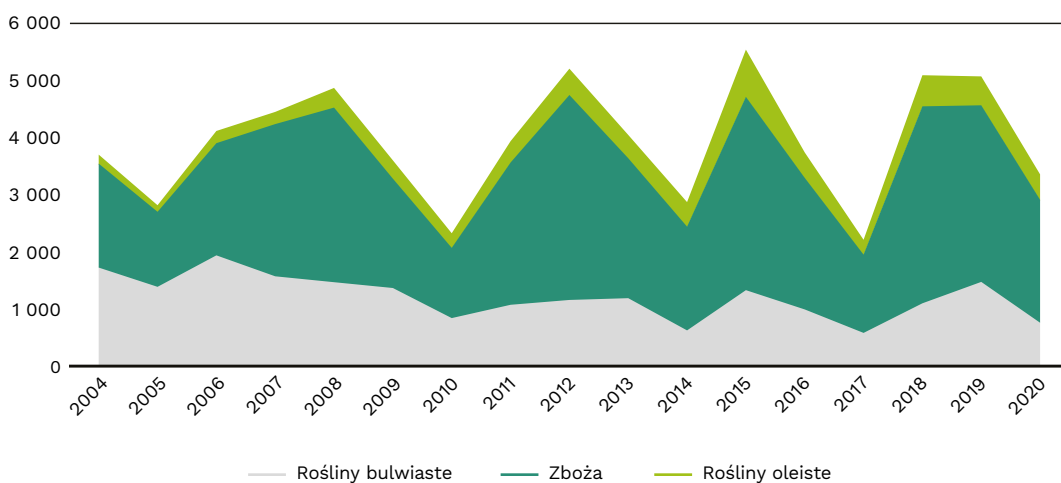
Przeciętnie największe straty odnotowaliśmy w województwie wielkopolskim, a najmniejsze w warmińsko-mazurskim. Nie jest to zaskakujące: wielkopolskie jest duże i ma znaczny areal upraw, a jednocześnie okazało się bardzo suche według obydwu zmiennych ekologicznych. Z kolei warmińsko-mazurskie według obydwu miar jest województwem bardzo wilgotnym.

**Wykres 4. Sumaryczne straty zbiorów w podziale na lata według NDVI (w mln PLN)**



Źródło: opracowanie własne PIE.

**Wykres 5. Sumaryczne straty zbiorów w podziale na lata według CWD (w mln PLN)**



Źródło: opracowanie własne PIE.

Powyższe skumulowane wykresy obrazują ewolucję sumarycznego kosztu suszy dla Polski w dużej mierze pokrywają się z dynamiką strat procentowych. Na ich przebieg wpływają wahania cen żywności osiągniętych przez rolników w skupach, na które wpływ mają nie tylko susze w Polsce, ale także urodzaj w danym roku, wzrost zaawansowania technologicznego rolnictwa oraz międzynarodowe rynki żywności. Trzeba też pamiętać, że na ceny produktów rolniczych w sklepach wpływają nie tylko podaż rolnictwa i popyt konsumentów, ale również marże pośredników i sklepów – w sposób niezależny od koniunktury rolnictwa. Przykładowo, według wyników badania pilotażowego przeprowadzonego przez UOKiK w 2019 r. ceny uzyskane przez rolnika za sprzedaż ziemniaków stanowiły 26-68 proc. cen sklepowych. Gdyby więc wziąć po uwagę nie ceny uzyskiwane przez rolników, tylko sklepowe, to suma kosztów byłaby znacznie wyższa.

Podsumowanie strat w podziale na badane kategorie upraw ze wszystkich lat, według przeciętnych cen w skupach w cenach bieżących w danym województwie daje przeciętną roczną sumę strat w wysokości 6,429 mld PLN dla niedoboru NDVI lub 3,934 mld PLN według szacunku opartego na klimatycznym niedoborze wody. Te dwie wartości można uznać za górny i dolny przedział szacunku strat plonów rolniczych. Oszacowania średniorocznych strat w procentach plonów to odpowiednio 27 proc. według NDVI i 16 proc. według CWD.

