



Zbigniew M. Karaczun

Jerzy Kozyra

Wpływ zmiany klimatu na bezpieczeństwo żywnościowe Polski



Wydawnictwo SGGW
Warszawa 2020

©Polski Klub Ekologiczny Okręg Mazowiecki, Warszawa 2020

Wydanie I

Recenzja: prof. dr hab. Czesław Wysocki

Dr hab. Jerzy Kozyra wkład do publikacji przygotował w ramach projektu BioEcon „Nowe strategie dotyczące biogospodarki w Polsce”. Projekt uzyskał finansowanie z Unii Europejskiej w programie Horyzont 2020, WIDESPREAD-2014-2 ERA Chairs, na podstawie umowy nr 669062.

Opracowanie redakcyjne – Jan Kiryjow

Opracowanie graficzne – Violetta Kaska

ISBN 987-83-7583-875-6

Wydawnictwo SGGW

ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa

tel. 22 593 55 20 (-22; -25 – sprzedaż)

e-mail: wydawnictwo@sggw.pl

www.wydawnictwosggw.pl

Druk: ZAPOL Sp.j., al. Piastów 42, 71-062 Szczecin

Spis treści

Streszczenie	5
Executive summary	11
1. Wprowadzenie	15
2. Wpływ rolnictwa na klimat	19
2.1. Udział rolnictwa w globalnej emisji gazów cieplarnianych	19
2.2. Oddziaływanie polskiego rolnictwa na klimat	23
3. Skutki zmiany klimatu dla warunków produkcji rolnej	29
4. Wpływ skutków zmiany klimatu na bezpieczeństwo żywnościowe w ujęciu globalnym	41
4.1. Zmiany w warunkach produkcji	42
4.2. Wpływ na produkcję rolną	48
4.3. Wpływ na przetwórstwo spożywcze, transport i przechowywanie	63
4.4. Bezpieczeństwo i jakość produktów żywnościowych	67
4.5. Wpływ polityki klimatycznej na dostępność produktów żywnościowych	70
5. Wpływ zmiany klimatu na bezpieczeństwo żywnościowe Polski	73
5.1. Gospodarstwa rolne wobec skutków zmiany klimatu	75
5.2. Przydatność rolnicza obszarów a zmiana klimatu	79
5.3. Wpływ suszy na bezpieczeństwo żywnościowe	85
5.4. Poziom i zmienność plonowania	88
5.5. Wpływ zmiany klimatu na pozostałe etapy cyklu życiowego produktów spożywczych	94
6. Niezbędne działania	97
6.1. Zarządzanie zasobami glebowymi	101
6.2. Zarządzanie zasobami wodnymi	102
7. Wnioski i rekomendacje	105
Bibliografia	111



Streszczenie

Bezpieczeństwo żywnościowe można zdefiniować jako stan, w którym wszyscy ludzie, przez cały czas mają fizyczny i ekonomiczny dostęp do wystarczającej i bezpiecznej żywności o wysokiej jakości, zaspokajającej ich potrzeby i preferencje żywieniowe do aktywnego i zdrowego trybu życia. Żywność ta powinna być wytworzona, dystrybuowana i wykorzystywana w sposób, który unika negatywnego wpływu produkcji i konsumpcji żywności na zasoby przyrodnicze, lokalne społeczności oraz koncentrację gazów cieplarnianych w atmosferze Ziemi zarówno obecnie, jak i w przyszłości. Osiągnięcie i utrzymanie takiego poziomu bezpieczeństwa zależy od bardzo wielu czynników. Jednym z nich jest stabilność warunków klimatycznych, w których prowadzona jest produkcja żywności. Dlatego skutki, spowodowanej działalnością człowieka, zmiany klimatu mają szeroki i bardzo niekorzystny wpływ na bezpieczeństwo żywnościowe, oddziałując na nie na każdym etapie cyklu życiowego procesu produkcji żywności. Jeśli nie uda się osiągnąć celów porozumienia paryskiego i zatrzymać wzrostu średniej temperatury na poziomie niższym niż 2°C, a najlepiej do 1,5°C, to należy oczekiwać, że nasze bezpieczeństwo żywnościowe – na poziomie globalnym, regionalnym i lokalnym – będzie poważnie zagrożone.

Skutki zmiany klimatu w największym stopniu wpływają i będą wpływać na produkcję rolną. Jej powodzenie w ogromnym stopniu zależy bowiem od czynników klimatycznych: długość okresu wegetacyjnego, wielkość i rozkład opadów atmosferycznych, występowanie ekstremalnych zdarzeń pogodowych – m.in. huraganów, nawalnych deszczów, gradów – oraz innych zjawisk niekorzystnych, takich jak przymrozki, zbyt wysoka lub niska temperatura. Czynniki te są i będą modyfikowane w znaczącym stopniu przez postępującą zmianę klimatu.

Na bezpieczeństwo żywnościowe Polski wpływają i wpływać będą nie tylko zmiany, jakie wystąpią na terenie naszego kraju, ale również te, które dotkną produkcję żywności w skali globalnej. Będzie to spowodowane dwoma oddziaływaniami: ograniczeniem podaży niektórych produktów spożywczych, których produkcja w ujęciu globalnym ulegnie drastycznemu ograniczeniu, oraz spadkiem produkcji rolnej w krajach położonych na obszarach tropikalnych, gdzie nawet niewielki wzrost średniej temperatury oraz spadek ilości i częstości opadów atmosferycznych uniemożliwi kontynuowanie produkcji rolnej.

Szczególnie narażone na skutki zmiany klimatu są systemy rolno-pastwiskowe w Afryce i Ameryce Południowej zapewniające bezpieczeństwo żywnościowe znaczącej liczby ludności. Negatywne skutki dotyczyć będą również upraw będących podstawą globalnego obrotu rolno-spożywczego: kawowca, herbaty, kakaowca oraz winogron. Znaczące zmniejszenie ich plonu może ograniczyć dostępność produkowanych z nich produktów – kawy, herbaty, czekolady czy wina – na rynku globalnym, a więc także w Polsce.

Wzrost temperatury oddziałuje już dziś negatywnie na plon kakaowca, a większa częstość susz może doprowadzić do strat nawet 15% uprawianych drzew i spowodować spadek plonu sięgający nawet 89%. Prognozuje się, że zmniejszenie sum opadów atmosferycznych zmniejszy powierzchnię umożliwiającą uprawę winogron wykorzystywanych w produkcji win klasy premium m.in.: w regionie śródziemnomorskim w Europie o 54–100%, w Kalifornii o 50–83% i w Chile o 23–81%. Ze względu na specyficzne wymagania w odniesieniu do gleby oraz mikroklimatu lokalnego przeniesienie w inne miejsce upraw winogron wykorzystywanych w produkcji wina może być niemożliwe.

W przypadku uprawy herbaty i kawy ogromnym zagrożeniem, obok zmniejszenia sum opadów atmosferycznych, jest i będzie wzrost średniej temperatury. Spadek plonów herbaty spowodowany wzrostem średniej temperatury w Afryce Wschodniej szacowany jest na 40%. Badania wykazują, że w drugiej połowie obecnego wieku w wielu regionach Afryki nie będzie już terenów, na których uprawa herbaty będzie możliwa: w Mali zaniknie ona zupełnie, w Ugandzie powierzchnia terenów odpowiednich do uprawy zmniejszy się o 50–75%, a w Kenii zmniejszy się co najmniej o 22,5% do 2070 roku. Wzrost średniej temperatury podczas owocowania drzew kawowca ponad 23°C utrudnia dojrzewanie owoców, a wzrost temperatur ponad 30°C w znacznym stopniu ogranicza plonowanie. Wysokie temperatury znacząco zwiększają także narażenie kawowca na choroby i szkodniki.

Podobne problemy prognozuje się w przypadku produkcji wielu owoców i warzyw, szczególnie tych, które uprawiane są w regionach tropikalnych. O ile jednak obniżenie ich produkcji, a nawet całkowite zaniechanie uprawy wpłynie przede wszystkim na jakościowy aspekt bezpieczeństwa żywnościowego – pewna grupa produktów żywnościowych nie będzie dostępna lub ich cena znacząco wzrośnie – to w odniesieniu do upraw podstawowych (zbóż, roślin okopowych i pastewnych), a także w przypadku hodowli zwierząt ograniczenie wielkości ich produkcji wpłynie na ilościowy aspekt bezpieczeństwa.

Szczególnie groźne konsekwencje będzie miał spadek produkcji rolnej w Azji i Afryce – najgęściej zaludnionych obszarach świata. Prognozy wskazują, że średnie plony zbóż w Afryce zmniejszą się do 2050 roku o około 10%, przy czym największy spadek wystąpi w przypadku pszenicy (ponad 17%) i sorgo (niemal 15%). W Azji średni spadek plonów będzie mniejszy (5%), ale bardzo wysoki w odniesieniu do kukurydzy (niemal 16%) i sorgo (11%). Najnowsze publikacje wskazują na spadek plonowania kukurydzy również w Europie (kilka lat temu prognozy wskazywały na pozytywny wpływ zmiany klimatu na uprawy kukurydzy na tej szerokości geograficznej, ale najnowsze badania zweryfikowały wcześniejsze wyniki). Jak się wydaje, wzrost potencjału plonowania innych roślin uprawnych – przede wszystkim ryżu, ale także buraków cukrowych, a w niektórych regionach Azji również sorgo, nie skompensuje spadku plonowania podstawowych zbóż.

Wzrost średniej temperatury atmosfery, a w konsekwencji wzrost częstości występowania fal upałów i wyższa temperatura w trakcie ich występowania mogą zniwelować wskazywany wzrost potencjału plonowania niektórych upraw i ograniczą także produkcję zwierzęcą. Na przykład w Indiach liczba dni wywołujących średni i silny stres cieplny u krów wzrośnie w połowie dekady z 40 do 104 dni, co znacząco obniży wielkość produkcji mleka i może zagrozić deficytem białka, szczególnie dla uboższej części społeczeństwa.

Spadek wielkości produkcji rolnej w tych regionach będzie musiał być skompensowany jej wzrostem w innych częściach świata. Brak jest jednak pewności, czy będzie to, w skali globalnej, w pełni możliwe. Ponadto, zmniejszenie produkcji wystąpi szczególnie w krajach ubogich, a lepsze jej warunki będą w bogatych krajach północy. Doprowadzi to do dalszego pogłębienia różnic rozwojowych pomiędzy bogatą północą i biednym południem, co prowokować będzie konflikty i zwiększy potrzeby pomocy humanitarnej. Nieuchronnym rezultatem tej zmiany będzie istotny wzrost cen żywności, co będzie miało negatywne konsekwencje dla ludzi uboższych, także tych żyjących w krajach bogatych takich jak Polska.

Zmiana klimatu wpłynie także na inne elementy łańcucha produkcji żywności: przetwórstwo rolno-spożywcze, transport, przechowywanie i dystrybucję. Szczególnie niebezpieczny w kontekście tych etapów wytwarzania pożywienia będzie wzrost częstości występowania ekstremalnych zjawisk pogodowych. Równie negatywnie oddziaływać będzie wzrost temperatury i występowania fal upałów, które zwiększą koszty przetwórstwa rolno-spożywczego i przechowywania oraz utrudnią działalność transportu. Zagrozi to ciągłości dostaw pożywienia na niektóre rynki oraz dodatkowo zwiększy ich koszt.

Choć Polska uznawana jest za kraj mniej narażony na negatywne oddziaływanie skutków zmiany klimatu, to nasze rolnictwo już dziś odczuwa jej negatywne konsekwencje. To m.in. wzrost zmienności plonów, która w latach 1990–2007 wzrosła w Polsce w porównaniu z latami 1955–1977 o 56% w stosunku do upraw pszenicy ozimej i o 112% w odniesieniu do upraw ziemniaka. Zagrożone są także uprawy zbóż jarych: analiza wskaźników pogodowych dla scenariuszy klimatycznych w przypadku pszenicy jarej wykazała, że częstość lat ze stratami z powodu niekorzystnego przebiegu pogody, przekraczającymi 20% wzrasta z 2,3% (1971–2000) do 9,4% w latach 2021–2050, a do 13% w latach 2071–2100. Względne zmiany ryzyka znaczących strat plonów dla roślin jarych w wieloleciu 2021–2050 wzrastają więc 4-krotnie w porównaniu z okresem 1971–2000 a w latach 2071–2100 – 6-krotnie. Jest to o tyle istotne, że w Polsce około 73,8% użytków rolnych stanowią powierzchnie pod zasiewami, a największą grupę upraw pod względem w powierzchni stanowią zboża, zajmując 72,1% ogólnej powierzchni zasiewów (7,8 mln ha). Udział zbóż ozimych w ogólnej strukturze stanowi 60%, natomiast zbóż jarych 40%. Nawet więc stosunkowo niewielki

procentowo spadek ich plonów może mieć w kontekście całego kraju bardzo poważne, negatywne konsekwencje. Czynnikiem mającym największy wpływ na plonowanie zbóż jest w Polsce wielkość i rozkład opadów.

W odniesieniu do upraw sadowniczych, których Polska jest jednym z największych eksporterów, a także upraw warzyw polowych istotnym czynnikiem wpływającym na wahania w wielkości plonu jest moment rozpoczęcia okresu wegetacyjnego oraz występowania (lub brak) przymrozków wiosennych. W 2007 roku, kiedy rośliny weszły w fazę wzrostu bardzo wcześnie, a na przełomie kwietnia i maja wystąpiły silne przymrozki, zniszczona została większość upraw sadowniczych, a plony jabłek były 3-krotnie niższe niż wieloletnia średnia (dla lat 2003–2018). Z kolei w 2018 roku, kiedy panowały szczególnie korzystne warunki pogodowe (wczesny początek okresu wegetacji i brak przymrozków) wielkość plonu jabłek była aż o 51,8 pkt. proc. większa niż średnia wieloletnia.

Dlatego jeśli nie zostaną osiągnięte cele porozumienia paryskiego i średnia temperatura wzrośnie powyżej 2°C, to także w naszym kraju obniży się poziom bezpieczeństwa żywnościowego. Zmniejszy się powierzchnia upraw polowych zbóż i roślin okopowych; średnie plony zbóż ozimych mogą zmaleć o 10%, buraków cukrowych o 15%, ziemniaków o 70%. Tylko uprawa roślin ciepłolubnych będzie wysoce produktywna. Udział kukurydzy w ogólnej strukturze upraw w Polsce wyniesie 15–20%, ale wyniki produkcyjne będą niestabilne i zależne od przebiegu pogody w danym roku. Żywność użytków zielonych spadnie, konieczne będzie nawadnianie pastwisk, co spowoduje znaczny wzrost kosztów produkcji zwierzęcej. Obszary użytków rolnych, które wymagać będą intensywnego nawadniania, mogą powiększyć się do 1,5–2,0 mln ha. W przypadku braku możliwości prowadzenia nawodnień konieczne będzie odstawienie od produkcji rolnej – zarówno upraw, jak i hodowli zwierząt – ze względu na znaczący wzrost niestabilności wyników ekonomicznych tej produkcji. Wraz ze wzrostem niepewności przebiegu warunków pogodowych w ciągu roku, wzrostem częstości występowania i gwałtowności przebiegu ekstremalnych zdarzeń meteorologicznych będzie to istotny czynnik ograniczający bezpieczeństwo żywnościowe Polski.

Polski sektor rolno-spożywczy odgrywa ogromną rolę, nie tylko zapewniając bezpieczeństwo żywnościowe na poziomie krajowym, ale także wytwarzając nadwyżkę produktów eksportowanych na rynek Unii Europejskiej i rynki krajów trzecich oraz tworząc miejsca pracy. Polska jest istotnym eksporterem żywności, a jej rola na tym rynku stale wzrasta. W 2019 roku wielkość eksportu była o niemal 7% większa niż rok wcześniej i wyniosła ponad 31 mld PLN, a wielkość nadwyżki w handlu tymi produktami wyniosła ponad 11 mld PLN. Utrzymanie tego trendu ma więc istotne znaczenie dla całej gospodarki.

Polska powinna aktywnie włączyć się w działania Unii Europejskiej zmierzające do osiągnięcia w 2050 roku neutralności klimatycznej oraz zachęcać kraje spoza UE

do podejmowania analogicznych wysiłków. Stopniowe, ale stałe ograniczanie emisji gazów cieplarnianych jest bowiem podstawowym warunkiem zapewnienia bezpieczeństwa żywnościowego w średniej i długiej perspektywie czasowej.

Niemniej jednak, wobec tempa zachodzących zmian, działania mitygacyjne nie będą wystarczające. Dlatego konieczne jest wdrożenie prac adaptacyjnych. Pilnym zadaniem jest aktualizacja zakresu działań Strategicznego Planu Adaptacji dla Sektorów Wrażliwych na zmiany klimatu i uwzględnienie w nim działań dla całego sektora rolno-spożywczego. Niektóre niezbędne prace będą mogły być podjęte i sfinansowane przez samych rolników (np. w ramach środków Wspólnej Polityki Rolnej) oraz podmioty prowadzące działalność w innych sektorach uczestniczących w cyklu życia żywności. Ale wiele z nich, aby mogły być wdrożone, będzie musiało uzyskać wsparcie ze środków publicznych. Niezbędne jest także wzmocnienie systemu doradztwa rolniczego i służb weterynaryjnych które muszą wspierać rolników w dostosowywaniu się do nowych warunków produkcji i ograniczać ryzyko rozprzestrzeniania się nowych zagrożeń ze strony chorób i szkodników. Ogromnie pilne jest wspieranie naturalnych metod retencji wody (odtworzenie stawów śródpolnych, terenów podmokłych, bagien i mokradeł, ochrona torfowisk, zatrzymywanie wody w rowach melioracyjnych, wspieranie retencji glebowej itp.). Działania adaptacyjne wobec zmiany klimatu w gospodarstwach powinno się ukierunkować na systemy produkcji dążące do ochrony zasobów substancji organicznej w glebie, racjonalizacji nawożenia i nawodnień, a w produkcji zwierzęcej na zapewnienie dobrostanu zwierząt w warunkach stresu cieplnego. Od tego, czy działania te zostaną podjęte i czy ich zakres będzie wystarczający, zależeć będzie bezpieczeństwo żywnościowe Polski.

Executive summary

Food security can be defined as a condition where all the people, at all times, have physical and economic access to sufficient and safe high-quality food that meets their dietary needs and preferences for an active and healthy lifestyle. This food should be produced, distributed and used in a way that avoids negative impacts of food production and consumption on natural resources, local communities and greenhouse gas concentration in the atmosphere, both now and in the future. Attaining and maintaining such a level of security depends on a number of factors. One of them is the stability of climatic conditions in which food production takes place. Therefore, man-made climate change has a broad and very negative impact on food security, affecting it at every stage of food production. If the objectives of the Paris Agreement are not met and the average temperature rise is not kept below 2°C and, preferably, to 1.5°C, our food security – at global, regional, and local level – is expected to be seriously compromised.

The effects of climate change have been and will continue to be most significant for agricultural production. Its success depends to a large extent on climatic factors: the length of the growing season, precipitation levels and distribution, the occurrence of extreme weather events, for instance hurricanes, heavy rains and hail, and other adverse events such as frost and too high or low temperatures. These factors will remain to be modified to a significant extent by the ongoing climate change.

Poland's food security has been and will continue to be affected not only by the changes that will occur in the country, but also the ones that will influence food production on a global scale. This will be caused by two impacts: the limitation of supply of certain food products where production will be drastically reduced globally, and a decrease in agricultural production in countries located in tropical areas, where even a slight rise in average temperatures and a drop in the levels and frequency of rains will make it impossible to continue agricultural production.

Agro-pastoral systems in Africa and South America, which ensure food security to a significant number of people, are particularly vulnerable to the effects of climate change. The crops which are subject to global agri-food trade such as coffee, tea, cocoa and grapes will also be adversely affected. A significant yield decrease may limit the availability of products we obtain from these crops such as coffee, tea, chocolate or wine, on the global market, i.e. also in Poland.

An increase in temperatures has a negative impact on cocoa yield, and a higher frequency of droughts may lead to losses of up to 15% of trees in production and a yield drop of up to 89%. It is predicted that a decrease in rainwater levels will reduce the area of cultivation of grapes used in the production of premium class wines: in Mediterranean Europe by 54–100%, in California by 50–83%, and in Chile by 23–81%. Due to

specific soil requirements and local microclimate, it may not be possible to move the grapes used for wine production to another location.

For tea and coffee cultivation, in addition to the reduction of rainwater, an increase in average temperatures has been and will continue to be a great risk. It is estimated that due to the increase in average temperatures tea yields will decrease by 40% in East Africa. Studies show that in the second half of this century, there will no longer be any land available for tea cultivation in many regions of Africa: in Mali it will disappear completely whereas in Uganda, the area suitable for cultivation will shrink by 50–75% and in Kenya – by at least 22.5% by 2070. An increase in average temperatures over 23°C during the time when coffee trees give fruit makes it more difficult for the fruit to ripen, and a rise over 30°C significantly reduces yields. High temperatures also significantly increase coffee trees' exposure to diseases and pests.

Similar problems are predicted for the production of many species of fruit and vegetables, especially those grown in tropical regions. However, while a reduction in production or even stopping it entirely will primarily affect the qualitative aspect of food security – a certain group of food products will not be available or their price will go up significantly – for primary crops: cereals, root and fodder crops, and for animal husbandry, a reduction in production volume will affect the quantitative aspect of food security.

A decline in agricultural production in Asia and Africa – the most densely populated areas of the world – will have particularly dire consequences. Forecasts indicate that the average cereal yields in Africa will decrease by about 10% by 2050, with the greatest decrease occurring for wheat (over 17%) and sorghum (almost 15%). In Asia, the average yield decline will be smaller (5%), but very high for maize (nearly 16%) and sorghum (11%). Recent publications indicate that a decrease in maize yields will be visible also in Europe (a few years ago, forecasts predicted a positive impact of climate change on maize crops at this latitude, which has been, however, verified by the latest research). It seems that an increase in the yield potential of other crops – mainly rice, but also sugar beet, and in Asia also sorghum – will not compensate for the decrease in the yields of basic cereals.

The increase in average temperatures and, consequently, in the frequency of heat waves and higher temperatures they entail may offset the indicated increase in the yield potential of some crops, and will also reduce animal production. For instance, in India, the number of days that cause average and severe heat stress in cows will rise from 40 to 104 days around the mid-2020s, which will significantly reduce the volume of milk production and may lead to protein deficit, particularly among the poorest.

Agricultural production decline in these regions will have to be compensated for by an increase in production in other parts of the world. However, it is uncertain whether this will be entirely possible on a global scale. In addition, production will decrease particularly in poor regions, whereas conditions will be better in the affluent countries of the North. This will widen the development gap between the rich North and poor South

even further, provoking conflicts and increasing the need for humanitarian aid. On the other hand, this change will inevitably result in a significant rise in food prices, which will have negative consequences for less affluent people, including those living in rich countries such as Poland.

Climate change will also affect other elements of the food production chain: agro-food processing, transport, storage, and distribution. In the context of these stages of food production, the most dangerous factor will be an increase in the frequency of extreme weather events, which may prevent or significantly hinder food production. The increase in temperatures and growing incidence of heat waves will have an equally negative impact as they will push up the cost of agri-food processing and storage and make transport activities more difficult. This will threaten the continuity of food supplies to certain markets and further increase their cost.

Although Poland is considered to be less exposed to the negative impact of climate change, its agriculture is already suffering from climate change consequences. This includes an increase in the variability of yields, which in 1990–2007 rose by 56% for winter wheat and by 112% for potatoes, compared to 1955–1977. Spring crops are also at risk: an analysis of weather indicators for climate scenarios for spring wheat has shown that the frequency of years with losses of over 20% resulting from weather conditions will rise from 2.3% (1971–2000) to 9.4% in 2021–2050 and to 13% in 2071–2100. Consequently, relative changes in the risk of significant yield losses for spring crops increase four times in 2021–2050 and six times in 2071–2100, as compared to 1971–2000. It is crucial as in Poland sown areas constitute about 73.8% of agricultural land, with cereals being the largest group of crops in terms of area: they occupy 72.1% of the total sowing area (7.8 million hectares). The share of winter cereals in the overall structure is 60%, and of spring cereals – 40%. Thus, even a relatively small percentage decrease of their yields may have very serious negative consequences in the context of the whole country. The levels and distribution of precipitation in Poland have the greatest influence on cereal yields.

As for fruit – with Poland being one of its largest exporters – and field vegetables, the moment when the vegetation period begins and the occurrence (or lack of) spring frosts are important factors that influence yield fluctuations. In 2007, when plants entered the growth phase very early and when the turn of April and May saw strong frosts, most fruit crops were destroyed, and apple yields were three times lower than the multiannual average (for the years 2003–2018). On the other hand, in 2018, when weather conditions were particularly favourable (early beginning of the vegetation period and lack of frost), apple yields were 51.8 percentage points higher than the multiannual average.

Therefore, if the objectives of the Paris Agreement are not met and the average temperatures rise by more than 2°C, the level of food security will go down also in Poland. The area of cereal and root crops cultivation will shrink, with average yields of winter crops decreasing by 10%, sugar beet – by 15%, and potatoes – by 70%. It is only the

cultivation of thermophilic plants that will be highly productive. The share of maize in the total structure of crops in Poland will reach 15–20%, but production results will be unstable and depend on the course of weather in a given year. The fertility of grasslands will go down, and it will be necessary to irrigate pastures, which will boost animal production costs significantly. The agricultural land that will require intensive irrigation may cover 1.5–2.0 million ha. Wherever it is not possible to carry out irrigation, it will be necessary to abandon agricultural production – both crop growing and livestock farming – due to a significant increase in the instability of production economic outcomes. On top of the increase in uncertainty of the course of weather conditions during the year and the rise in the frequency of occurrence and violence of extreme meteorological events, this will be yet another factor limiting food security in Poland.

The agri-food sector in Poland plays an enormous role, not only ensuring food security at the national level but also producing surplus products exported to the European Union or third country markets and creating jobs. Poland is an important exporter of food, with its role on this market constantly growing. In 2019, the volume of export was almost 7% higher than the year before (over PLN 31 billion), with the surplus in trade in these products being over PLN 11 billion. Therefore, it is crucial for the entire economy to maintain this trend.

Consequently, Poland should take an active part in the measures of the European Union aimed at achieving climate neutrality in 2050 and encourage countries from outside the EU to make similar efforts. Gradual but continuous reduction of greenhouse gas emissions is a basic condition for ensuring food security in the medium and long term.

However, given the pace of climate change, mitigation efforts will not be sufficient. It is therefore necessary to implement adaptation strategies. Also, an urgent update of the scope of the Strategic Adaptation Plan for Climate-Sensitive Sectors is required to include measures for the entire agri-food sector. Some of the necessary actions can be undertaken and financed by farmers themselves, e.g. under the Common Agricultural Policy, and by entities active in other sectors involved in the food life cycle. Many of the measures, however, will need to be supported through public funds. It is necessary to strengthen the farm advisory system and the veterinary services which must support farmers in adapting to the new production conditions and limit the risk of new diseases and pests spreading. There is an urgent need to support natural methods of water retention (restoration of mid-field ponds, wetlands, swamps, protection of peatlands, retention of water in drainage ditches, support for soil retention, etc.). On-farm climate change adaptation measures should focus on production systems that aim to protect organic components in the soil, rationalise fertilisation and irrigation and, in animal production, ensure animal welfare under thermal stress. Food security in Poland will depend on whether these measures are taken and whether their scope is sufficient.

1. Wprowadzenie

Zgodnie z definicją przyjętą podczas pierwszego Światowego Szczytu Żywnościowego, który odbył się w Rzymie w dniach 13–17 listopada 1996 roku, bezpieczeństwo żywnościowe będzie osiągnięte wówczas, gdy na wszystkich poziomach: pojedynczego człowieka czy gospodarstwa domowego, a także na poziomie narodowym, regionalnym i globalnym, wszyscy ludzie przez cały czas będą mieli fizyczny i ekonomiczny dostęp do wystarczającej, bezpiecznej i pożywnej żywności zaspokajającej ich potrzeby i preferencje żywieniowe do aktywnego i zdrowego życia¹.

Jest to znacznie szersze ujęcie tego pojęcia niż obowiązująca wcześniej definicja, zgodnie z którą bezpieczeństwo żywnościowe oznaczało dostępność w każdym czasie odpowiedniej podaży podstawowych produktów żywnościowych w celu zaspokojenia stale rosnącej konsumpcji oraz łagodzenia wahań wielkości produkcji oraz cen².

Jak się jednak wydaje, w czasach pogłębiającego się kryzysu ekologicznego i klimatycznego obowiązująca definicja powinna zostać poszerzona o określenie wpływu, jaki wytwarzanie, dystrybucja i wykorzystanie żywności wywiera na środowisko przyrodnicze i klimat. Definicja ta powinna także uwzględniać kwestie społeczne, zwłaszcza wobec nowego zjawiska, jakim jest *land grabbing*³, oraz konieczność zapewnienia, że wytwarzana żywność ma wysoką jakość oraz nie powoduje negatywnych efektów dla zdrowia. Dlatego na potrzeby niniejszej publikacji pojęcie to zostało zdefiniowane w sposób następujący:

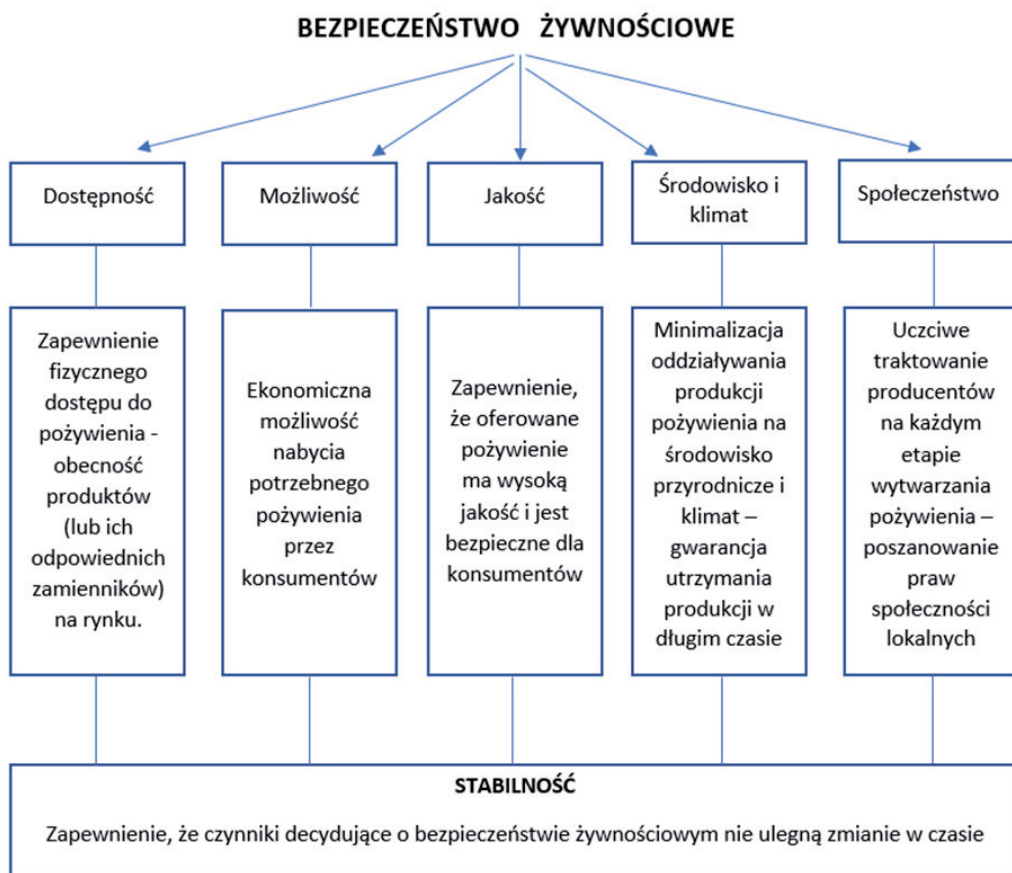
Bezpieczeństwo żywnościowe to stan, w którym wszyscy ludzie, przez cały czas mają fizyczny i ekonomiczny dostęp do wystarczającej i bezpiecznej żywności o wysokiej jakości, zaspokajającej ich potrzeby i preferencje żywieniowe do aktywnego i zdrowego trybu życia, która jest wytworzona, dystrybuowana i wykorzystywana w sposób, który unika i/lub minimalizuje negatywny wpływ produkcji i konsumpcji żywności na zasoby przyrodnicze, lokalne społeczności oraz koncentrację gazów cieplarnianych w atmosferze Ziemi zarówno obecnie, jak i w przyszłości.

¹ World Food Summit, Rome Declaration on World Food Security (1996). <http://www.fao.org/docrep/003/w3613e/w3613e00.HTM> (dostęp: 7.10.2019).

² FAO, 2003: Trade Reforms and Food Security. Conceptualizing the linkages. FAO, Rome.

³ Pojęcie to używane jest na określenie nabywania (lub dzierżawienia) dużych powierzchni ziemi w danym państwie przez firmy, korporacje i/lub osoby fizyczne z innego kraju w celu prowadzenia wielkoprzestrzennej produkcji rolnej. Zazwyczaj inwestorzy pochodzą z krajów bogatych (m.in. USA, Wielka Brytania, ale także Arabia Saudyjska czy Malezja), a ziemia nabywana jest w krajach biedniejszych lub rozwijających się (m.in. Etiopia, Indonezja, Brazylia, Ukraina czy Rosja). Powoduje to ubożenie lokalnych społeczności, wyludnianie terenów wiejskich, wzrost bezrobocia. Niejednokrotnie wprowadzona produkcja rolna opiera się na metodach przemysłowych, czego efektem jest degradacja lokalnych zasobów przyrodniczych.

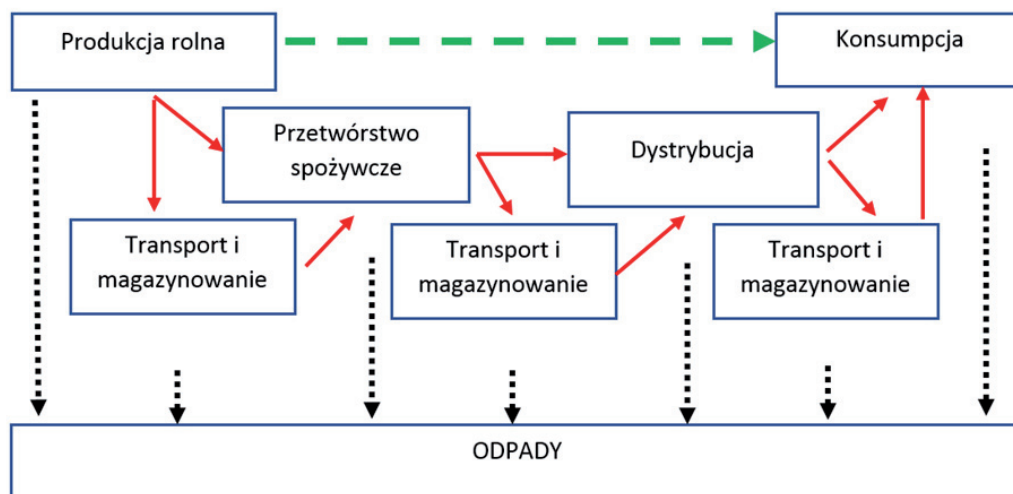
Zgodnie z powyższą definicją, zapewnienie bezpieczeństwa żywnościowego uzależnione jest od spełnienia kilku warunków: dostępności żywności (rozumianej zarówno jako fizyczna dostępność produktów spożywczych, jak i ekonomiczny dostęp do nich), stabilności jej dostaw do konsumentów i jakości dostarczanych produktów. Uwzględnia także wpływ wytwarzania i przetwarzania produktów żywnościowych na środowisko przyrodnicze. Bierze pod uwagę możliwość oddziaływania produkcji rolnej na wzrost stężenia gazów cieplarnianych w atmosferze. Uwzględnia także kwestie społeczne i zasady uczciwego handlu (rys. 1.1). Pełne bezpieczeństwo żywnościowe jest zapewnione tylko wówczas, gdy wszystkie powyższe czynniki są spełnione w wystarczającym stopniu.



RYSUNEK 1.1. Czynniki wpływające na bezpieczeństwo żywnościowego (opracowanie własne)

Im dłuższy jest cykl życiowy pożywienia, to jest im więcej jest etapów pośrednich pomiędzy produkcją rolną a konsumentem (rys. 1.2), tym większe jest ryzyko ograniczenia bezpieczeństwa żywnościowego. Do jego zakłócenia może bowiem dojść na każdym etapie, przy czym dla każdego z nich istnieją specyficzne rodzaje zagrożeń. Na przykład w trakcie transportu produkty żywnościowe mogą zostać stracone zarówno w wyniku katastrofy naturalnej, jak i wypadku komunikacyjnego, a nawet w wyniku pomyłki, która spowoduje, że transportowane produkty ulegną zepsuciu. Należy także pamiętać, że im więcej jest etapów w tym cyklu, tym większa ilość powstających odpadów, a w konsekwencji tym więcej marnowanej żywności – zachodzi bowiem ryzyko, że odpady będą powstawały na każdym etapie.

Obecnie największym zagrożeniem dla bezpieczeństwa żywnościowego jest obserwowany wzrost temperatury na powierzchni Ziemi i jego konsekwencje w postaci zmiany klimatu. Negatywne skutki zmiany warunków klimatycznych już bowiem wpływają na wszystkie etapy procesu produkcji żywności, a prognozy wskazują, że siła i zakres tego oddziaływania będą w kolejnych latach jeszcze większe. Ocenia się, że ze wszystkich dziedzin gospodarki najbardziej zagrożone zmianą klimatu jest rolnictwo. Wiele czynników klimatycznych wpływa bowiem bezpośrednio na powodzenie produkcji rolnej, m.in.: długość okresu wegetacyjnego, wielkość i rozkład opadów atmosferycznych, występowanie zjawisk niekorzystnych, takich jak przymrozki, wysoka lub niska temperatura. Czynniki te są i będą modyfikowane w znaczącym stopniu przez postępującą zmianę klimatu.



RYSUNEK 1.2. Krótki (zielona, przerywana strzałka) i długi (czerwone strzałki) cykl życia produktów żywnościowych. Czarne, kropkowane strzałki przedstawiają miejsca powstawania odpadów i marnotrawstwa żywności (opracowanie własne)

Celem niniejszej publikacji jest ocena, czy i jeśli tak, to w jakim stopniu zmiana klimatu wpłynie na bezpieczeństwo żywnościowe Polski. Skrótowo omówiony zostanie wpływ rolnictwa na klimat, gdyż konieczność ograniczania emisji gazów cieplarnianych z tego sektora może mieć wpływ na kierunki produkcji rolnej oraz stosowane w rolnictwie technologie. Przeanalizowany zostanie wpływ skutków zmiany klimatu na rolnictwo zarówno w ujęciu globalnym, jak i na rolnictwo krajowe. Oceniony zostanie także wpływ skutków zmiany klimatu na inne procesy łańcucha produkcji żywności. Opracowanie kończą podstawowe wnioski i rekomendacje, których wdrożenie (bądź nie) wpłynie na bezpieczeństwo żywnościowe Polski.