## 3.2. Analiza scenariuszowa

Zmiany klimatu mogą wpłynąć i wpływają negatywnie na plony rolnicze na wiele sposobów, m.in. zubożenie gleby, zjawiska atmosferyczne niszczące plony oraz susze, spowodowane zarówno większym parowaniem wody w wyższej temperaturze, jak i przez rzadkie, ale intensywne opady, z których woda nie ma czasu wsiąknąć w glebę.

Z tego powodu przeprowadzona została analiza obecnego wpływu temperatury na niedobór NDVI oraz analiza scenariuszowa, w której oszacowano możliwe przeciętne straty plonów w przypadku wzrostu przeciętnej temperatury o 1°C i 2°C względem średniej temperatury powietrza w okresie badanym.

**Tabela 3. Analiza scenariuszowa wpływu wzrostu średniej temperatury w Polsce na plony (w proc.)**

Badany okres	Rośliny bulwiaste	Zboża	Rośliny oleiste
2004-2020	-10	-7	-6
+1 stopień	-14	-11	-9
+2 stopnie	-19	-14	-13

Źródło: opracowanie własne PIE.

W badanym okresie przeciętna temperatura na ziemi była o około 1°C wyższa niż w czasach przedindustrialnych. Dalszy wzrost o 1°C oznacza zatrzymanie się jej na zadeklarowanym celu Porozumienia paryskiego. Wzrost o 2°C jest pesymistycznym scenariuszem, bo zakłada globalne ocieplenie o 3°C względem czasów przedindustrialnych. Tak daleki szacunek jest jednak dość nieprecyzyjny, ponieważ przy tak dużym wzroście ogólne zmiany klimatu na Ziemi mogą wpływać na rolnictwo na najróżniejsze sposoby.

Jak widać, już teraz wahania temperatury mają istotny wpływ na plony zbóż. Ten wpływ jest mniejszy niż ogólny wpływ susz, ponieważ na suszę składa się wiele czynników oprócz temperatury, m.in. zachmurzenie, opady i retencja glebowa.

Ponadto, gdy mówimy o zmianach klimatu w kontekście wzrostu temperatury, zwykle mamy na myśli globalną średnią temperaturę, która nie ma równomiernego przełożenia na średnią temperaturę powietrza w każdym regionie ziemi. Nie należy jednak bagatelizować tego wpływu, mimo że jego postęp jest powolny. W Polsce od połowy XX w. średni wzrost temperatury powietrza wyniósł 0,28°C na każde 10 lat. Lata 2011-2020 były o ponad 2°C cieplejsze niż średnia kilkadziesiąt lat temu (www14).

# 4. Dyskusja i ograniczenia analiz

Metoda wykorzystana w tej publikacji jest podatna na niedoszacowanie ze względu na poziom agregacji. Zastosowanie przeciętnych wartości rocznych dla województw sprawia, że niektóre straty, wynikające z susz krótkotrwałych lub występujących na obszarach mniejszych niż województwo, mogły zostać przeoczone przy uśrednianiu, np. w przypadku następujących okresów silnego deszczu lub przez wilgotność w innym obszarze. Tego typu straty nie zostałyby uwzględnione w powyższych szacunkach.

Dodatkowym obciążeniem jest wybór konstrukcji matematycznej. Analizę przeprowadziliśmy na zmiennych znormalizowanych do poziomów od 1 do 0, gdzie 1 stanowiło największą odnotowaną suszę według wybranych zmiennych (według NDVI woj. lubelskie w 2005 r., według CWD to samo województwo w 2015 r.), a 0 minimum (według NDVI zachodniopomorskie w 2017 r., według CWD pomorskie w 2017 r.). Przyjęta forma pozwoliła na stworzenie modeli bardziej poprawnych ekonometrycznie, jednak w jej interpretacji trzeba pamiętać, że nie było żadnego okresu, w którym zmienne określające susze wynosiłyby zero. Z tego powodu szacunki kosztów mogą być nieco zaniżone, ponieważ dla minimalnych wartości suszy w zbiorze dla każdej z upraw wyrządzane szkody z założenia szacowane są na 0, mimo że w rzeczywistości niedobór wody występuje i jest obserwowalny. W przeciwieństwie do wspomnianej publikacji zawierającej szacunkowe koszty susz we Włoszech, nie przeprowadziliśmy analizy skutków substytucji między gałęziami gospodarki i regionami.