2. Wpływ rolnictwa na klimat

2.1. Udział rolnictwa w globalnej emisji gazów cieplarnianych

Rolnictwo, a szerzej cały łańcuch produkcji żywności, w znaczący sposób wpływa na klimat i środowisko przyrodnicze. Wpływ ten ma zarówno charakter bezpośredni – w postaci antropogenicznej emisji gazów cieplarnianych, jak i pośredni – przez przekształcanie gruntów nierolniczych, takich jak lasy, sawanny czy obszary podmokłe, w grunty rolne, a także w wyniku wytwarzania środków produkcji rolnej – nawozów, pestycydów, maszyn rolniczych i in. O wielkości oddziaływania rolnictwa na klimat i środowisko decyduje w dużym stopniu obszar, na którym ten rodzaj działalności jest prowadzony: zgodnie z danymi Banku Światowego tereny rolnicze zajmują około 37,4% całkowitej powierzchni lądów, z tego $\frac{1}{3}$ to grunty orne. Przy tym udział terenów rolniczych w poszczególnych krajach jest bardzo zróżnicowany i wynosi od 0,9% całkowitej powierzchni państwa w Singapurze do niemal 80% w Południowej Afryce, Burundi i Salwadorze⁴.

O wielkości wpływu wywieranego przez ten sektor decyduje też coraz bardziej intensywny model produkcji rolnej. Przez ostatnie 50 lat produkcja rolnicza zwiększyła się 2,5–3-krotnie, podczas gdy powierzchnia gruntów ornych wzrosła w tym czasie jedynie o 12%. Zwiększenie produktywności nastąpiło przede wszystkim w wyniku wykorzystywania większych ilości i dawek nawozów mineralnych, chemicznych środków ochrony roślin oraz wzrostu powierzchni upraw nawadnianych – obecnie 40% produkcji rolnej pochodzi z terenów irygowanych. W wyniku tej zmiany rolnictwo zużywa dziś niemal 70% wody pobieranej przez człowieka z ujęć podziemnych i powierzchniowych⁵. Wydaje się, że w obecnym modelu rolnictwa nie ma już miejsca na dalszą intensyfikację. Dlatego przyszedł czas na wdrażanie metod racjonalizacji wykorzystania środków produkcji w celu ograniczenia nie tylko emisji gazów cieplarnianych do atmosfery przy utrzymanej produktywności, ale również redukcji nakładów – materiałowych i energetycznych – związanych z produkcją żywności.

W latach 2007–2016 rolnictwo wraz z leśnictwem oraz użytkowaniem gruntów odpowiedzialne było za około 23% globalnej emisji gazów cieplarnianych. W przypadku dwutlenku węgla (CO_2) udział tych sektorów w globalnej emisji wynosił 13%, w przypadku metanu (CH_4) – 44%, a w odniesieniu do podtlenku azotu (N_2O) aż 82% całko-

⁴ <https://data.worldbank.org/indicator/AG.LND.AGRI.ZS> (dostęp: 20.01.2020).

⁵ FAO, 2011. The state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW) – Managing systems at risk. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Earthscan. Rome, London.

witej emisji tego gazu ze źródeł antropogenicznych. Jeśli jednak weźmie się pod uwagę cały łańcuch produkcji żywności – w tym wytwarzania środków produkcji rolnej oraz przetwórstwa rolno-spożywczego oraz procesów towarzyszących produkcji żywności – to jego udział w całkowitej emisji gazów cieplarnianych szacuje się na 26–39%⁶. Udział poszczególnych elementów cyklu życiowego produkcji żywności w emisji gazów cieplarnianych przedstawiono w tabeli 2.1.

TABELA 2.1. Wielkość i udział emisji z wybranych etapów produkcji żywności (IPCC 2019, uzupełnione)

Element cyklu produkcji żywności	Wielkość emisji (Gt CO _{2eq} /rok)	Udział w emisji całkowitej (w %)
Rolnictwo	6,2 ±1,9	11–13
Gospodarka gruntami	5,8 ±2,6	10–12
Procesy towarzyszące	3,8 ±1,3	5–14
Produkcja żywności	14,8 ±3,4	26–39

Emisja poszczególnych gazów cieplarnianych w wyniku produkcji żywności powstaje na różnych jej etapach. Należy jednak pamiętać, że oszacowania jej wielkości obarczone są znaczącą niepewnością, m.in. ze względu na pokrywanie się emisji naturalnej z powodowaną poprzez działalność człowieka (np. emisja N₂O z gleb), możliwość podwójnego liczenia emisji (w przypadku przetwórstwa rolno-spożywczego) czy brak wystarczającej ilości danych do jej oszacowania (np. długość linii transportowych niezbędnych do produkcji pożywienia i dostarczenia go na rynek). Niemniej jednak prowadzone analizy pozwalają na jednoznaczne określenie trendów zachodzących zmian.

Rolnicze wykorzystanie gleby, a także gospodarka gruntami powoduje zarówno emisję CO₂, jak i magazynowanie węgla w materii organicznej i biomasie zarówno w wyniku procesów naturalnych, jak i wynikających z działalności człowieka. Szacuje się, że w latach 2007–2016 emisja była większa od pochłaniania o około 5,2 ±2,6 Gt CO₂/rok, głównie w wyniku wylesiania, odwadniania gleb organicznych oraz zmian użytkowania gruntów, które tylko częściowo są kompensowane przez zalesianie oraz inne działania mające na celu zwiększenie pochłaniania i magazynowania węgla. Istotnym źródłem emisji dwutlenku węgla są procesy przetwórstwa rolno-spożywczego, wytwarzanie środków wspierających produkcję rolną oraz transport towarzyszący tym procesom. Od 1990 roku nie ma wyraźnego trendu zmiany wielkości emisji dwutlenku węgla z tych źródeł⁷.

W przypadku emisji CH₄ rolnictwo jest źródłem około 44% całkowitej emisji tego gazu ze źródeł antropogenicznych. Średnioroczną emisję metanu z tego sektora w latach

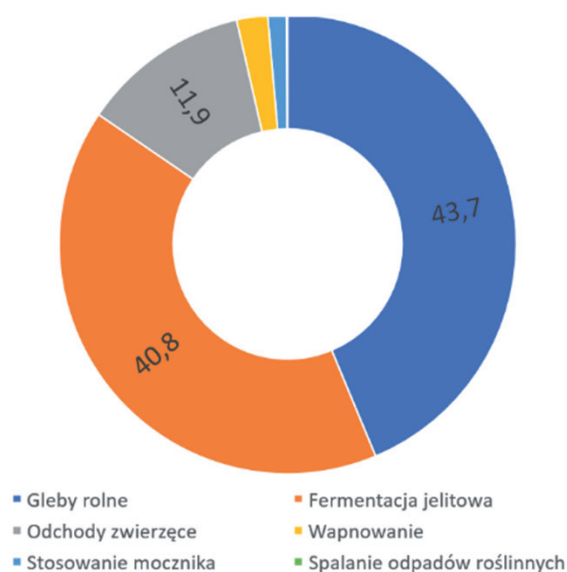
⁶ IPCC, 2019: Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse gas fluxes in Terrestrial Ecosystems Summary for Policymakers. Dostępne na: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/08/4.-SPM_Approved_Microsite_FINAL.pdf (dostęp: 14.10.2019).

⁷ IPCC 2019: Ibidem.

2007–2016 oszacowano na 162 ± 49 Mt CH_4 /rok (to jest około $4,5 \pm 1,4$ Gt $\text{CO}_{2\text{eq}}$ /rok). Metan odprowadzany jest przede wszystkim z produkcji zwierzęcej przeżuwaczy oraz uprawy ryżu. Rozwój tej produkcji w znacznym stopniu odpowiada za rosnącą, od lat 80. do końca XX wieku, emisję tego gazu. W latach 1999–2007 stwierdzono stabilizację emisji metanu z produkcji rolnej, ale po 2007 roku zaczęła ona ponownie wzrastać⁸.

Wielkość emisji N_2O stale rośnie i w latach 2007–2016 jej średnioroczna wielkość wynosiła $8,3 \pm 2,5$ Mt N_2O /rok ($2,3 \pm 0,7$ Gt $\text{CO}_{2\text{eq}}$ /rok). Za ten wzrost odpowiada przede wszystkim zwiększenie nawożenia oraz nieefektywne wykorzystywanie nawozów azotowych (zbyt duże dawki, niewłaściwe metody nawożenia i nawożenie w terminach niedostosowanych do potrzeb roślin). Ponad 35% emisji tego gazu pochodzi z użytkowania gruntów ornych, ponad połowa z produkcji zwierzęcej i użytkowania pastwisk (ze względu na przenawożenie nawozami naturalnymi powstającymi w produkcji zwierzęcej)⁹.

Za ponad 50% całkowitej emisji gazów cieplarnianych z rolnictwa odpowiedzialna jest produkcja zwierzęca (rys. 2.1). Emisja z chowu zwierząt ma charakter bezpośredni i pośredni. Średnia roczna emisja gazów cieplarnianych z hodowli zwierząt gospodarczych w latach 1995–2005 wynosiła 5,6–7,5 Gt $\text{CO}_{2\text{eq}}$ /rok. Emisja bezpośrednia, przede wszystkim proces fermentacji jelitowej przeżuwaczy, powodowała w tym okresie odprowadzanie około 1,6–2,7 Gt $\text{CO}_{2\text{eq}}$ /rok, a gospodarka odchodami zwierzęcymi około 0,4–0,9 Gt $\text{CO}_{2\text{eq}}$ /rok. Pośrednio hodowla zwierząt przyczynia się do wzrostu emisji N_2O na skutek nawożenia pastwisk i upraw pastewnych (w latach 1995–2005 było to około 1,3–2,0 Gt $\text{CO}_{2\text{eq}}$ /rok) oraz emisji CO_2 spowodowanej zmianami przeznaczenia gruntów, odlesianiem i osuszaniem gleb organicznych na potrzeby tworzenia nowych pastwisk (około 1,6 Gt $\text{CO}_{2\text{eq}}$ /rok)¹⁰.



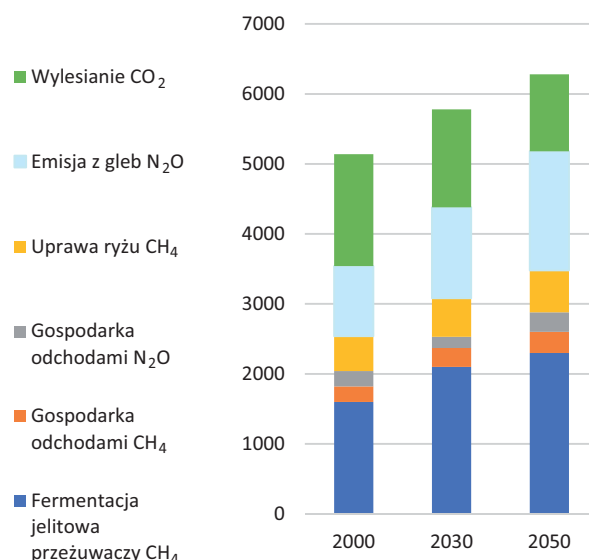
RYSUNEK 2.1. Udział podsektorów w emisji z rolnictwa w 2016 roku. Uwzględniono wszystkie gazy cieplarniane przeliczone na ekwiwalent CO_2 (IPCC 2018)

⁸ IPCC 2019: Ibidem.

⁹ IPCC 2019: Ibidem.

¹⁰ Herrero M., Henderson B., Havlik P., Thornton P.K., Conant R.T., Smith P., Wiersenius S., Hristov A.N., Gerber P., Gill M., Butterbach-Bahl K., Valin H., Garnett T., Stehfest E., 2016: Greenhouse gas mitigation potentials in the livestock sector. *Nature Climate Change* 6: 452–461.

Zgodnie ze scenariuszem business-as-usual, emisja z hodowli zwierząt będzie do 2050 roku szybko wzrastać (rys. 2.2). W przypadku fermentacji jelitowej prognozuje się wzrost emisji metanu na poziomie 0,9–5% rocznie, w przypadku emisji z gospodarki odchodami zwierzęcymi wzrost ten wyniesie rocznie 0,9–4% w przypadku metanu i 1,2–3% w odniesieniu do podtlenku azotu. Przyczyni się to do wzrostu emisji z chowu zwierząt na poziomie 1–1,5% rocznie. Prognozuje się także szybki wzrost produkcji pastewnej na potrzeby wzrastającej produkcji drobiu i trzody chlewnej (5% rocznie). Produkcja zwierzęca powodować będzie także dalsze wylesianie, które wzrastać będzie na poziomie około 0,8% rocznie¹¹. Dane te wskazują, że bez zmiany nawyków konsumpcyjnych i zmniejszenia w diecie ilości spożywanego mięsa nie będzie możliwe osiągnięcie neutralności klimatycznej rolnictwa.



RYСУNEK 2.2. Zmiana wielkości emisji (bezpośredniej i pośredniej) z produkcji zwierzęcej (Havlik i in. 2016)¹²

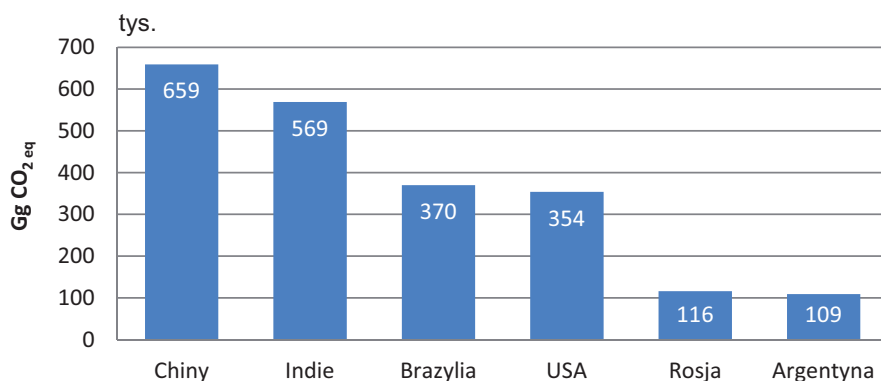
Największy udział w emisji gazów cieplarnianych z rolnictwa mają Azja (42,7%) i obie Ameryki (25,2%), podczas gdy Europa produkuje około 14% (FAOSTAT, 2015¹³). Państwa, które znajdują się wśród największych światowych emitatorów gazów

¹¹ Herrero M. i in., 2016: Ibidem.

¹² Havlik, P., Valin H., Mosnier A., Obersteiner M., Baker J.S., Herrero M., Rufino M.C., Schmid E., 2016: Crop productivity and the global livestock sector: Implications for land use change and greenhouse gas emissions. *American Journal of Agricultural Economics* 95: 442–448.

¹³ FAOSTAT, 2015: Emissions – Agriculture. faostat3.fao.org/browse/G1/*E (dostęp: 13.12.2019).

cieplarnianych pochodzących z rolnictwa to Chiny, Indie, Brazylia i USA (rys. 2.3). Interesującym przypadkiem (rys. 2.3) jest Argentyna – państwo znacznie mniej ludne (około 40 mln mieszkańców) niż pozostałe kraje o największej emisji z rolnictwa, ale które opiera ten sektor przede wszystkim na produkcji wołowiny, rocznie ubija się w nim około 13 mln krów, a pogłowie sięga ponad 50 mln sztuk. W ostatnich latach produkcja mięsa wołowego w Argentynie szybko wzrasta ze względu na zainteresowanie jego odbiorem przez importerów z Chin¹⁴. Może się to przyczynić do znacznego wzrostu emisji metanu w tym kraju.



RYSUNEK 2.3. Emisja gazów cieplarnianych z sektora rolniczego w państwach należących do 10 największych światowych emitorów (FAOSTAT 2015¹⁵)

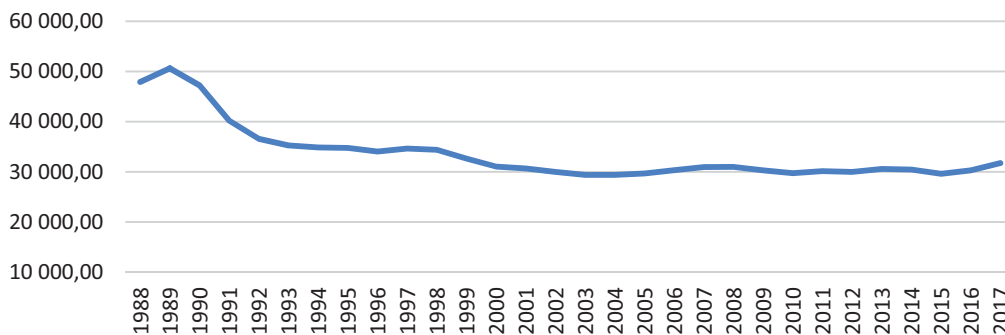
2.2. Oddziaływanie polskiego rolnictwa na klimat

W 2017 roku w polskim rolnictwie całkowita emisja gazów cieplarnianych wyniosła 31 739,73 kt CO₂eq, co stanowiło około 7,7% całkowitej antropogenicznych emisji kraju. W stosunku do roku poprzedniego wielkość emisji w 2017 roku była o około 4,7% większa i był to trzeci kolejny rok, w którym emisja gazów cieplarnianych z produkcji rolnej w Polsce wzrastała (rys. 2.4)¹⁶.

¹⁴ <https://www.farmer.pl/produkcja-zwierzece/bydlo-i-mleko/argentyna-zwieksza-eksport-wolowiny,89907.html> (dostęp: 22.01.2020).

¹⁵ FAOSTAT, 2015: Ibidem.

¹⁶ KOBIZE, 2019: Poland's National Inventory Report 2019 Greenhouse Gas Inventory for 1988–2017 Submission under the UN Framework Convention on Climate Change and its Kyoto Protocol. IOŚ-PIB/KOBIZE. Warsaw.



RYСУNEK 2.4. Zmiany wielkości emisji gazów cieplarnianych z polskiego rolnictwa w latach 1989–2017 (KOBIZE)¹⁷

Polskie rolnictwo jest przede wszystkim źródłem emisji podtlenku azotu, w 2017 roku aż 54,93 kt N₂O (16,36 Mt CO_{2eq}), to jest 78,6% całkowitej, antropogennej emisji tego gazu spowodowane było działalnością rolniczą. Ponad 87% jej pochodziło z użytkowania gruntów (nawożenia azotowego), pozostałe 13% powstało w wyniku gospodarki odchodami zwierzęcymi. W tym okresie z produkcji rolnej odprowadzono do atmosfery około 579,1 kt CH₄ (14,48 Mt CO_{2eq}). Emisja metanu z rolnictwa to 29% emisji ze wszystkich źródeł krajowych. W polskim rolnictwie głównym źródłem metanu jest fermentacja jelitowa oraz gospodarka odchodami zwierzęcymi¹⁸. Udział poszczególnych źródeł w całkowitej emisji gazów cieplarnianych z polskiego rolnictwa przedstawiono na rysunku 2.5.

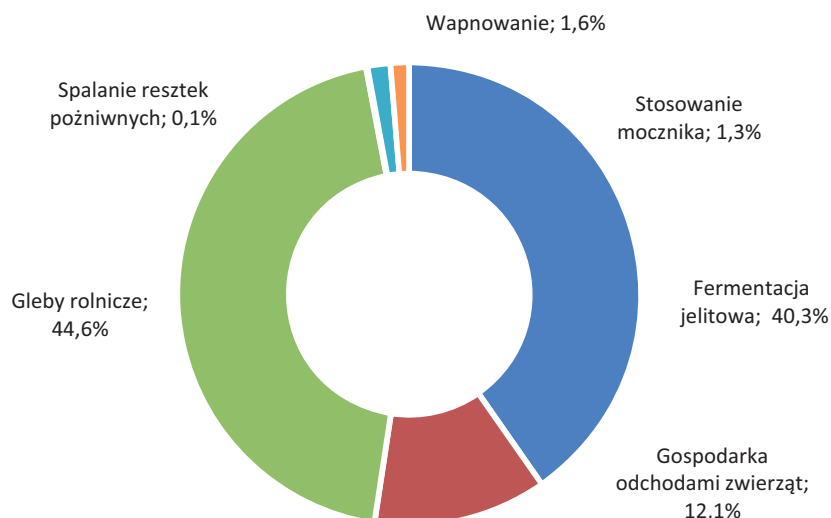
Wielkość emisji jest pochodną stosowanych technik uprawowych. Na podstawie badania 35 gospodarstw w Polsce uprawiających kukurydzę oceniono, że emisje gazów cieplarnianych (GC) z technologii tej uprawy wahały się od 1178 do 4636 kg CO_{2eq}/ha (średnio 3434 kg CO_{2eq}/ha), w zależności od ilości zastosowanych środków produkcji. W przeliczeniu na plon odpowiada to emisjom na średnim poziomie 0,37 kg CO_{2eq}/kg ziarna (od 0,23 do 0,78 kg CO_{2eq}/kg ziarna). Największy udział w emisjach GC związany był z użyciem nawozów azotowych (połowe emisje N₂O: bezpośrednie – 54,1%, pośrednie – 13,9%) i emisją powstałą na poziomie produkcji nawozów azotowych (21,6%). Emisje związane z wytworzeniem i użyciem pozostałych środków produkcji stanowiły razem około 10% szacowanych emisji¹⁹.

Podobne analizy przeprowadzone w 55 gospodarstwach, które uprawiały pszenice ozimą, wykazały, że ślad węglowy 1 kg pszenicy ozimej wynosi 0,488, 0,481 i 0,411 kg

¹⁷ Ibidem.

¹⁸ Ibidem.

¹⁹ Żyłowski T., Król A., Kozyra J., 2018: Ocena możliwości ograniczenia śladu węglowego w uprawie kukurydzy na ziarno, *Roczniki (Annals), Polish Association of Agricultural Economists and Agribusiness – Stowarzyszenie Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu (SERiA)*, vol. 4.



RYСУNEK 2.5. Udział poszczególnych źródeł rolniczych w całkowitej emisji z sektora w 2017 roku (KOBIZE)

ekwiwalentu CO₂, odpowiednio dla małych, średnich i dużych gospodarstw. Uprawy prowadzone w dużych gospodarstwach cechuje więc niższy ślad węglowy. W analizowanych gospodarstwach emisje gazów cieplarnianych w zależą od wielkości gospodarstwa i wahały się od 2378 kg CO_{2eq} na ha dla dużych gospodarstw do 2759 kg ekwiwalentu CO₂ dla małych gospodarstw. Główny wkład w ogół emisji z uprawy miały emisje w postaci podtlenku azotu (49–52%), a następnie produkcja nawozów azotowych (31–33%) i wykorzystanie oleju napędowego (11–13%)²⁰.

Wykazano również, że wielkość emisji uzależniona jest od technologii uprawy, a szczególnie od intensywności orki. Poprawa agrotechniki polegająca na wprowadzeniu uprawy uproszczonej lub bezorkowej z pozostawieniem słomy wpływa na zmniejszenie emisji polowych odpowiednio o 19–56% w systemie uproszczonym i 17–33% w bezorkowym w stosunku do systemu orkowego²¹. Nie są to jedyne możliwości ograniczenia emisji, w Polsce zidentyfikowano wiele technik i działań, których zastosowanie w rolnictwie pomogłoby zmniejszyć wielkość śladu węglowego tej produkcji²².

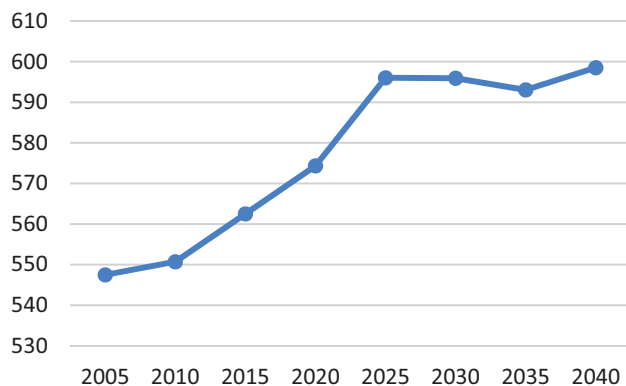
O tym, jak ważne jest wdrożenie tych technik, świadczy fakt, że zgodnie z obecnymi prognozami emisja gazów cieplarnianych z polskiego rolnictwa wzrośnie. Dotyczy to

²⁰ Syp A., Faber A., Borzęcka-Walker B., Osuch D., 2015: Assessment of greenhouse gas emissions in winter wheat farms using Data Envelopment Analysis approach. *Polish Journal of Environmental Studies* 24: 2197–2203.

²¹ Jarosz Z., Faber A., 2015. Wpływ wdrożenia pośredniej zmiany użytkowania gruntów na ograniczenie emisji gazów cieplarnianych w cyklu życia biopaliw. *Roczniki Naukowe SERiA*, 2015, XVII, z. 2, 87–93.

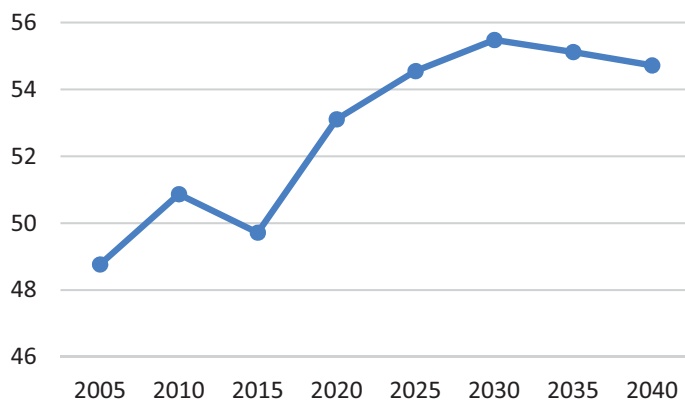
²² Aktualny stan problematyki ochrony środowiska i zmian klimatu w sektorze rolnictwa, 2017. Monografia pod red. Walczaka J. i Krawczyka W. Instytut Zootechniki – PIB, Kraków.

przede wszystkim wzrostu ilości odprowadzanego metanu (rys. 2.6), co będzie konsekwencją wzrostu pogłowia zwierząt hodowlanych oraz prognozowanego wzrostu konsumpcji wołowiny.



RYSUNEK 2.6. Prognoza zmiany wielkości emisji CH₄ (kt/rok) z polskiego rolnictwa do 2040 roku (MAP 2019²³)

Także w przypadku podtlenku azotu prognozuje się wzrost emisji tego gazu odprowadzanego z polskiego rolnictwa (rys. 2.7). Będzie to konsekwencją wzrostu zużycia nawozów zarówno mineralnych, jak i organicznych.



RYSUNEK 2.7. Prognoza zmiany wielkości emisji N₂O (kt/rok) z polskiego rolnictwa do 2040 roku (MAP 2019)²⁴

²³ Ministerstwo Aktywów Państwowych, 2019: Krajowy Plan na rzecz klimatu i energii na lata 2021–2030. Założenie i cele oraz polityki i działania. MAP, Warszawa.

²⁴ Ibidem.

Brak scenariusza alternatywnego do prognozowanego wzrostu wielkości emisji z rolnictwa należy uznać za istotne zagrożenie dla bezpieczeństwa żywnościowego. Polska będzie bowiem musiała wypełnić swoje zobowiązania wynikające zarówno z ratyfikacji porozumienia paryskiego do Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie Zmiany Klimatu, jak i zobowiązania wynikające z członkostwa w Unii Europejskiej i celów Pakietu Klimatyczno-Energetycznego 2030. Niepodjęcie działań, które sprzyjałyby obniżeniu emisji w nadchodzących latach, może doprowadzić do sytuacji, że nasz kraj, aby sprostać wyzwaniom redukcyjnym, będzie musiał albo ograniczyć wielkość produkcji rolnej, albo wdrożyć bez właściwego pilotażu i przygotowania pilne działania na rzecz zmniejszenia wielkości emisji. Obie metody będą negatywnie oddziaływały na stabilność funkcjonowania sektora rolniczego.

Niemniej jednak, dążąc do osiągnięcia celu neutralności klimatycznej, jaki na 2050 rok postawiła sobie Unia Europejska, oraz zagwarantowania bezpieczeństwa żywnościowego w skali globalnej, wysiłki ograniczenia emisji należy skoncentrować nie tylko na produkcji rolnej, ale również na racjonalizacji wykorzystania tego, co wyprodukują rolnicy. Dalsze zwiększenie produkcji w rolnictwie będzie mogło być zrealizowane poprzez metody zrównoważone zarówno środowiskowo, jak i społecznie pod warunkiem racjonalizacji konsumpcji i ograniczenia marnowania żywności. Podstawą funkcjonowania sektora żywnościowego powinny stać się zasady agroekologii, to jest przyjęcie, że podstawą funkcjonowania rolnictwa jest utrzymywanie produktywności gleb i stabilności warunków klimatycznych, uznanie, że konsumpcja żywności powinna odbywać się przede wszystkim w regionach geograficznych – to jest tam, gdzie została ona wyprodukowana, a żywność powinna być wytwarzana w krótkich łańcuchach dostaw. Istnieje potrzeba poprawy relacji pomiędzy producentami, przetwórcami, dystrybutorami i konsumentami żywności. Z uwagi na dobro, jakim jest dostęp do żywności, zrównoważone korzyści z jej wytwarzania, ale także koszty wynikające z potrzeby wdrażania działań na rzecz ochrony klimatu i środowiska oraz adaptacji do skutków zmiany klimatu powinny być solidarnie rozłożone na poszczególnych etapach produkcji, przetwarzania i dystrybucji.

3. Skutki zmiany klimatu dla warunków produkcji rolnej

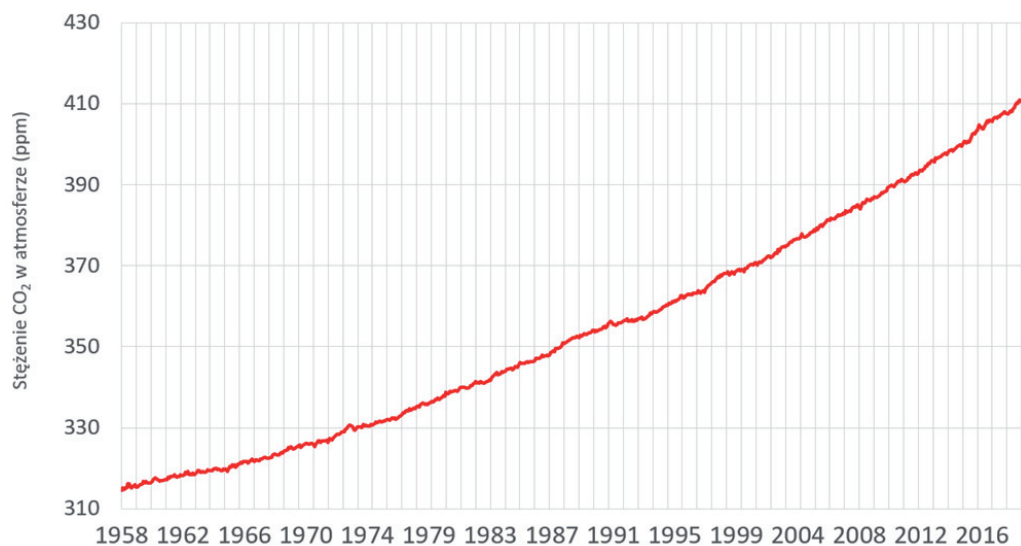
Dotychczas przyjmowano, że klimat to charakterystyka wieloletnia warunków meteorologicznych w danym miejscu określona na podstawie wieloletnich obserwacji. Jako minimalną długość okresu, na podstawie którego charakteryzowano klimat, przyjmowano ostatnie 30 lat. Przyjmowano jednocześnie, że klimat w następnych latach nie zmieni się istotnie w stosunku do poprzedzającego go wielolecia. Antropogeniczny efekt cieplarniany nie pozwala jednak dłużej na charakterystykę klimatu według tych założeń. Nie można już, na podstawie ubiegłych lat, bez uwzględnienia obserwowanego trendu wzrostu globalnej temperatury, opisywać warunków klimatycznych dla rolnictwa. Większą wiarygodność mają prognozy oparte na ekstrapolacji obserwowanych ostatnio tendencji w wartościach średnich rocznych temperatury. Trend ten wynosi w Polsce $0,3^{\circ}\text{C}$ na dekadę²⁵. Jeśli obserwowana tendencja wzrostu globalnej temperatury utrzyma się – na co wskazują obecne prognozy – wraz z ociepleniem atmosfery zwiększy się częstość zjawisk pogodowych niekorzystnych dla rolnictwa, takich jak: susze, gwałtowne burze, fale upałów. Przy prognozowanym dalszym wzroście temperatury znacznie zwiększy się parowanie z gruntu i roślin, co spowoduje ograniczenie dostępności wody opadowej dla roślin.

Obserwowane tendencje klimatyczne należy wiązać ze wzrostem stężenia dwutlenku węgla w atmosferze. Od 1958 roku wzrosło ono z 315 ppm do 410 ppm, czyli o około 30% (rys. 3.1). Wzrost zawartości dwutlenku węgla w atmosferze ma znaczący wpływ na bilans energetyczny Ziemi, zmianę warunków klimatycznych i procesy biologiczne. Wpływa także na procesy fotosyntezy roślin, zwiększając ich produktywność. Jednak efekt ten zachodzi tylko w przypadku dostępności odpowiedniej ilości wody dla roślin. Dlatego też w okresach suszy lub deficytu wody nie przynosi poprawy plonowania w rolnictwie²⁶.

Obserwowane już obecnie oraz prognozowane na kolejne lata skutki zmiany klimatu będą miały istotny wpływ na produkcję żywności, przede wszystkim na rolnictwo. Rodzaj, kierunki oraz powodzenie produkcji rolnej w przeważającym stopniu zależą bowiem od czynników klimatycznych: długości okresu wegetacyjnego, warunków termicznych zarówno w czasie wegetacji (fale upałów, przymrozki), jak i podczas zimy

²⁵ Górski T., Kozyra J., 2011: Agroklimatyczna norma średniej temperatury powietrza w Polsce na lata 2011–2020. *Polish Journal of Agronomy* 5: 21–28.

²⁶ Weber H. i in., 2018: Diverging Importance of Drought Stress for Maize and Winter Wheat in Europe. *Nature Communications* 9(1): 1–10.



RYSUNEK 3.1. Zmiana stężenia dwutlenku węgla w atmosferze od 1958 roku (<http://scrippsco2.ucsd.edu/data/>)

TABELA 3.1. Zmiany wybranych charakterystyk klimatu w Polsce 1971–2090 (<http://klimada.mos.gov.pl/zmiany-klimatu-w-polsce/przyszle-zmiany-klimatu/>)

Wyszczególnienie	1971– –1980	1981– –1990	1991– –2000	2001– –2010	2011– –2020	2021– –2030	2041– –2050	2061– –2070	2071– –2090
Średnia temperatura roczna [°C]	7,4	7,8	8,0	8,2	8,6	8,7	9,3	10,1	10,6
Liczba dni z $T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$	114	107	101	102	97	97	82	72	65
Liczba dni z $T_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$	27	27	30	29	36	35	37	46	52
Liczba stopniodni, $T < 17^{\circ}\text{C}$	3616	3488	3384	3374	3237	3236	3005	2803	2664
Długość okresu wegetacyjnego $T_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$ (dni)	199	205	210	217	223	224	237	247	253
Maksymalny opad dobowy [mm]	25,4	25,6	25,6	31,5	30,3	31,9	32,2	32,9	33,7
Najdłuższy okres mokry (opad $> 1\text{ mm}$ w dniach)	20	21	21	20	22	22	22	24	24
Liczba dni z pokrywą śnieżną	9	9	9	9	9	9	9	9	9

(pokrywa śnieżna, mrozy), nasłonecznienia, wielkości i rozkładu opadów atmosferycznych. Ponieważ globalne ocieplenie oddziałuje w szerokim zakresie na te elementy klimatu, to oczywiste jest, że ma to wpływ na warunki produkcji rolnej zarówno w ujęciu globalnym, jak i regionalnym oraz krajowym. Będą więc miały znaczący wpływ na bezpieczeństwo żywnościowe.

Zmiany, jakie zaszły w czynnikach klimatycznych w Polsce po 1971 roku i są prognozowane do 2090 roku, a które mają wpływ na warunki produkcji rolnej, przedstawiono w tabeli 3.1. Analizując je należy mieć na uwadze, że prognozy zostały opracowane kilka lat temu w ramach projektu KLIMADA, gdy zakładano, że zachodzące zmiany będą miały mniejsze tempo. Jak jednak wskazują dane opublikowane w specjalnym raporcie IPCC w 2018²⁷ roku, tempo zachodzących zmian jest znacznie wyższe niż zakładano to kilka lat temu. Dlatego należy oczekiwać, że warunki prognozowane na dwudziestolecie 2071–2090 mogą wystąpić jeszcze przed połową tego wieku.

Ekstremalne zjawiska pogodowe

Jednym z najbardziej niebezpiecznych skutków zmiany klimatu jest wzrost częstości i intensywności ekstremalnych zjawisk pogodowych: huraganowych wiatrów, gradu i nawałnych deszczy. Zjawisko to obserwujemy już obecnie, ale prognozuje się, że będzie się ono nasilać. Dotyczy to także Polski.

Zmiana klimatu wpływa na rozszerzenie zasięgu występowania huraganowych wiatrów²⁸. Dlatego coraz częściej występują one także w Polsce. Od 2005 r. wystąpiło w naszym kraju kilkanaście huraganów, w których prędkości wiatru okresowo przekraczały 30–35 m/s. Najbardziej narażone na wiatry huraganowe są środkowa i wschodnia część Pobrzeża Słowińskiego, od Koszalina po Rozewie i Hel, oraz szeroki, równoleżnikowy pas Polski północnej po Suwalszczyznę, rejon Beskidu Śląskiego, Beskidu Żywieckiego, Pogórza Śląskiego i Podhala oraz Pogórza Dynowskiego, centralna część Polski z Mazowszem i wschodnią częścią Wielkopolski²⁹.

Od kilku lat w naszym kraju występuje także systematyczny wzrost częstości występowania trąb powietrznych, w których wiatr osiąga prędkości od 30 do 120 m/s. O ile w latach 90. XX wieku zjawiska te występowały 1–2 razy w roku, to na początku XXI wieku już około 6 razy w roku, a na początku drugiej dekady XXI wieku częstość ich występowania wzrosła do 7–20 w roku (rys. 3.2). Już dziś można w Polsce można wydzielić charakterystyczny pas, wzdłuż którego prawdopodobieństwo występowania trąb powietrznych jest największe. Ma on przebieg południkowy: od zachodniej części Podkarpacia, przez Wyżynę Śląsko-Krakowską, Wyżynę Małopolską, centralną część Nizin Środkowopolskich, po wschodnią część Pojezierza Południowobałtyckiego³⁰.

²⁷ 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. IPCC. Oxford, New York.

²⁸ Kossin J.P., Emanuel K.A., Suzana J. Camargo S.J., 2016: Past and Projected Changes in Western North Pacific Tropical Cyclone Exposure. *Journal of Climate* 29 (16): 5725–5738.

²⁹ <http://klimada.mos.gov.pl/zmiany-klimatu-w-polsce/tendencje-zmian-klimatu/>

³⁰ Wieczorek L., 2016: Zmienność czasowo-przestrzenna występowania trąb powietrznych w Europie i w Polsce w latach 1998–2013. *Przegląd Geograficzny* 88 (3): 353–368.

Huraganowe wiatry, a zwłaszcza trąby powietrzne powodują ogromne szkody, te drugie przede wszystkim w skali lokalnej, zarówno w majątku trwałym (niszczenie budynków, linii energetycznych itp.), w uprawach, jak i w systemach przyrodniczych. Dlatego też stwarzają one znaczne zagrożenie dla produkcji żywności.