Zastosowana metodologia jest również ślepa na nawadnianie pól uprawnych, w Polsce wciąż mało powszechne na uprawach wielkopowierzchniowych, ale nabierające popularności. W sytuacji, gdy pole jest nawodnione sztucznie, przy pomocy wód gruntowych, użyta metoda odczytu rejestruje to pole jako dobrze nawodnione co przekłada się potem na niższy szacunek kosztów suszy, tymczasem koszt poniesiony na nawadnianie nie jest w żaden sposób wliczony.

Dodatkowo konieczne jest podkreślenie, że susza powoduje najróżniejsze szkody, nie tylko przez zmniejszenie plonów rolniczych. Od lat borykamy się zmniejszaniem się zasobów wód gruntowych, z których pobierana jest większość wody w kranach, co przekłada się na wysokie koszty jej pozyskiwania. Susza zwiększa prawdopodobieństwo występowania pożarów, których konsekwencje bywają katastrofalne. Przyczynia się również do przyspieszonej erozji gleb, długofalowo zmniejszając ich żyzność, przy czym wydzielane są znaczne ilości dwutlenku węgla. Jednocześnie każda susza jest katastrofą

ekologiczną dla wszystkich zwierząt i roślin, i jest to koszt, który trudno określić finansowo.

Celem niniejszej publikacji jest oszacowanie konkretnego wycinka kosztów susz w Polsce – spadku wielkości plonów rolnych powiązanych z suszami. Prezentowane przez nas szacunki sumaryczne w zakresie szkód wyrządzanych przez susze nie mają charakteru całościowego, dotyczą jedynie ich dolnego przedziału.

# 5. Rekomendacje

Cele niniejszego opracowania miały przede wszystkim charakter metodologiczny (wykorzystanie niestosowanych dotychczas w Polsce wskaźników) i poznawczy (oszacowanie rolniczych kosztów suszy). Skala oszacowanych strat i ich potencjalne wzrosty wraz z pogarszającą się sytuacją klimatyczną motywują również do refleksji o charakterze praktycznym. W celu zapoznania się z kompleksową analizą przyczyn i zalecanych działań instytucjonalnych w sprawie susz zachęcamy do zapoznania się z Policy Paperem z 2020 r. (PIE, 2020).

Zalecane działania dotyczą m.in.: zmniejszania tempa spływu wody przez zaniechanie nadmiernej melioracji, naturalizację rzek, ochronę bagien, mokradł i lasów. Wszystko to wiąże się ze zmianami w procedurze wydawania decyzji wodno-środowiskowych i dokładniejszym wdrażaniu odpowiednich dyrektyw unijnych, ustawy o ochronie środowiska naturalnego i ekologicznej polityce rolnej.

Pierwszym krokiem w kierunku ograniczenia skutków suszy jest gromadzenie odpowiedniej wiedzy na temat tego zjawiska. W praktyce opiera się to na ocenie ryzyka wystąpienia suszy na danym obszarze, a także rozpoznaniu czynników powodujących wzrost wrażliwości na jej skutki. Ważnym jest również, aby rozumieć ograniczenia stojące za konceptualizacją zjawiska suszy, czy też metod służących jej badaniu, modelowaniu oraz prognozowaniu. Działania redukujące wpływ suszy wymagają również ponadnarodowego porozumienia. W państwach UE część rozwiązań może zostać wdrożona w obrębie wspólnej polityki rolnej, czy też obszarów wiejskich ([www15](http://www15)).