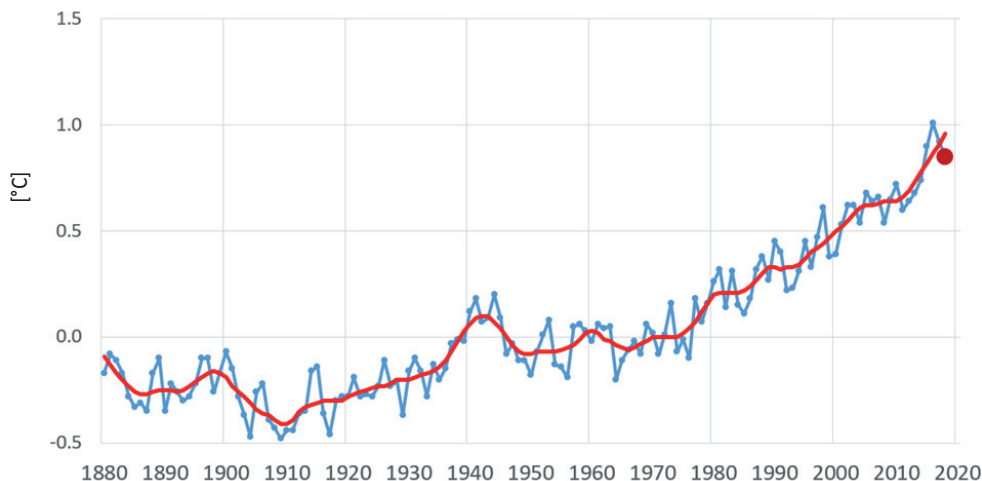
RYСУNEK 3.2. Zmiana częstości występowania trąb powietrznych w Polsce w latach 1995–2010 (IMGW za: <https://klimada.mos.gov.pl/zmiany-klimatu-w-polsce/tendencje-zmian-klimatu>)

Wzrost zasobów ciepła

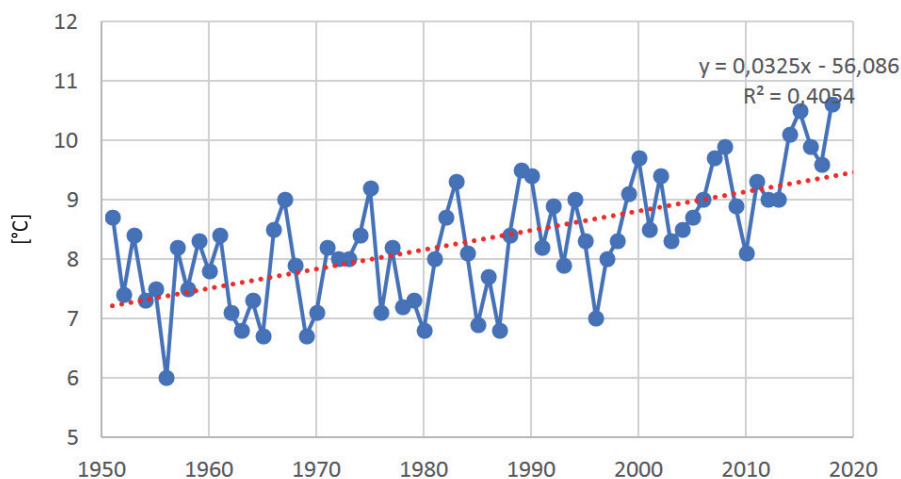
Wzrastające stężenie gazów cieplarnianych w atmosferze skutkuje zatrzymaniem przy powierzchni Ziemi dodatkowej ilości energii cieplnej i wzrost temperatury atmosfery względem średniej z lat 1951–1980 według tych analiz osiągnął już 1°C (rys. 3.3).

Wzrost średniej temperatury nie jest jednak równomierny dla obszaru całego kraju. Dla przykładu w Warszawie średnia roczna temperatura wzrosła o połowy XX wieku niemal o 2° C (rys. 3.4).

Podstawowym skutkiem wzrostu średniej rocznej temperatury powietrza dla produkcji rolnej jest wydłużenie się okresu wegetacyjnego (rys. 3.5) i wzrost zasobów ciepła, które decydują o rozwoju roślin. W latach 2001–2009 okres wegetacyjny w Polsce wyznaczony przez temperaturę wyższą od 5°C był dłuższy o 8 dni niż w latach 1971–2000. Największe zmiany stwierdzono w północno-zachodniej Polsce, gdzie okres ten wydłużył nawet o 16 dni. Według analizy kilku scenariuszy klimatycznych, w perspektywie 2030 roku okres wegetacyjny w środkowej Polsce będzie



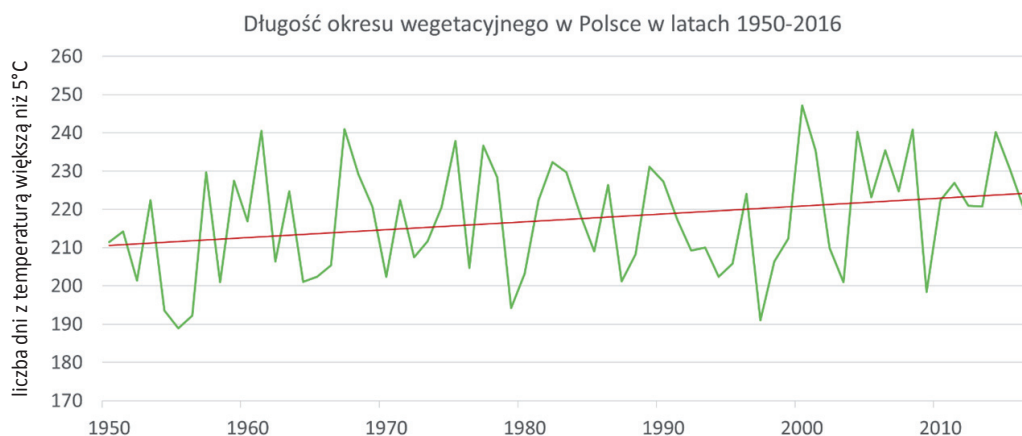
RYSUNEK 3.3. Odchylenie temperatury powietrza przy powierzchni Ziemi w latach 1880–2018 od średniej z lat 1951–1980 (<https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/>). Czerwona linia odzwierciedla tendencję



RYSUNEK 3.4. Zmiana średniej temperatury powietrza w Warszawie w latach 1951–2018 (opracowanie własne na podstawie danych meteorologicznych dostępnych na <https://meteomodel.pl>). Czerwoną przerywaną linią pokazano trend zmiany

dłuższy o 14 dni niż w latach 1971–2000, a w perspektywie 2050 roku o 27 dni. W południowo-zachodniej Polsce długość okresu wegetacyjnego do 2030 roku wydłuży się o 17 dni, a do 2050 roku – o 30 dni³¹.

³¹ Nieróbca A., Kozyra J., Mizak K., Wróblewska E., 2013: Zmiana długości okresu wegetacyjnego w Polsce. Woda, Środowisko, Obszary Wiejskie 2 (42): 81–94.



RYСУNEK 3.5. Długość okresu wegetacyjnego w Polsce w latach 1950–2016 (Król, Kozyra 2018 na podstawie danych E-OBS: <http://www.ecad.eu/download/ensembles>)

Wraz ze wzrostem długości okresu wegetacyjnego wzrastają możliwości produkcyjne rolnictwa oraz możliwość zróżnicowania upraw na danym obszarze. Wydłużanie się okresu wegetacyjnego można uważać za korzystny efekt zmiany klimatu. Należy jednak podkreślić, że ten korzystny efekt będzie następował tylko pod warunkiem zapewnienia uprawom odpowiednich warunków wilgotnościowych, poprzez korzystny rozkład opadów atmosferycznych i odpowiednią agrotechnikę lub nawadnianie. W przypadku pasków w okresie letnim warunki suszy mogą zniwelować korzystny efekt wydłużonego okresu wegetacyjnego. Wcześniejsze ruszenie wegetacji wiąże się również z większą ekspozycją upraw na przymrozki wiosenne. Niebezpieczne dla upraw są sytuacje braku zahartowania roślin w okresie zimy.

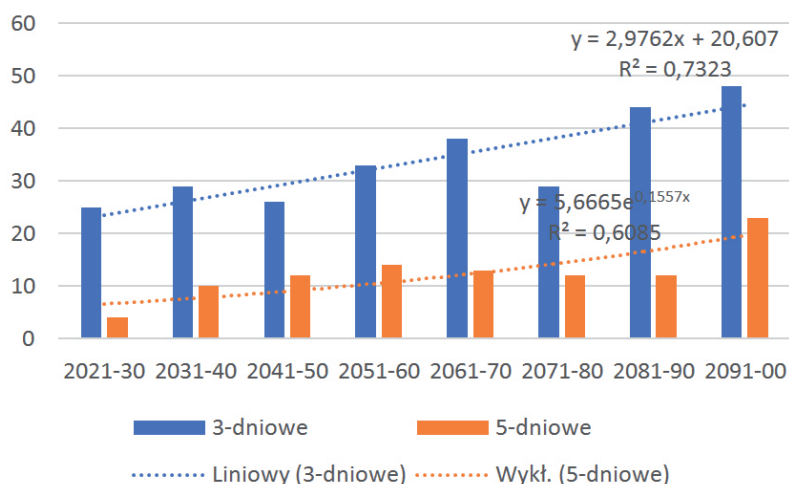
Zmiany warunków termicznych będą miały szczególne znaczenie dla roślin ciepłolubnych. Wzrost zasobów ciepła przyspieszy rozwój roślin, co oznacza, że poszczególne okresy rozwojowe będą krótsze a w konsekwencji możliwe będą szybsze zbiory. Wcześniejsze dojrzewanie roślin określanych jako ciepłolubne, takich jak kukurydza, sorgo, soja czy winorośl, oznacza zwiększone możliwości ich uprawy w Polsce. Z kolei w przypadku roślin ozimych efekt skracania okresów międzyfazowych ogranicza czas przyrostu ich biomasy, szczególnie w sytuacji wystąpienia w danym okresie warunków suszy, i nie jest to czynnik korzystny. Analizy plonowania upraw w Europie wskazują jednak, że rośliny ozime będą miały w dużej mierze zapewniony dostęp do wody z okresu zimowego, natomiast rośliny jare będą odczuwały deficyty wody i wysokiej temperatury w lecie, co przełoży się na spadki plonowania³². Konsekwencją wzrostu zasobów ciepła będzie konieczność zmian struktury upraw i terminów zabiegów agrotechnicznych³³.

³² Webber i in., 2018: Ibidem.

³³ Kozyra J., 2013: Wpływ prognozowanych zmian temperatury powietrza na fenologię zbóż ozimych w Polsce. Monografie i Rozprawy Naukowe IUNG-PIB, 40, ss. 114.

Prognozowany wzrost temperatury atmosfery oznacza większą częstość występowania fal upałów, czyli dni z temperaturą przekraczającą 30°C. Dotychczas takie sytuacje w Polsce były bardzo nieliczne, jednak należy zakładać wzrost liczby fal upałów i w konsekwencji pogłębienia się problemów związanych z niedoborami wody i większe straty suszowe. Wzrost częstości fal upałów stwarzać będzie zagrożenie przede wszystkim dla efektywności produkcji zwierzęcej i może powodować konieczność schładzania w ich trakcie pomieszczeń inwentarskich. Wysokie temperatury utrudniać będą również prowadzenie prac polowych.

Prognoza zmian występowania fal upałów została przygotowana dla Warszawy na podstawie modelu zmian temperatury ARPEGE, zgodnie z którym zakres występujących temperatur wahać się będzie w przedziale od –15 do +45°C, a prawdopodobieństwo wystąpienia temperatur wyższych niż 27–30°C wynosi 10%. Jeśli zmiany przebiegać będą zgodnie z tym modelem, to już w latach 2041–2070 maksymalne temperatury w miesiące mogą sięgnąć około 43°C, a temperatury w przedziale 30–35°C występować będą przez 22–23 dni w roku. W omawianym okresie mogą wystąpić także (do 4 dni w roku) fale upałów z temperaturami w granicach 35–40°C (rys. 3.6). Scenariusz ten prognozuje znaczny wzrost prawdopodobieństwa występowania fal upałów: w latach 2041–2070 częstość 3-dniowych fal upałów z temperaturami ponad 30°C wzrośnie o około 280 pkt proc., a w przypadku 5-dniowych fal upałów aż o 600 pkt proc. (w okresie 2071–2100 wzrost ten wyniesie odpowiednio około 370 i 700 pkt proc.)³⁴.



RYСУNEK 3.6. Wzrost częstości występowania w Warszawie 3-dniowych i 5-dniowych fal upałów zgodnie z modelem ARPEGE (Kuchcik 2013). Przerywane odcinki – linie trendu zmian

³⁴ Kuchcik M., 2013: The Attempt to Validate the Applicability of Two Climate Models for the Evaluation of Heat Wave Related Mortality in Warsaw in the 21st Century. *Geographia Polonica* 86 (4): 295–311.

Bardziej dynamiczna atmosfera stwarzać będzie możliwość występowania gwałtownych zmian w warunkach pogodowych w zimie, co zwiększy ryzyko wymarzania upraw i w konsekwencji zwiększenia się strat upraw z tego powodu. Niekorzystna będzie sytuacja termiczna umożliwiająca wznowienie wegetacji upraw ozimych lub braku zahartowania upraw wieloletnich podczas zimy, jak również pojawienie się szkodników roślin uprawnych w tym okresie.

Zmiana cyklu opadowego

Opady atmosferyczne wykazują w Polsce dużą zależność od ukształtowania powierzchni. Średnia suma opadów wynosi blisko 600 mm, ale opady wahają się od poniżej 500 mm w środkowej części Polski do niemal 800 mm na wybrzeżu i ponad 1000 mm w Tatrach. Najwyższe sumy opadów przypadają na miesiące letnie i w tym okresie są 2–3-krotnie większe niż zimą, a w Karpatach nawet 4 razy większe. Według prognoz modeli klimatycznych, należy brać pod uwagę znaczące zmiany cyklu opadowego, co ma wyrazić się w zwiększeniu się sum opadów w okresie zimy a zmniejszeniem sum opadów okresu lata. W zimie, według scenariuszy klimatycznych, suma opadów ma być większa niż obecnie, natomiast w lecie – niższa.

Zagrożeniem dla produkcji rolnej będzie także zmiana w strukturze opadów. Już obecnie obserwuje się w naszym kraju zmianę struktury opadów polegającą na zdecydowanym wzroście liczby dni z opadem dobowym o dużym natężeniu. W ostatnich latach intensywność padających deszczów zwiększała się, a w latach 1991–2001³⁵:

- opad dobowy ≥ 10 mm wzrósł o 10 dni, a ≥ 20 mm o 4 dni na dekadę;
- opad ≥ 30 mm wzrósł o ponad 3 dni na dekadę;
- opad 50 mm wzrósł o 2 dni na dekadę.

Trend ten utrzymał się w kolejnej dekadzie. W okresie 2001–2010 na obszarze Polski wystąpiło³⁶:

- średnio około 70 dni w roku z opadem ≥ 30 mm/dobę. Tego typu opady występowały na obszarze całego kraju, ze zwiększoną częstością w obszarach górskich i podgórskich Karpat i Sudetów, a także w rejonie Gór Świętokrzyskich oraz na obszarach Przymorza, Podlasia i Wyżyny Lubelskiej;
- średnio około 37 dni w roku z opadem ≥ 50 mm/dobę. Tego typu opady pojawiają się na obszarze całego kraju, z największą częstością na południu oraz na obszarze obu Pojezierzy, Gór Świętokrzyskich i Podlasia;

³⁵ IMGW, 2011: Struktura występowania intensywnych opadów deszczu powodujących zagrożenie dla społeczeństwa, środowiska i gospodarki w Polsce. Projekt: Identyfikacja i ocena ekstremalnych zdarzeń meteorologicznych i hydrologicznych w Polsce w II połowie XX wieku. Zadanie 4. Klęski żywiołowe a bezpieczeństwo wewnętrzne (cywilne i ekonomiczne) kraju. Dostępne na www.klimat.imgw.pl (dostęp: 5.01.2020).

³⁶ IMGW, 2011: Ibidem.

- średnio około 5 dni w roku z opadem ≥ 70 mm/dobę. Tego typu opady pojawiają się najczęściej w rejonie Karpat i Sudetów oraz w Górach Świętokrzyskich;
- średnio 4 dni w roku z opadem ≥ 100 mm/dobę. Tego typu opady występują głównie w rejonie Karpat i Sudetów, rzadziej w rejonie Przymorza.

Dane szacunkowe z lat 2011–2019 wskazują, że trend ten się nasilił.

Wzrost intensywności opadów ma dwie, negatywne z punktu widzenia rolnictwa, konsekwencje: deficyt wody dla roślin spowodowany wydłużeniem okresów z brakiem lub z niedoborem opadów oraz zwiększenie narażenia gleby na erozję wodną i wzrost wymywania substancji biogennej z gleby.

Zmniejszenie sum opadów atmosferycznych w okresie letnim, które może wynieść nawet do 40%, oznacza w praktyce zmniejszenie zasobów wodnych pochodzących z opadów atmosferycznych i możliwych do wykorzystania przez rośliny. Niekorzystne będą również dwa kolejne uwarunkowania. Po pierwsze, w okresie letnim opady mają mieć częściej charakter opadów gwałtownych, z których nie będzie możliwości wykorzystania wody przez rośliny. Pod drugie, wyższa temperatura będzie zwiększała parowanie. Konsekwencją tych zmian będzie większe narażenie upraw na warunki suszy. Jak wynika z monitoringu występowania suszy rolniczej, w ostatnich latach w Polsce zasięg występowania zagrożenia suszą w poszczególnych latach obejmował znaczące obszary, co oznacza duże problemy ekonomiczne dla całego sektora rolnego. Będzie to również niekorzystne z punktu widzenia środowiskowego, ponieważ stracone zostaną w dużej części wykorzystane w uprawie środki produkcji.

Intensywne opady atmosferyczne, zwłaszcza występujące w okresie, kiedy gleby nie są pokryte roślinnością, zwiększają znacząco ich podatność na erozję i wymywanie składników odżywczych. Badania wykonane w małej zlewni na terenie województwa podlaskiego wskazały³⁷, że intensywność opadów może wpływać na wymywanie z gleb azotanów, jonów amonowych oraz fosforanów. W przypadku większej intensywności opadów w okresie letnim utrata azotanów była 3-krotnie, a fosforanów 4-krotnie większa niż przy ich mniejszej intensywności. Stwarza to istotne zagrożenie dla powodzenia produkcji rolnej, ale także powoduje wzrost zagrożenia dla jakości wód powierzchniowych i podziemnych.

Szczególnym rodzajem zjawiska atmosferycznego, niosącym za sobą bardzo duże zagrożenie dla upraw rolniczych, jest grad. Jego występowanie jest związane burzami i ulewami. Biorąc pod uwagę, że spodziewany jest wzrost częstości i natężenia tych zjawisk, trzeba się liczyć także ze wzrostem częstości występowania opadów gradu. Jest to

³⁷ Krasowska M., 2016: Wpływ intensywnych opadów deszczu na wymywanie substancji biogennej ze zlewni rolniczej. *Inżynieria Ekologiczna* 47: 1–9.

o tyle istotne, że Polska już należy w Europie do tych regionów, w których to zjawisko występuje istotnie częściej niż w krajach sąsiadujących³⁸.

Chociaż wyniki otrzymane dla okresu 2000–2010 nie potwierdzają w pełni tej prognozy (w porównaniu z okresem lat 1971–80 liczba dni z gradem dla wielu regionów Polski zmniejszyła się), to w niektórych regionach naszego kraju zaobserwowano w tym czasie znaczący wzrost częstości tego zjawiska. Dotyczy to przede wszystkim województw: małopolskiego (w którym liczba dni z gradem stanowi 196% średniej krajowej), śląskiego, świętokrzyskiego i opolskiego (rys. 4). Ponieważ najczęściej dni z gradem występują w maju i czerwcu, zjawisko to stanowi znaczące zagrożenie dla upraw rolnych.