Generalnie uważa się, że koszty niepodejmowania żadnych działań są wielokrotnie wyższe od podjęcia działań zapobiegawczych. Wiele źródeł dowodzi, że podejmowanie działań adaptacyjnych, w czysto ekonomicznym ujęciu, prowadzi do dużych korzyści w przyszłości, mimo że inwestycje w infrastrukturę mogą wydawać się drogie. Koszty i konsekwencje suszy będą większe bez stosownych działań zapobiegawczych. Koszty owych działań dzielą się na:

1. Koszty związane z ciągłą gotowością (monitorowanie i ostrzeganie o suszy, zbieranie danych, ostrzeganie, analizowanie);
2. Koszty proaktywnego łagodzenia ryzyka suszy (np. przez zwiększanie naturalnej retencji, zwiększanie efektywności użycia wody, poprawę infrastruktury wodnej);
3. Koszty łagodzenia skutków suszy.

W 2013 r. Światowa Organizacja Meteorologiczna (WMO) i Globalne Partnerstwo Wodne opublikowały Zintegrowany Program Zarządzania Suszą (Integrated Drought Management), który ma być wskazówką dla wielu instytucji i który akcentuje potrzebę skoordynowanego zapobiegania niebezpieczeństwom niesionym przez suszę zanim do niej dojdzie (www16). Filarami programu są:

- a) systemy monitorowania i wczesnego ostrzegania,
- b) ocena podatności na suszę i jej wpływu,
- c) łagodzenie skutków suszy i reagowanie: przez udzielanie pomocy ofiarom, zmniejszanie podatności na szkody przy pomocy projektów inżynierskich, jak budowa tam i wałów, działania proroczące oraz stosowanie środków miękkich: kształtowanie odpowiednich ram prawnych i edukacja.



# Bibliografia

- Bachmair, S., Svensson, C., Hannaford, J., Barker, L., Stahl, K. (2016), *A quantitative analysis to objectively appraise drought indicators and model drought impacts*, "Hydrology and Earth System Sciences", Vol. 20.
- Bąk, B., Łabędzki, L. (2004), *Standaryzowany klimatyczny bilans wodny jako wskaźnik suszy*, „Acta Agrophysica”, No. 3(1).
- Boubacar, I. (2010), *The Effects of Drought on Crop Yields and Yield Variability in Sahel*, Southern Agricultural Economics Association Annual Meeting, Orlando, Stany Zjednoczone.
- Cullmann, J., Dilley, M., Egerton, P., Grasso V., Honoré, C., Lúcio, F., Luterbacher, J., Nullis, C., Power, M., Rea A., Repnik, M., Stander J. (2021), *State of Climate Services*, WMO, No. 1278, Genewa, Szwajcaria.
- Didan, K. (2021), *MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 1km SIN Grid V061 [Data set]*, NASA EOSDIS Land Processes DAAC, Sioux Falls, Stany Zjednoczone.
- Enenkel, M., See, L., Bonifacio, R., Boken, V., Chaney, N., Vinck, P., You, L., Dutra, E., Anderson, M. (2014), *Drought and food security – Improving decision-support via new technologies and innovative collaboration*, "Global Food Security", No. 4.10.1016.
- García-León, D., Standardi, G., Staccione, A. (2021), *An integrated approach for the estimation of agricultural drought costs*, "Land Use Policy", No. 100 C.
- Gouveia, C., Trigo, R., Dacamara, C. (2009), *Drought and vegetation stress monitoring in Portugal using Satellite Data*, "Natural Hazards and Earth System Sciences", No. 9.
- IPCC (2018), *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*, Cambridge University Press, Cambridge, Wielka Brytania.
- Jenkins, K., Warren, R. (2014), *Quantifying the impact of climate change on drought regimes using the Standardised Precipitation Index*, "Theoretical and Applied Climatology", No. 120.
- Kaca, E., Stąpel, Z., Śniadowski, Z. (1993), *Gospodarka wodna w rolnictwie w świetle suszy 1992 roku*, Materiał Informacyjny IMUZ nr 22, Falenty.
- Łabędzki, L. (1992), *Susza w Europie i jej wpływ na plony w świetle 16. Europejskiej Konferencji Regionalnej ICID, Budapeszt 1992*, Biuletyn Informacyjny „Melioracje Rolne”, nr 1/2.

- Łabędzki, L. (1997), *Potrzeby nawadniania użytków zielonych – uwarunkowania przyrodnicze i prognozowanie*, Wydawnictwo IMUZ, Falenty.
- Łabędzki, L. (2002), *Drought risk estimation in the Bydgoszcz–Kujawy region using the standardized precipitation index (SPI)*, Conference of ICID on Drought Mitigation and Prevention of Land Desertification, Bled, Słowenia.
- Markandya, A., Cabot-Venton, C., Beucher, O. (2015), *Economic assessment of the impacts of climate change in Uganda: Key results*, Climate Change Department, Ministry of Water and Environment, Kampala, Uganda.
- Micheli, E., Flint, L., Flint, A., Weiss, S., Kennedy, M. (2012), *Downscaling Future Climate Projections to the Watershed Scale: A North San Francisco Bay Case Study*, “San Francisco Estuary and Watershed Science”, No. 10.10.15447.
- Mitchell, P., O'Grady, A., Pinkard, E., Brodrribb, T., Arndt, S., Blackman, C., Duursma, R., Fensham, R., Hilbert, D., Nitschke, C., Norris, J., Roxburgh, S., Ruthrof, K., Tissue, D. (2015), *An eco-climatic framework for evaluating the resilience of vegetation to water deficit*, “Global Change Biology”, No. 22.
- Mohaddes, K., Ng, R., Pesaran, H., Raissi, M., Yang, J-C. (2022), *Climate change and economic activity: Evidence from US states*, CESifo, Monachium, Niemcy.
- Monteith, J.L. (1965), *Evaporation and the Environment*, “19th Symposia of the Society for Experimental Biology”, Filadelfia, Stany Zjednoczone.
- Pérez y Pérez, L., Barreiro-Hurlé, J. (2009), *S Assessing the socio-economic impacts of drought in the Ebro River Basin*, “Spanish Journal of Agricultural Research”, No. 7(2).
- Qiaozhen, M., Maosheng, Z., Running, S. and Numerical Terradynamic Simulation Group (2014), *MODIS Global Terrestrial Evapotranspiration (ET) Product MOD16A2 Collection 5*, Numerical Terradynamic Simulation Group Publications, No. 268, Missoula, Stany Zjednoczone.
- Rączka, J., Skąpski, J., Tyc, T., Juszczyk, A. (2020), *Analiza polityki publicznej w zakresie przeciwdziałania suszy w Polsce*, Policy Paper, nr 4, Polski Instytut Ekonomiczny, Warszawa.
- Sruthi, S., Aslam, M. (2015), *Agricultural Drought Analysis Using the NDVI and Land Surface Temperature Data; a Case Study of Raichur District*, Aquatic Procedia, Wydanie 4, Amsterdam, Holandia.
- WMO *atlas of mortality and economic losses from weather, climate and water extremes (1970-2019)* (2021), Genewa, Szwajcaria.
- Vannoppen, A., Gobin, A., Kotova, L., Top, S., De Cruz, L., Viksna, A., Aniskevich, S., Bobylev, L., Buntemeyer, L., Caluwaerts, S., De Troch, R., Gnatiuk, N., Hamdi, R., Remedio, A., Sakalli, A., Van de Vyver, H., Van Schaeybroeck, Bert., Termonia, Piet. (2020). *Wheat Yield Estimation from NDVI and Regional Climate Models in Latvia*, „Remote Sensing”, 12.2206, Bazylea, Szwajcaria.