RYSUNEK 3.7. Wzrost liczby dni z gradem w latach 2000–2010 w porównaniu z latami 1971–1980 w wybranych województwach (<http://klimada.mos.gov.pl/zmiany-klimatu-w-polsce/tendencje-zmian-klimatu/>)

Choroby, szkodniki i chwasty

Jednym z większych zagrożeń związanych ze zmianami klimatycznym jest rozprzestrzenianie się organizmów inwazyjnych. Na proces rozprzestrzeniania się organizmów niekorzystnych oddziałuje m.in. wzrost temperatury, bezpośrednio wpływający na przyspieszenie rozwoju chorób szkodników roślin oraz rozwój chwastów. Na przykład wektorem wielu istotnych chorób wirusowych roślin są mszyce. Dłuższy okres migracji mszyc spowodowany wydłużeniem się okresu wegetacyjnego będzie wpływał na większe zagrożenie rozwoju chorób wirusowych, które mogą występować na większej liczbie gatunków roślin. Przetrwanie organizmów niekorzystnych z punktu widzenia produkcji rolnej umożliwiać będzie również wyższa temperatura w zimie. Na nowych uprawach lub uprawach wprowadzanych na szerszą skalę pojawią się szkodniki i choroby które dotychczas nie miały większego znaczenia dla ich produktywności lub też rzadko bądź wcale nie występowały w Polsce.

³⁸ Punge H.J., Kunz M., 2016: Hail observations and hailstorm characteristics in Europe: A review. *Atmospheric Research* 176-177: 159–184.

W Polsce pojawił się już problem wcześniejszego występowania szkodników zbóż, np. skrzypionek, co powoduje potrzebę większego zużycia środków ochrony roślin oraz terminowego zwalczania szkodników. Zaobserwowano w uprawach większą presję chwastów zaliczanych do grupy ciepłolubnych. Wzrasta w kierunku północnym zasięg szkodników kukurydzy, występujących dotychczas tylko w południowej Polsce, takich jak omacnica prosowianka oraz zachodnia kukurydziana stonka korzeniowa³⁹. Udowodniono laboratoryjnie, a następnie zaobserwowano w warunkach polowych, że wyższa temperatura w jesieni zmienia cykl rozwojowy mszycy czeremchowej, która żeruje obecnie jesienią na oziminach i przenosi choroby wirusowe⁴⁰.

³⁹ Hurej M. i in., 2012: New Pests Threat to Agricultural Plants. *Progress in Plant Protection* 52 (4): 826–830.

⁴⁰ Ruszkowska M. 2010: Mszyce niosą kłopoty. Dostępne na: <http://www.farmer> (dostęp: 28.01.2020).



4. Wpływ skutków zmiany klimatu na bezpieczeństwo żywnościowe w ujęciu globalnym

Zmiana klimatu oddziałuje nie tylko na samą produkcję, ale także na każdy etap cyklu (wytwarzania i konsumpcji) żywności. Wraz z globalnym ociepleniem prognozowane skutki mogą wpłynąć zarówno na przetwórstwo rolno-spożywcze, transport, jak i na przechowywanie oraz dystrybucję pożywienia. Mogą one także wpływać na jakość i bezpieczeństwo produktów spożywczych.

Ocenę, w jaki sposób skutki zmiany klimatu wpływać będą na bezpieczeństwo żywnościowe, przeprowadza się dwoma metodami:

- analizując dane historyczne i statystyczne dotyczące wpływu anomalii czynników klimatycznych na system żywnościowy⁴¹;
- przeprowadzając badania modelowe, na podstawie których prognozowany jest wpływ zmiany poszczególnych czynników klimatycznych na produkcję żywności⁴².

Niezależnie jednak od zastosowanej metody szacowania skutków zmiany klimatu na produkcję żywności, ocena taka jest obciążona dużą niepewnością wynikającą zarówno z braku pełnej pewności modeli i prognoz skutków zmiany klimatu, jak i z trudności odróżnienia siły i zakresu oddziaływania poszczególnych czynników klimatycznych oraz innych elementów wpływających na powodzenie produkcji rolnej i przetwórstwa spożywczego⁴³. Wydaje się jednak, że istnieje wystarczająca ilość wyników badań naukowych, które określają, w jaki sposób obecna modyfikacja czynników klimatycznych wpływa na bezpieczeństwo żywnościowe. Istnieją także mocne przesłanki naukowe, aby twierdzić, że jeśli już obecnie obserwowana zmiana warunków klimatycznych (termicznych i opadowych) ulegnie pogłębieniu w przyszłości, to będzie to miało bardzo poważne konsekwencje dla produkcji żywności.

Oddziaływanie zmiany klimatu, na kolejne etapy cyklu życiowego produkcji żywności w ujęciu globalnym, zostanie bardziej szczegółowo omówione w niniejszym rozdziale.

⁴¹ Lobell D.B., Schlenker W., Costa-Roberts J., 2011: Climate trends and global crop production since 1980. *Science* 333: 616–620.

⁴² Nelson G.C., Rosegrant M.W., Palazzo A., Gray I., Ingersoll C., 2010: Food Security, Farming, and Climate Change to 2050: Scenarios, Results, Policy Options. *International Food Policy Research Institute*. Washington, DC.

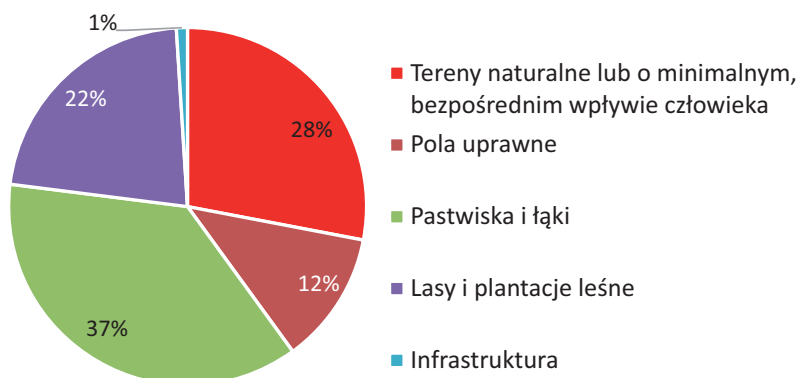
⁴³ Pielke R.A., Adegoke J.O., Chase T.N., Marshall C.H., Matsui T., Niyogi D., 2007: A new paradigm for assessing the role of agriculture in the climate system and in climate change. *Agricultural and Forest Meteorology* 142: 234–254.

4.1. Zmiany w warunkach produkcji

Tereny lądowe odgrywają istotną rolę dla zapewnienia bezpiecznego rozwoju ludzkości i jej dobrobytu, m.in. poprzez tworzenie warunków dla produkcji żywności, dostawę wody słodkiej, udział w obiegu tlenu i innych pierwiastków, utrzymywanie różnorodności biologicznej, a także dostarczanie wielu innych, niezbędnych człowiekowi do przetrwania, usług ekosystemowych. Łądy odgrywają także ważną rolę w regulowaniu globalnego systemu klimatycznego. Dlatego bardzo istotne jest to, w jaki sposób są one wykorzystywane.

Obecnie gospodarka bezpośrednio oddziałuje na ponad 70% terenów lądowych (rys. 4.1)⁴⁴. Tereny te są użytkowane z różną intensywnością. Nawodnienia są stosowane na niemal 17% pól uprawnych, na których prowadzona jest produkcja roślinna, na pozostałych 83% nawadnianie nie jest stosowane. W przypadku wypasu zwierząt około 5% pastwisk i łąk jest wykorzystywanych w sposób intensywny, a 51% w sposób ekstensywny; pozostały obszar to sawanny i zarośla wykorzystywane do wypasu. Na niemal 10% lasów prowadzone są intensywnie użytkowane plantacje leśne, chociaż w pozostałych lasach gospodarka leśna też może być prowadzona w sposób bardzo intensywny.

Aby zaspokoić swoje potrzeby, człowiek wykorzystuje od jednej czwartej do jednej trzeciej potencjalnej pierwotnej produkcji netto gruntów na wytwarzanie żywności i paszy oraz produkcję roślin i biomasy niezbędnej do pozyskania włókien, tkanin, drewna i energii. Jest to spowodowane rosnącym popytem na żywność, co powoduje wzrost presji na zwiększenie jej produkcji.



RYСУNEK 4.1. Wykorzystanie terenów lądowych w 2015 roku (IPCC 2019)

⁴⁴ IPCC, 2019: Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse gas fluxes in Terrestrial Ecosystems Summary for Policymakers. Dostępne na: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/08/4.-SPM_Approved_Microsite_FINAL.pdf (dostęp: 14.10.2019).

W ciągu ostatnich niemal 60 lat podaż produktów roślinnych i mięsa na mieszkańca w ujęciu globalnym wzrosła ponad dwukrotnie, a podaż kalorii spożywanych na mieszkańca wzrosła o około jedną trzecią. Spowodowało to niespotykaną presję na gleby oraz zasoby wód słodkich. Jak się ocenia, różnym formom degradacji podlega obecnie około 1/4 wszystkich użytkowanych przez człowieka gruntów. Forma, siła i zasięg oddziaływania są zróżnicowane: od przekształcenia krajobrazu i degradacji geomorfologicznej, przez niszczenie gleby i tworzenie terenów pozbawionych powierzchni biologicznie czynnej, po chemiczną i biologiczną zmianę warunków glebowych. Za wiele tych oddziaływań odpowiada produkcja rolna. Pozyskiwanie nowych terenów rolnych oddziałuje na różnorodność biologiczną, zmienia i upraszcza krajobraz, powoduje zanieczyszczenie chemiczne gleb i wpływa na eutrofizację wód. Erozja gleby z pól uprawnych jest od 10 do 20 razy (przy stosowaniu systemów bezorkowych) do ponad 100 razy (przy produkcji z wykorzystaniem tradycyjnej orki) większa niż tempo formowania się gleby. Stwarza to istotne zagrożenie dla trwałości produkcji rolnej w wielu rejonach świata⁴⁵. Te negatywne zjawiska, zagrażające bezpieczeństwu żywnościowemu świata, jeszcze bardziej pogłębia zmiana klimatu, np. poprzez wpływ na rozkład i ilość opadów.

Jak już napisano wcześniej, szacuje się, że rolnictwo odpowiedzialne jest obecnie za około 70% całkowitego, globalnego zużycia słodkiej wody, stanowiąc istotną konkurencję dla innych form jej wykorzystania. Dostęp do wystarczających zasobów słodkiej wody staje się w coraz większym stopniu barierą dla rozwoju produkcji rolnej, co jest spowodowane zarówno coraz większym wykorzystywaniem jej zasobów, jak i skutkami zmiany klimatu. Konsekwencje są coraz bardziej niepokojące. W latach 1961–2013 powierzchnia obszarów suchych, na których stwierdzano występowanie suszy, zwiększała się średnio o ponad 1% rocznie; w 2015 roku około 500 milionów ludzi mieszkało na obszarach dotkniętych procesem pustosynnienia, do którego doszło w dwóch ostatnich dziesięcioleciach XX wieku. Najwięcej osób narażonych na suszę i brak wody – zarówno pitnej, jak i niezbędnej do produkcji rolnej – mieszka w Azji Południowej i Wschodniej, w Afryce Północnej (szczególnie w regionie Sahary) oraz na Bliskim Wschodzie (w tym na Półwyspie Arabskim). Obszary te są jednocześnie bardzo wrażliwe na negatywne skutki zmiany klimatu⁴⁶. Już dziś więc dostęp do wody staje się w tych regionach czynnikiem w największym stopniu wpływającym na bezpieczeństwo żywnościowe. A należy pamiętać, że wielkość populacji w tych regionach szybko się powiększa, co zwiększa presję na wzrost produkcji rolnej i jej intensyfikację.

Należy jednak pamiętać, że wzrost wielkości produkcji rolnej ma swoje granice i nie jest proporcjonalny do intensywności wykorzystania zasobów naturalnych. Jak się szacuje, po 1961 roku globalne zużycie nawozów naturalnych wzrosło o około 800%,

⁴⁵ IPCC, 2019: Ibidem.

⁴⁶ IPCC, 2019: Ibidem.

a wzrost plonów zbóż w tym czasie wyniósł tylko około 240%⁴⁷. Wskazuje to, że dalszy wzrost intensywności produkcji rolnej może nie przynieść oczekiwanych efektów w postaci znaczącego zwiększenia podaży produktów żywnościowych. Co więcej, może się okazać, że dalsza intensyfikacja będzie wymagać znaczących nakładów energetycznych, co spowoduje, że zwiększać się będzie wielkość śladu węglowego żywności. Wobec konieczności osiągnięcia neutralności klimatycznej przez ten sektor rozwiązanie to może być trudne do zaakceptowania.

Dlatego też konieczne jest poszukiwanie innych sposobów zwiększania podaży żywności dla wzrastającej populacji ludzkiej. Rozwiązaniem może być np. poprawa redystrybucji produktów spożywczych oraz zmniejszenie marnotrawstwa żywności. Z powodu nierównej dystrybucji pożywienia ponad 820 milionów ludzi na Ziemi cierpi z powodu niedożywienia, podczas gdy około 2 miliardów innych ma problemy zdrowotne ze względu na nadwagę i otyłość. Od 30 do 50% całkowitej, pierwotnej produkcji rolnej nie trafia do konsumpcji⁴⁸. Ocenia się, że w skali świata powstaje ponad 1,6 miliarda ton odpadów żywnościowych, z czego aż 81% (blisko 1,3 miliarda ton) to jadalne części pożywienia⁴⁹. Poprawa diety, dystrybucji żywności i ograniczenie jej marnotrawienia pomogłoby znacząco ograniczyć wielkość presji wywieranej na intensyfikację produkcji rolnej.

Zmiana klimatu już wpłynęła na bezpieczeństwo żywnościowe większości regionów świata ze względu na wzrost średniej temperatury, zmianę wzorców opadów i większą częstość niektórych ekstremalnych zdarzeń pogodowych. Średnia temperatura lądów wzrosła w okresie 2006–2015 o około 1,38–1,68°C, znacznie bardziej niż średnia temperatura atmosfery (0,75–0,99°C). Spowodowało to wzrost częstości, intensywności oraz długości występowania fal upałów, co powoduje zagrożenie dla produkcji zwierzęcej, oraz zwiększa częstość i intensywność susz, szczególnie w państwach śródziemnomorskich, zachodniej i północno-wschodniej Azji oraz w większości krajów Ameryki Południowej i niemal całej Afryki. W tych regionach stwierdzono także istotny wzrost ilości ulewnych i gwałtownych opadów. Zagraża to produkcji roślinnej.

Szczególnie niebezpieczne dla rolnictwa są skutki wzrostu temperatury oraz zmian w opadach atmosferycznych na terenach, które już dziś cierpią na niedostatek wody oraz położone są na obszarach występowania wysokiej temperatury. W Afryce Subsaharyjskiej, części Australii oraz Wschodniej i Centralnej Azji zmiana klimatu przyczyniła się do pustoszenia tych regionów. Na przykład na Półwyspie Arabskim, na Bliskim Wschodzie oraz w Centralnej Azji wzrosła częstość i intensywność burz piaskowych.

⁴⁷ IPCC, 2019: Ibidem.

⁴⁸ Gustavsson J., Cederberg C., Sonesson U., van Otterdijk R., Meybeck A., 2011: Global food losses and food waste. Extent, causes and prevention. FAO, Rzym.

⁴⁹ Karaczun Z.M., 2018: Wpływ marnowania żywności na zmianę klimatu. PKEOM & Koalicja klimatyczna, Warszawa, 1–28.

Globalne ocieplenie prowadzi do zmian zasięgu stref klimatycznych, w tym m.in. do rozszerzenia stref suchych i kurczenia się stref polarnych, co wpływa na warunki prowadzenia produkcji rolnej w większości regionów świata. W ostatnich latach notuje się spadek plonów podstawowych zbóż (kukurydza i pszenica) w regionach położonych na mniejszej szerokości geograficznej, podczas gdy w wielu regionach o większej szerokości geograficznej ich plony wzrosły. Obserwacje satelitarne wskazują, że w centralnych regionach Ameryki Północnej, w południowo-wschodniej Australii, w Południowej Ameryce oraz niektórych regionach Europy (jej północnej części) i Azji zwiększa się intensywność fotosyntezy, co jest pochodną wzrostu temperatury i większej ilości dwutlenku węgla w atmosferze. Sprzyja to roślinnej produkcji rolnej w tych regionach. Spadek intensywności fotosyntezy zaobserwowano natomiast w północnych regionach Euroazji, w Centralnej Azji, w wielu regionach Ameryki Północnej oraz w dorzeczu rzeki Kongo. Stwierdzono także, że już obecnie skutki zmiany klimatu powodują niższe tempo wzrostu zwierząt i produktywności systemów pasterskich w Afryce.

Jeśli nie uda się powstrzymać globalnego ocieplenia, to negatywne skutki zmiany klimatu coraz silniej będą wpływały na warunki produkcji rolnej. W tabeli 4.1 wskazano na prawdopodobieństwo wystąpienia wybranych skutków, które mogą wpływać na warunki produkcji rolnej. Do wskazań tych trzeba podchodzić z pewną ostrożnością – pochodzą one bowiem z 2013 roku, a zgodnie z wynikami analiz przeprowadzonych przez IPCC i zaprezentowanych w 2018 roku w raporcie specjalnym, szybkość zachodzenia zmian, a także ich zakres i siła występowania, są większe niż wcześniej szacowano⁵⁰.

W tabeli 4.2 zaprezentowano natomiast już występujące oraz prognozowane na najbliższe lata zmiany warunków produkcji rolnej w poszczególnych regionach świata.

W niektórych regionach świata możliwość prowadzenia produkcji rolnej może zostać ograniczona przez wzrost częstości występowania ekstremalnych zdarzeń pogodowych: ulewnych deszczów, gradu, fal upałów o ekstremalnie wysokich temperaturach czy huraganowego wiatru. Będą one niszczyć zarówno uprawy, jak i wpływać na chów zwierząt oraz powodować straty w budynkach, infrastrukturze niezbędnej dla prowadzenia produkcji rolnej i inne.

Przykładem, jak wielki może być to wpływ jest Madagaskar i szereg cyklonów, które w latach 2006–2007 nawiedziły ten kraj (Bondo – grudzień 2006, Clovis i Favio – styczeń 2007, Gamede – luty 2007 i Indlala – marzec 2007) i spowodowały całkowitą stratę plonów na obszarze ponad 90 000 ha. Tylko ostatni z tych cyklonów – Indlala – doprowadził do straty 80% plonów wanilii produkowanej na wyspie. Innym przykładem jest cyklon Sidr, który w tym samym roku (2007) nawiedził Bangladesz, zniszczył

⁵⁰ 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. Summary for policy-makers. Dostępne na: https://report.ipcc.ch/sr15/pdf/sr15_spm_final.pdf (dostęp: 14.10.2019).

TABELA 4.1. Ekstremalne zdarzenia pogodowe i klimatyczne: globalna ocena ostatnio obserwowanych zmian, wpływ ludzkości na te zmiany i prognozowane przyszłe zmiany*

Zjawisko i kierunek trendu	Oszacowanie wkładu antropogenicznego	Prawdopodobieństwo wystąpienia	
		2016–2035	2081–2100
Cieplejsze i/lub mniej zimnych dni i nocy nad większością lądów	Bardzo prawdopodobne	Prawdopodobne	Praktycznie pewne
Cieplejsze i/lub częstsze gorące dnie i noce nad większością lądów	Bardzo prawdopodobne	Prawdopodobne	Praktycznie pewne
Okresy ciepła/fale upałów. Częstotliwość i/lub czas trwania wydłużony nad większością lądów	Prawdopodobne	Nie oszacowane formalnie	Bardzo prawdopodobne
Silne opady. Wzrost częstotliwości, intensywności, i/lub ilości silnych opadów	Średni stopień pewności	Prawdopodobne nad wieloma regionami lądowymi	Bardzo prawdopodobne nad większością lądów średnich szerokości geograficznych i mikroregionami tropikalnymi
Wzrost intensywności i/lub długości trwania susz	Brak wystarczających badań	Brak wystarczających badań	Prawdopodobne (średni stopień pewności) w skali regionalnej do globalnej
Wzrost intensywności aktywności cyklonów tropikalnych	Niski stopień pewności	Niski stopień pewności	Prawdopodobne na północno-zachodnim Pacyfiku i północnym Atlantyku
Wzrost występowania i/lub skali ekstremalnie wysokiego poziomu morza	Prawdopodobne	Prawdopodobne	Bardzo prawdopodobne

* IPCC, 2013: Zmiana Klimatu 2013 Fizyczne podstawy naukowe Przyczynek I Grupy Roboczej do Piątego Raportu Oceny Zmiany Klimatu Międzyrządowego Zespołu ds. Zmiany Klimatu Podsumowanie dla Decydentów. Stron 19. Tłumaczenie polskie dostępne na stronie <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar5-wg1-spm-3polish.pdf>. (dostęp: 7.10.2019).

około 1,6 miliona akrów upraw zbóż i ponad 25% upraw ryżu. Z kolei cyklon Nargis, który nawiedził Bangladesz w 2008 roku, wdarł się na niemal 40 km w głąb wybrzeża, zabijając ponad 130 000 osób, niszcząc budynki gospodarskie i mieszkalne, magazyny i maszyny rolnicze oraz dewastując pola uprawne. Po cofnięciu się wody morskiej okazało się, że ponad 50 000 akrów pól uprawnych nie będzie mogło być wykorzystywanych rolniczo przez kolejne lata ze względu na silne zasolenie gleby, jakie spowodowało jej zalanie przez słone wody morskie⁵¹.