- World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP) (2016), *Handbook of Drought Indicators and Indices* (M. Svoboda and B.A. Fuchs), Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2, Geneva, Szwajcaria.
- (www1) <https://stopsuszy.imgw.pl/susza-najwazniejsze-pytania-i-odpowiedzi> [dostęp: 08.09.2022].
- (www2) <https://stopsuszy.imgw.pl/> [dostęp: 08.09.2022].
- (www3) SMSR – System Monitoringu Suszy Rolniczej, <http://www.iung.pulawy.pl> [dostęp: 08.09.2022].
- (www4) <https://www.pgi.gov.pl/aktualnosci/display/12344-susza-stan-zagrozenia-nizowka-hydrogeologiczna-nowa-prognoza-panstwowej-sluzby-hydrogeologicznej> [dostęp: 08.09.2022].
- (www5) <https://edo.jrc.ec.europa.eu/edov2/php/index.php> [dostęp: 08.09.2022].
- (www6) <https://edo.jrc.ec.europa.eu/gdo/php/index.php?id=2001> [dostęp: 08.09.2022].
- (www7) <https://www.geo.uio.no/edc/droughtdb/edr/DroughtEvents> [dostęp: 08.09.2022].
- (www8) <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2021/02/210202-IPCCJ7230-SRCCL-Complete-BOOK-HRES.pdf> [dostęp: 14.10.2022].
- (www9) <https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/market-insights/latest-news/electric-power/080522-droughts-rattle-europes-hydro-power-market-intensifying-energy-crisis> [dostęp: 14.10.2022].
- (www10) <https://www.futurity.org/human-migration-droughts-2732082-2/> [dostęp: 08.09.2022].
- (www11) <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD13A2.061>.
- (www12) <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD16A2.006>.
- (www13) <https://bd.stat.gov.pl/bdl/start> [dostęp: 08.09.2022].
- (www14) <https://www.imgw.pl/sites/default/files/inline-files/imgw-pib-klimat-polski-2021-pol-final.pdf> [dostęp: 21.10.2022].
- (www15) <https://www.bruegel.org/comment/scorching-summer-are-becoming-new-normal-can-europe-prepare-itself> [dostęp: 08.09.2022].
- (www16) <https://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/516/course/section/168/NDMP-Synthesis.pdf> [dostęp: 08.09.2022].

# Spis tabel, map i wykresów

## SPIS MAP

Mapa 1. Przeciętny niedobór wskaźnika NDVI na polach badanych upraw w skali 100:1. . . . .	12
Mapa 2. Przeciętny klimatyczny niedobór wody na polach badanych upraw (w setkach gramów wody na metr kwadratowy dziennie) . . . . .	12

## SPIS TABEL

Tabela 1. Przykładowe publikacje naukowe na temat szkód wyrządzanych przez susze . . . . .	9
Tabela 2. Wyniki oszacowań dla plonów na podstawie modeli szkód wywołanych suszą . . . . .	15
Tabela 3. Analiza scenariuszowa wpływu wzrostu średniej temperatury w Polsce na plony (w proc.) . . . . .	19

## SPIS WYKRESÓW

Wykres 1. Procentowe straty potencjalnych plonów spowodowane suszą mierzoną NDVI (w proc.) . . . . .	16
Wykres 2. Procentowe straty potencjalnych plonów spowodowane suszą mierzoną CWD (w proc.) . . . . .	16
Wykres 3. Przeciętne roczne straty zbiorów w podziale na województwa według NDVI (w mln PLN). . . . .	17
Wykres 4. Sumaryczne straty zbiorów w podziale na lata według NDVI (w mln PLN). . . . .	18
Wykres 5. Sumaryczne straty zbiorów w podziale na lata według CWD (w mln PLN). . . . .	18

# Polski Instytut Ekonomiczny

Polski Instytut Ekonomiczny to publiczny *think tank* ekonomiczny z historią sięgającą 1928 roku. Jego obszary badawcze to przede wszystkim makroekonomia, energetyka i klimat, handel zagraniczny, foresight gospodarczy, gospodarka cyfrowa i ekonomia behawioralna. Instytut przygotowuje raporty, analizy i rekomendacje dotyczące kluczowych obszarów gospodarki oraz życia społecznego w Polsce, z uwzględnieniem sytuacji międzynarodowej.