⁵¹ Gornall J., Betts R., Burke E., Clark R., Camp J., Willet K., Wiltshire A., 2010: Implications of climate change for agricultural productivity in the early twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 365: 2973–2989.

TABELA 4.2. Skutki prognozowanych zmian klimatu na warunki produkcji rolnej na poszczególnych kontynentach i na małych wyspach oceanicznych (opracowanie własne na podstawie raportów IPCC)*

Afryka	- Przewiduje się wzrost powierzchni terenów suchych i półsuchych o 5–8%. - Już w latach 20. XXI wieku w niektórych krajach Afryki plony upraw zależnych od opadów mogą zmaleć aż o 50%. Przewiduje się, że w wielu krajach utrudnione będzie prowadzenie produkcji rolnej oraz ograniczony zostanie dostęp do żywności. Prowadzić to będzie do utraty bezpieczeństwa żywnościowego i powiększy skalę niedożywienia w wielu krajach kontynentu. Powodować to może wybuch lokalnych i regionalnych konfliktów, których podłożem będzie dostęp do wody, pól uprawnych, pastwisk i pożywienia (o tym, jak duże jest to niebezpieczeństwo, świadczy m.in. przykład wojny domowej w Syrii). - Do końca XXI w. przewidywane jest podniesienie się poziomu morza, co wpłynie negatywnie na niższe położone obszary nadbrzeżne, gęsto zaludnione i często użytkowane rolniczo. - Zmniejszy się powierzchnia obszarów zdalnych do hodowli zwierząt (także w odniesieniu do wypasu pasterckiego), zmniejszy się ilość dostępnej paszy, zwiększy się ryzyko chorób zwierząt hodowlanych.
Azja	- Przewiduje się, że dostępność świeżej wody w centralnej, południowej, wschodniej i południowo-wschodniej Azji, szczególnie w dorzeczeniach dużych rzek, będzie maleć jeszcze przed 2050 rokiem. Zmniejszy to ilość wody dostępnej dla produkcji rolnej oraz zwiększy obszar narażony na pustynnienie, na którym prowadzenie produkcji rolnej nie będzie możliwe. - Wybrzeża, zwłaszcza gęsto zaludnione obszary dużych delt rzecznych w południowej, wschodniej i południowo-wschodniej Azji, będą poważnie zagrożone powodzią morską, a niektóre delty także powodzią rzeczno-morską. Zagrozi to terenom rolniczym i uprawom prowadzonym w tych rejonach. - Przewiduje się wzrost zagrożenia chorobowego zwierząt hodowlanych.
Australia i Nowa Zelandia	- Do 2030 roku mogą się nasilić trudności w zapewnieniu wody w południowej i wschodniej Australii, a także w północnej i częściowo wschodniej Nowej Zelandii. Ograniczy to możliwość prowadzenia w tych regionach produkcji rolnej. - Do 2030 roku spadnie produkcja w rolnictwie i leśnictwie, zwłaszcza w południowej i wschodniej Australii oraz wschodniej Nowej Zelandii. W niektórych innych regionach Nowej Zelandii mogą natomiast wystąpić zmiany korzystne. - Do 2050 roku przewiduje się wzrost ryzyka dla mieszkańców i rozwoju gospodarczego na wybrzeżach Australii i Nowej Zelandii, związanego z podwyższaniem się poziomu wody w oceanie oraz wzrostem liczby i intensywności sztormów, a także powodzi przybrzeżnych. Ograniczy to możliwość prowadzenia produkcji rolnej na tych terenach.
Europa	- W południowej Europie pogorszą się warunki klimatyczne (wysokie temperatury powietrza i susze), w regionach o mniej stabilnym klimacie prawdopodobnie zmniejszy się dostępność wody, nastąpi utrata produktywności w produkcji roślinnej. - W północnej Europie poprawią się warunki dla produkcji roślinnej (pod warunkiem zapewnienia roślinom uprawnym odpowiedniej ilości wody). - Zmieni się rozkład upraw, wprowadzone zostaną uprawy wcześniej w Europie niestosowane (ze względu na zbyt niskie temperatury). W krajach północnych możliwa stanie się uprawa kukurydzy na ziarno, sorgo oraz winorośli. - Ciepłe zimy będą stanowić zagrożenie dla upraw ozimych oraz innych roślin, które w cyklu życiowym wymagają okresu z niską temperaturą. - Zagrożeniem dla upraw oraz hodowli staną się nowe choroby, pasożyty oraz szkodniki. Fale upałów zagrażać będą hodowli zwierząt.
Ameryka Łacińska	- Do połowy XXI w. wzrośnie temperatura powietrza i spadnie wilgotność gleb, co doprowadzi do zastępowania lasów tropikalnych przez sawannę we wschodniej Amazonii. Roślinność obszarów półsuchych będzie wypierana przez roślinność charakterystyczną dla obszarów suchych. Ograniczone zostaną możliwości prowadzenia na tych obszarach produkcji roślinnej. - W strefie klimatycznej umiarkowanej mogą wzrosnąć plony soi. - Przewiduje się spadek produktywności w rolnictwie – niektórych ważnych roślin uprawnych i bydła. Spowoduje to poważne konsekwencje dla bezpieczeństwa żywnościowego regionu oraz spadek dochodu rodzin rolniczych. - Zmiany charakteru opadów i zanikanie lodowców mogą spowodować znaczne trudności w zaopatrzeniu w wodę. Ograniczy to możliwości prowadzenia produkcji rolnej na terenach zależnych od tego źródła wody.

cd. tab. 4.2

Ameryka Północna	- Ocieplenie obszarów górskich na zachodzie może prowadzić do zmniejszenia pokrywy śnieżnej, wzrostu ilości powodzi zimowych, zmniejszenia letnich przepływów co zwiększy konkurencję o dostęp do zasobów wodnych (nie tylko w obrębie rolnictwa, ale także produkcji rolnej z innymi sektorami gospodarki oraz z potrzebami gospodarki komunalnej). Wpłynie to na ograniczenie możliwości prowadzenia produkcji rolnej na terenach pozostających pod wpływem tych zjawisk. - W początkowych dekadach XXI w., w związku z łagodnymi zmianami klimatu, przewiduje się wzrost o 5–20% plonowania roślin zależnych od opadów deszczu, jednak z dużymi różnicami pomiędzy regionami. Dalszy wzrost temperatury, po 2050 roku, zwłaszcza na terenach z ograniczonym dostępem do zasobów wody spowoduje znaczący spadek produktywności produkcji rolnej. Zagrożone będą szczególnie uprawy prowadzone na granicy zasięgu występowania roślin uprawnych. - Spółeczności żyjące w regionach nadbrzeżnych i siedliska nadmorskie znajdują się pod silnym oddziaływaniem wzrastającego poziomu wody morskiej. Ograniczona zostanie możliwość produkcji rolnej na wielu terenach przybrzeżnych (np. Floryda).
Małe wyspy	- Podniesienie się poziomu mórz i oceanów może przynieść wzrost liczby i częstotliwości groźnych powodzi i sztormów, wraz z zalewaniem brzegów, erozją i innymi negatywnymi zjawiskami na wybrzeżach, co prowadzić będzie nie tylko do strat w produkcji rolnej, ale spowoduje także zagrożenie infrastruktury, zabudowy mieszkalnej i urządzeń podtrzymujących warunki życia społeczności wyspiarskich. - Pogorszenie się warunków w obszarach nadbrzeżnych, np. w wyniku erozji plaż i zanikania raf koralowych, doprowadzi zapewne do utraty lokalnych zasobów niezbędnych do rozwoju. - Do połowy XXI w. zmiany klimatu mogą się przyczynić do zmniejszenia zasobów wodnych na wielu małych wyspach, np. na Morzu Karaibskim i na Oceanie Spokojnym, do stanu niewystarczającego nie tylko do prowadzenia produkcji rolnej, ale także do zaspokojenia potrzeb ich mieszkańców w okresach braku lub niskich opadów. - Wzrost temperatury powietrza prowadzić będzie bardzo prawdopodobnie do nasilenia inwazji gatunków obcych, szczególnie na wyspach leżących w średnich i wysokich szerokościach geograficznych. Zagrozi to zarówno produkcji rolnej, jak i lokalnej różnorodności biologicznej.

*W tabeli pominięto wpływ na regiony polarne ze względu na brak lub bardzo niewielki zakres prowadzonej tam działalności rolnej.

Przykłady te pokazują, jak wielkim zagrożeniem dla bezpieczeństwa żywnościowego mogą być ekstremalne zdarzenia pogodowe, zwłaszcza wobec perspektywy zwiększenia ich częstości i siły, a także coraz bardziej prawdopodobnego występowania w regionach, w których wcześniej nie notowano ich występowania.

4.2. Wpływ na produkcję rolną

Zboża i uprawy podstawowe

Istnieje konsensus naukowy, że zmiana klimatu już obecnie wpływa negatywnie na globalny system żywnościowy, przede wszystkim w wyniku modyfikacji czynników klimatycznych⁵². Ocenia się⁵³, że w latach 1981–2002 skutki zmian klimatu spowodowały, w ujęciu globalnym, zmniejszenie wielkości plonów sześciu podstawowych zbóż

⁵² IPCC, 2019: Ibidem.

⁵³ Lobell D.B., Field C.B., 2007: Global scale climate-crop yield relationships and the impacts of recent warming. *Environmental Research Letters* 2: 1–7.

o 40 mln Mg rocznie, co w skali rocznej przynosiło straty finansowe wyceniane na około 5 miliardów USD. Stało się tak pomimo poprawy metod produkcji, wdrażania działań adaptacyjnych i pozytywnego wpływu zwiększonej koncentracji CO₂ w atmosferze.

Powyższe wyniki są zgodne z rezultatami badań Iizumi i Ramankutty (2016)⁵⁴ cytowanymi w specjalnym raporcie IPCC z 2018 roku. W swoich analizach wykorzystali oni analizę alternatywną i stwierdzili, że w latach 1981–2010, pomimo podjętych przez rolników działań dostosowawczych, modyfikacja czynników klimatycznych spowodowanych zmianą klimatu obniżyła średnie globalne plony kukurydzy o 4,1%, pszenicy o 1,8%, a soi o 4,5% w stosunku do sytuacji, w której panowałyby warunki klimatu z okresu przedindustrialnego. W ocenie IPCC (2019)⁵⁵ sugeruje to, że zmiana klimatu już dziś wpływa na wielkość otrzymywanych w skali globalnej plonów i powoduje straty produkcyjne. Dane te zdają się także świadczyć o tym, że podejmowane dotychczas w rolnictwie działania dostosowawcze i adaptacyjne nie były wystarczające, aby zrównoważyć negatywne skutki zmiany klimatu. Wniosek ten wydaje się szczególnie prawdziwy dla sytuacji omawianego sektora w krajach położonych na mniejszych szerokościach geograficznych.

Choć skutki zmiany klimatu w większym stopniu dotyczą rolnictwo w krajach rozwijających się, narażone na nie jest także rolnictwo w krajach rozwiniętych. Badania wykonane w Australii wykazały, że pomimo pozytywnego oddziaływania wyższego stężenia CO₂ na intensywność fotosyntezy, wielkość plonów podstawowych zbóż w tym kraju w latach 1990–2015 mogła obniżyć się nawet o 27%⁵⁶ (w odniesieniu do sytuacji, gdyby nie nastąpiła modyfikacja czynników klimatycznych). Główną przyczyną był znaczący spadek ilości opadów w okresie wegetacyjnym oraz występowanie fal upałów⁵⁷. Obniżenie plonów spowodowane wzrostem temperatury oraz zmniejszeniem ilości opadów stwierdzono również w Europie. W przypadku podstawowych zbóż we Włoszech spadek ten, po 1989 roku, oceniono na około 5%, średni spadek plonów pszenicy w tym samym okresie w Europie Zachodniej oszacowano na 2,5%, a owsa na 3,8%⁵⁸. Jak się ocenia, na Węgrzech i w innych krajach Europy Wschodniej skutki zmiany klimatu były głównym powodem stagnacji, od połowy lat 80. XX wieku, wielkości plonów głównych zbóż uprawianych w tym regionie⁵⁹.

⁵⁴ Iizumi T., Ramankutty N., 2016: Changes in yield variability of major crops for 1981–2010 35 explained by climate change. *Environmental Research Letters* 11: 1–10

⁵⁵ IPCC, 2019: Ibidem.

⁵⁶ Ponieważ stężenie dwutlenku węgla w powietrzu jest czynnikiem limitującym intensywność fotosyntezy, to jego większe stężenie przyczynia się do wzrostu fotosyntezy (a tym samym przyrostu biomasy) większości roślin. Jest to nazywane „efektem nawozowym CO₂”.

⁵⁷ Hochman, Z., Gobbett D.L., Horan H., 2017: Climate trends account for stalled wheat yields in Australia since 1990. *Global Change Biology* 23 (5): 2071–2081.

⁵⁸ Moore, F.C., Lobell D.B., 2015: The fingerprint of climate trends on European crop yields. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* vol. 112 no. 9: 2670–2675.

⁵⁹ Pinke Z., Lövei G.L., 2017: Increasing temperature cuts back crop yields in Hungary over the last 90 years. *Global Change Biology* 23 (5): 5426–5435.

Prowadzone studia wskazują także, że wpływ zmieniających się warunków klimatycznych w nadchodzących latach będzie jeszcze większy niż obecnie. Może to poważnie zagrozić bezpieczeństwu żywnościowemu wielu regionów świata⁶⁰. W ocenie Battisti i Naylor (2009)⁶¹ w regionach tropikalnych średnie temperatury pod koniec obecnego wieku przekroczą temperatury uznawane dziś za ekstremalnie wysokie, co ograniczy, a w wielu przypadkach nawet uniemożliwi prowadzenie produkcji rolnej. O tym, jak wysokie jest to zagrożenie, może świadczyć przykład Indii: w pierwszym tygodniu lipca 2019 roku niemal 54% mieszkańców tego kraju było narażonych na temperatury przekraczające 40°C, a w Delhi wystąpiły rekordowe temperatury przekraczające 48°C. Opublikowane w 2017 roku wyniki badań wskazują⁶², że wysoka temperatura i fale upałów występujące w Indiach w latach 1981–2009 spowodowały zmniejszenie plonów pszenicy średnio o 5,7% rocznie. Dlatego można przewidywać, że rekordowe upały, które odnotowano na ponad połowie powierzchni tego kraju w 2019 roku, spowodowały znaczące straty w produkcji rolnej.

Na to jak groźne dla wielkości plonu jest wysoka temperatura wskazują badania Lobell i in. (2011)⁶³ dotyczące zmian w plonowaniu kukurydzy w Afryce. Zgodnie z nimi każdy dzień, w którym występuje temperatura powyżej 30°C, powoduje straty w plonie średnio o 1%. Jeśli jednak występowanie tak wysokiej temperatury powiązane jest z suszą, to wielkość strat wzrasta do 1,7% na każdy dzień o temperaturze > 30°C.

Większość prognoz ocenia, że znaczące ograniczenie produkcji rolnej nastąpi dopiero w drugiej połowie XXI wieku. Syntezę wyników 1144 studiów i prognoz dotyczących zmian w wielkości produkcji głównych upraw Afryki i Azji, jakie nastąpią po 2050 roku, przeprowadził Knox z zespołem (2012)⁶⁴. Otrzymane wyniki wskazują, że w regionach tych po 2050 roku znacząco zmniejszą się plony 4 (pszenica, kukurydza, sorgo, proso) z 8 badanych głównych upraw, nie jest prognozowana zmiana wielkość plonów ryżu, a niemożliwe do oszacowania są zmiany plonowania manioku, trzciny cukrowej i pochrzynu. Średni prognozowany spadek plonów w obu analizowanych regionach wyniesie w przypadku pszenicy 12,1%, kukurydzy 7,2%, sorgo 13%, a proso 8,8%. Bardziej szczegółowo otrzymane w tych badaniach wyniki przedstawiono w tabeli 4.3.

⁶⁰ Mavromatis T.: 2015: Crop-climate relationships of cereals in Greece and the impacts of recent 7 climate trends. *Theoretical and Applied Climatology* 120: 417–432.

⁶¹ Battisti D.S., Naylor R.L., 2009: Historical warnings of future food insecurity with unprecedented seasonal heat. *Science* 323: 240–244.

⁶² Gupta R. Somanathan E., Dey S., 2017: Global warming and local air pollution have reduced 25 wheat yields in India. *Climate Change* 140: 593–604.

⁶³ Lobell D.B., Banziger M., Magorokosho C., Vivek B., 2011: Nonlinear heat effects on African maize as evidenced by historical yield trials. *Nature Climate Change* 1: 42–45.

⁶⁴ Knox J., Hess T., Daccache A., Wheeler T., 2012: Climate change impacts on crop productivity in Africa and South Asia. *Environmental Research Letters* 7: 1–8.

TABELA 4.3. Prognozowane zmiany* w plonowaniu podstawowych roślin uprawnych w Afryce i Azji po 2050 roku (Knox i in. 2012)

Region	Średnia zmiana wielkości plonów (w %)	Uprawy, których plony znacząco się zmieniają	Średnia wielkość zmiany plonowania (w %)	Uprawy, których plonowanie się nie zmienia
Afryka	-10	Pszenica	-17,2	Ryż, trzcina cukrowa, maniok
		Kukurydza	-5,4	
		Sorgo	-14,6	
		Proso	-9,6	
Afryka Południowa	-15,1	Kukurydza	-11,4	Pszenica, sorgo, trzcina cukrowa
Afryka Centralna	-12,1	Kukurydza	-13,1	Pszenica
Afryka Wschodnia	-2,3	Brak danych	-	Pszenica, kukurydza
Afryka Zachodnia	-8,4	Kukurydza	-7,4	Pszenica, sorgo, maniok
Afryka Północna	-7,3	Brak danych	-	Pszenica, kukurydza
Sahel	-11,5	Kukurydza	-12,6	Sorgo
		Proso	-10,6	
Azja	-5,0	Kukurydza	-15,6	Ryż, pszenica, trzcina cukrowa
		Sorgo	-10,8	
Azja Południowa	-8,4	Kukurydza	-17,6	Ryż, pszenica, trzcina cukrowa
		Sorgo	-10,8	
Azja Południowo-Wschodnia	-2,5	Brak danych	-	Ryż, pszenica, trzcina cukrowa

*Autorzy przedstawili informacje tylko o tych uprawach, dla których wyniki prognoz podane były w co najmniej dwóch analizowanych przez nich źródłach.

Do wyników przedstawionych w tabeli 4.3 trzeba jednak podchodzić ostrożnie. Jak już bowiem wcześniej wskazano, wielu badaczy twierdzi, że szybkość, z jaką zachodzi zmiana klimatu, jest znacznie większa niż dotychczas sądzono⁶⁵, a więc skutki, które prognozowano dopiero na drugą połowę obecnego stulecia, mogą wystąpić jeszcze przed 2050 rokiem⁶⁶. Niezależnie jednak od tego, czy te negatywne zmiany wystąpią szybciej czy później, zasięg oddziaływania, jakie spowodują będzie tak znaczący i mo-

⁶⁵ Rahmstorf S., Cazenave A., Church J.A., Hansen J.E., Keeling R.F., Parker D.E., Somerville R.C.J., 2007: Recent climate observations compared to projections. *Science* 316: 709. Także IPCC, 2018: Ibidem.

⁶⁶ Gornall J., Betts R., Burke E., Clark R., Camp J., Willet K., Wiltshire A., 2010: Implications of climate change for agricultural productivity in the early twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 365: 2973–2989.

że mieć tak istotny, negatywny wpływ na produkcję podstawowych zbóż, że już dziś powinniśmy się do tego przygotowywać.

Inne uprawy

Owoce i warzywa

Choć część produkcji owoców i warzyw prowadzona jest pod osłonami, to nadal dominuje ich produkcja polowa, w której nie da się w pełni uniknąć lub zminimalizować oddziaływania czynników klimatycznych, takich jak np. termin rozpoczęcia sezonu wegetacyjnego, rozkład temperatury w kolejnych dniach uprawy czy występowanie wiosennych przymrozków. Dlatego zmiana klimatu będzie miała prawdopodobnie podobny wpływ na produkcję owoców i warzyw, jaki wystąpi w przypadku uprawy podstawowych zbóż. Zdaniem Tripathi i in. (2016)⁶⁷, głównym problemem produkcji ogrodniczej w nadchodzących latach będzie zaburzenie procesów reprodukcyjnych owoców i warzyw oraz narażenie tej grupy upraw na choroby bakteryjne i wirusowe. I choć wzrost stężenia CO₂ w atmosferze będzie miał pozytywny wpływ na wzrost plonów warzyw i roślin bobowatych, średnio o 22% (w granicach od +11,6 do nawet +32,5%), to oddziaływanie innych czynników modyfikowanych przez zmianę klimatu – zwłaszcza wzrost średniej temperatury i zmiana rozkładu opadów – spowoduje, że w skali globalnej plony będą mniejsze. Szczególnie groźny będzie deficyt wody, zmniejszenie ilości dostępnej wody o 50% może spowodować zmniejszenie plonu średnio o 34,7% (w granicach od –24,9 do –44,6%).

Prowadzone analizy wskazują, że warunki i efektywność produkcji ogrodniczej zmieniają się w różny sposób w różnych częściach świata. Uzyskane dotychczas wyniki studiów wskazują, że w przypadku warzyw uprawianych na obszarach o wyższej średniej temperaturze (> 20°C) średni spadek plonów spowodowany wzrostem średniej temperatury w okresie wegetacyjnym o 4°C wyniósł 31,5%; podczas gdy w przypadku warzyw rosnących w chłodniejszych warunkach (< 20°C) spadek ten był znacznie mniejszy i wyniósł tylko około 5%⁶⁸.

W krajach o chłodniejszym klimacie, w których nie prognozuje się zmniejszenia opadów w okresie wegetacyjnym, skutki zmiany klimatu będą miały charakter pozytywny. Analizy przeprowadzone w Czechach wykazały⁶⁹, że wzrost średniej, lokalnej

⁶⁷ Tripathi A., Tripathi D.K., Chauhan D.K., Kumar N., Singh G.S., 2016: Paradigms of climate change impacts on some major food sources of the world: A review on current knowledge and future prospects. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 216: 356–373.

⁶⁸ Scheelbeek P.F., Bird F.A., Tuomisto H.L., Green R., Harris F.B., Joy E., Chalabi Z., Allen E., Haines A., Dangour A.D., 2018: Effect of environmental changes on vegetable and legume 45 yields and nutritional quality. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* vol. 115 (26): 6804–6809.

⁶⁹ Potopová V., Zahradníček P., Štěpánek L., Türkott A., Soukup J., 2017: The impacts of key adverse weather events on the field-grown vegetable yield variability in the Czech Republic 2 from 1961 to 2014. *International Journal of Climatology* 37: 1648–1664.

temperatury o każde 1°C (przy prognozowanym jej wzroście o max. 4,5°C) wraz z pozytywnym oddziaływaniem wyższego stężenia CO₂ w atmosferze będzie powodować wzrost plonów polowych upraw ogórków i pomidorów średnio od 4,9 do 12%. Niemniej jednak autorzy wskazują także, że modyfikacja czynników klimatycznych w tym kraju prowadzić może do zmniejszenia stabilności plonowania warzyw korzeniowych (marchew, pietruszka, burak) uprawianych metodami tradycyjnymi w cieplejszych regionach Czech.

Skutki dla uprawy warzyw i owoców w cieplejszych regionach będą miały jednak przede wszystkim charakter negatywny. Wzrost średniej temperatury w Afryce o 2,6°C spowoduje, że do końca wieku powierzchnia terenów przydatnych do uprawy fasoli – warzywa, które w wielu regionach tego kontynentu ma kluczowe znaczenie dla bezpieczeństwa żywnościowego lokalnych populacji – spadnie o 30–60% w stosunku do powierzchni jej uprawy w pierwszej dekadzie XXI wieku. Spowoduje to ogromne problemy niedoboru pożywienia, zwłaszcza w przypadku mieszkańców regionu subsaharyjskiego: jak się prognozuje, ze względu na wzrost temperatury i niedobór wody z uprawy tego warzywa zostanie wyłączone od 0,88 do nawet 1,85 mln ha. Jest to obszar, na którym obecnie produkowane jest od 18,8 do 41,4% całkowitej ilości fasoli uprawianej w tym regionie kontynentu⁷⁰. Wzrost średniej temperatury będzie miał także negatywny wpływ na uprawy bananów; jeśli średnia temperatura wzrośnie o 4°C, w samej tylko Afryce nie będzie możliwa uprawa tych owoców na 20–40% obecnej powierzchni upraw⁷¹. Zagrozi to nie tylko lokalnemu rynkowi, ale może spowodować problemy z dostępem do tych owoców także w krajach europejskich.

Podobne zagrożenie istnieje w odniesieniu do kawy, herbaty i kakao, których produkcja także może ucierpieć w wyniku zmiany klimatu ograniczając ich dostępność.

Kawa

Kawę uprawia się w strefie tropikalnej między zwrotnikiem Raka a zwrotnikiem Koziorożca, z wyjątkiem Mozambiku, który leży na południe od wymienionej strefy. Kawę uprawia się w Azji, Afryce, Ameryce Południowej i Północnej oraz Oceanii. Uznaje się, że temperatura i dostępność wody mają kluczowe znaczenie dla wydajności produkcji kawy, choć podstawowe gatunki: Arabika i Robusta, różnią się wrażliwością na modyfikację tych czynników⁷².

⁷⁰ Rippke U., Ramirez-Villegas J., Jarvis, Vermeulen S.J., Parker L., Mer F., Diekkirch B., Challinor A.J., Howden M., 2016: Timescales of transformational climate change adaptation in sub-Saharan African agriculture. *Nature Climate Change* 6 (6): 605–609.

⁷¹ Rippke U. i in., 2016: Ibidem.

⁷² Hagggar J., Schepp K., 2012: Coffee and Climate Change Impacts and options for adaption in Brazil, Guatemala, Tanzania and Vietnam. NRI Working Paper Series No 4: Climate Change, Agriculture and Natural Resources. University of Greenwich and Natural Resource Institute. Kent

Arabica jest bardziej wrażliwa i trudniejsza w uprawie. Jej plantacje muszą być położone na wysokościach od około 1000 do 2000 m nad poziomem morza. Wymagają gleb o niskim pH. Uprawiana jest przede wszystkim w Afryce i Ameryce Południowej, silnie reaguje na wzrost temperatury, zwłaszcza jeśli występuje on podczas kwitnienia i owocowania. Optymalna temperatura uprawy waha się w przedziale 10–30°C. Wzrost średniej temperatury podczas owocowania ponad 23°C utrudnia dojrzewanie owoców, a wzrost temperatury ponad 30°C zmniejsza wzrost roślin, powoduje żółknięcie i utratę liści, w znacznym stopniu ograniczając plonowanie. Wysokie temperatury znacząco zwiększają narażenie upraw na choroby i szkodniki, a stres wodny zmniejsza efektywność fotosyntezy. Wzrost temperatury zwiększa także zagrożenie upraw Arabiki na chorobę Hemileia Vastatrix (tzw. Rdza Kawowa), która już dziś jest istotnym czynnikiem wpływającym na uprawę tego gatunku⁷³.

Kawa Robusta jest mniej wrażliwa na wysokie temperatury (choć bardziej wrażliwa na niskie temperatury), dlatego też uznaje się ją za mniej wrażliwą na skutki zmiany klimatu. Jest łatwiejsza w uprawie i bardziej odporna na choroby. Optymalna temperatura uprawy waha się w przedziale od 12 do 36°C. Uznaje się, że uprawa Robusty będzie mniej wrażliwa na skutki zmiany klimatu, choć zdaniem części badaczy może to być rezultatem mniejszej liczby badań prowadzonych w odniesieniu do tego gatunku, gdyż ma on mniejsze znaczenie w globalnym rynku kawy (udział Arabiki w rynku wynosi ponad 70%, podczas gdy Robusty poniżej 30%)⁷⁴. Ponieważ plantacje Robusty mogą być położone w bardziej przystępnych rejonach, na wysokościach już od około 200 m nad poziomem morza, to uznaje się, że gatunek ten łatwiej zaadaptuje się do zmiany klimatu w przypadku znaczącego wzrostu temperatury, jej plantacje będzie można przenieść na większe wysokości. W przypadku Arabiki przeniesienie upraw na wyżej położone tereny może nie być fizycznie możliwe.

Kakao

Corocznie produkuje się około trzech milionów ton ziaren kakaowych. Większość produkcji, to jest 80–90% tej ilości, produkowane jest przez małe, rodzinne gospodarstwa rolne. Uprawa kakao stanowi główne źródło dochodu dla pięciu do sześciu milionów drobnych producentów rolnych w Afryce, Ameryce Południowej i Azji. Dwie trzecie produkcji pochodzi z Afryki, przy czym o 50% całkowitej światowej produkcji decydują uprawy w Ghanie i Wybrzeżu Kości Słoniowej.

Drzewa kakaowca zwyczajnego (*Theobroma cacao* L.) są wrażliwe na wahania temperatury i suszę. Mogą rosnąć w przedziale od średniego minimum 18–21°C (absolutne minimum wynosi 10°C) do średniego maksimum 30–32°C, chociaż optymalny dla

⁷³ Haggar J., Schepp K., 2012: Ibidem.

⁷⁴ Haggar J., Schepp K., 2012: Ibidem.

wzrostu roślin zakres temperatur zależy również od innych czynników, przede wszystkim dostępu do wody⁷⁵.

Wielkość opadów jest podstawowym czynnikiem decydującym o powodzeniu uprawy kakao. Ich zmniejszenie powoduje znaczący spadek plonu, który może sięgnąć nawet 50%, oraz zwiększa niestabilność jego wielkości, która może wynieść nawet do 70% prognozowanego plonu⁷⁶. Dane te potwierdziły nowsze studia przeprowadzone w Brazylii. Wykazano w nich, że silna susza może doprowadzić do śmierci nawet 15% uprawianych drzew kakaowca i spowodować spadek plonu wynoszący nawet 89%⁷⁷.

Jak wykazują badania, na powodzenie uprawy w większym stopniu wpływa regularność opadów niż ich roczna wielkość. Drzewa kakaowca nie są w stanie wytrzymać, bez negatywnych konsekwencji dla wielkości plonu i żywotności, trzech kolejnych miesięcy z opadami poniżej 100 mm⁷⁸. Dlatego zmiana klimatu, której jednym ze skutków będzie wzrost niestabilności przebiegu pogody, w tym opadów, będzie miała istotny wpływ na globalną wielkość produkcji kakao.

Nie tylko jednak niedobór wody, ale także jej nadmiar może być zagrożeniem dla plonowania kakaowca. Analizy wskazują, że silne deszcze mogą powodować opadanie pąków kwiatowych kakaowca i zakłócić aktywność zapylaczy⁷⁹, co w konsekwencji prowadzi do obniżenia plonu.

Dlatego też zdaniem większości badaczy produkcja kakao może w znaczącym stopniu zostać ograniczona. Gateau-Rey i in. (2018)⁸⁰ zwracają uwagę, że na wrażliwość tego gatunku wpływa także to, że w wielu przypadkach plantacje kakao zlokalizowane są na granicy naturalnego występowania tej rośliny. Znacząco zwiększa to wrażliwość uprawianych roślin na nawet niewielkie modyfikacje czynników klimatycznych. Już dziś zagrożenie to zaczyna być dostrzegane przez rolników uprawiających kakao⁸¹.

Ponieważ kakao jest podstawowym składnikiem przy produkcji czekolady, zaburzenia w jego produkcji mogą w znaczącym stopniu wpłynąć na cały rynek cukierniczy świata.

⁷⁵ Läderach P., Martinez-Valle A., Schroth G., Castro, N., 2013: Predicting the future climatic suitability for cocoa farming of the world's leading producer countries, Ghana and Côte d'Ivoire. *Climatic Change* 119: 841–854.

⁷⁶ Oyekale A.S., Bolaji M.B., Olow O.W., 2009: The Effects of Climate Change on Cocoa Production and Vulnerability Assessment in Nigeria. *Agricultural Journal* 4 (2): 77–85.

⁷⁷ Gateau-Rey L., Tanner E.V.J., Rapidel B., Marelli J-P., Royaert S., 2018: Climate change could threaten cocoa production: Effects of 2015-16 El Niño-related drought on cocoa agroforests in Bahia, Brazil. *PLoS ONE* 13 (7): 1–7.

⁷⁸ Läderach P., Martinez-Valle A., Schroth G., Castro, N., 2013: Ibidem.

⁷⁹ Bertolde F.Z., Almeida A.A.F., Pirovani C.P., Gomes F.P., Ahnert, D., Baligar V.C., Valle R.R., 2012: Physiological and biochemical responses of *Theobroma cacao* L. genotypes to flooding. *Photosynthetica* 50: 447–457.

⁸⁰ Gateau-Rey L., Tanner E.V.J., Rapidel B., Marelli J-P., Royaert S., 2018: Ibidem.

⁸¹ Santosa E., Pramudya Sakti G., Fattah M.Z., Zaman S., Wachjar A., 2018: Cocoa Production Stability in Relation to Changing Rainfall and Temperature in East Java, Indonesia. *Journal of Tropical Crop Science* 5 (1): 6–17. Asante W.A., Acheampong E., Kyereh E., Kyereh B., 2017: Farmers' perspectives on climate change manifestations in small-holder cocoa farms and shifts in cropping systems in the forest-savannah transitional zone of Ghana. *Land Use Policy* 66: 374–381.

Herbata

Na świecie produkuje się obecnie około 5,5 miliona ton liści herbaty. Ponad 70% produkcji odbywa się w czterech państwach: Chinach, Indiach, Kenii oraz na Sri Lance⁸². Globalny popyt na herbatę stale rośnie i przekracza zdolności produkcyjne. Na przykład zapotrzebowanie na herbatę czarną rośnie od kilku lat w tempie około 5% rocznie. Już dziś prowadzi to do problemów z zapewnieniem odpowiedniej jej podaży, zwłaszcza że wielkość jej produkcji w latach 2006–2016⁸³ spadła. Jak się przypuszcza, za część tego spadku odpowiedzialny jest wzrost niestabilności warunków klimatycznych w regionach jej uprawy.

Do wzrostu herbata potrzebuje gorącego, wilgotnego klimatu, jej uprawa ma specyficzne wymagania, które są dostępne tylko w klimacie tropikalnym i subtropikalnym. Niektóre odmiany są bardziej tolerancyjne i mogą być uprawiane w klimacie morskim kontynentalnej części USA. Jej wzrost jest możliwy w zakresie temperatur od 10 do 30°C, przy minimalnym rocznym opadzie 1250 mm, najlepiej na kwaśnej i dobrze przepuszczalnej glebie o pH 4,5–5,5 oraz odpowiedniej zawartości materii organicznej⁸⁴.

Choć, jak wskazano wyżej, krzewy herbaty mają dość znaczną tolerancję na temperaturę, to badania wykonane w Indiach wskazują, że po osiągnięciu temperatur granicznych uprawy reagują zmniejszeniem wielkości plonu. Wielkość plonu w regionie Assam wzrastała wraz ze wzrostem średniej temperatury miesięcznej (pomiędzy kwietniem a październikiem) do poziomu 26,6°C. Powyżej tej temperatury plony zaczynają maleć. Jeśli temperatura wzrasta ponad 28°C, to każdy dodatkowy wzrost średniej miesięcznej temperatury o 1°C powoduje spadek plonu o 3,8%⁸⁵. Prognozy wykonane dla Sri Lanki wskazują, że ze względu na wzrost średniej temperatury do połowy wieku zmniejszy się tam obszar przydatny do uprawy herbaty: o 10,5% dla terenów najbardziej odpowiednich dla uprawy tej rośliny, o 17% w przypadku terenów o średniej przydatności i o 8% w odniesieniu do terenów o marginalnej przydatności⁸⁶. Podobne zjawiska prognozowane są także dla innych krajów. Spadek plonów spowodowany wzrostem średniej temperatury w Afryce Wschodniej szacowany jest na 40%⁸⁷. Badania modelowe wykazują, że w drugiej połowie obecnego wieku na obszarze Mali nie będzie już terenów, na których

⁸² Raj E.E., Radhakrishnan R.B., Kumar R.R., 2017: Tea [w:] Impact of Climate Change on Plantation Crops (pod redakcją: Hebbar K.B., Naresh Kumar S.N., Chowdappa P.). Astral International Pvt. Ltd., New Delhi: 123–143.

⁸³ Jayasinghe S.L., Kumar L., 2019: Modeling the climate suitability of tea [*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze] in Sri Lanka in response to current and future climate change scenarios. *Agricultural and Forest Meteorology* 272/273: 102–117.

⁸⁴ Raj E.E., Radhakrishnan R.B., Kumar R.R., 2017: Ibidem.

⁸⁵ Duncan J.M.A., Saikia S.D., Gupta N., Biggs E.M., 2016: Ibidem.

⁸⁶ Jayasinghe S.L., Kumar L., 2019: Ibidem.

⁸⁷ Adhikari U., Nejadhashemi A.P., Woznicki S.A., 2015: Climate change and eastern Africa: a review of impact on major crops. *Food Energy Security* 4 (2): 110–132.

uprawa herbaty będzie możliwa⁸⁸, w Ugandzie powierzchnia terenów odpowiednich do uprawy zmniejszy się o 50–75%⁸⁹, a utrzymanie upraw w Kenii będzie możliwe jedynie w przypadku ich przeniesienia w wyższe regiony: z obecnych 1500–2100 m n.p.m. na wysokość 2000–2300 m n.p.m. w 2050 roku, choć i w takim przypadku powierzchnia zdalna do uprawy zmniejszy się o około 22,5% do 2070 roku⁹⁰. Zmiana terenów uprawnych będzie miała poważne konsekwencje dla różnorodności biologicznej, gdyż tereny potencjalnych plantacji obecnie pokryte są lasem.

Produkcja herbaty ma ogromne znaczenie dla gospodarki większości krajów, w których jest ona uprawiana. Podobnie jak w przypadku kakao, głównym jej producentem są niewielkie gospodarstwa rolne, jej obróbka po zbiorach gwarantuje zatrudnienie dla dużej liczby osób. W regionie Assam w Indiach przy produkcji herbaty zatrudnionych jest około 1,2 miliona osób⁹¹, na Sri Lance przy produkcji herbaty pracuje ponad 2,2 miliona osób, to jest 10% populacji tego kraju. Produkcja i eksport herbaty wytwarzają 15% PKB Sri Lanki. Dlatego każde zaburzenie w jej produkcji będzie miało bardzo poważne konsekwencje – społeczne i gospodarcze – dla państw producentów herbaty.

Powyższe dane, w połączeniu z podaną na wstępie informacją o wzroście popytu na herbatę, wskazują, że już w najbliższych latach mogą nastąpić poważne zakłócenia na rynku dostaw tego produktu.

Wino

Uprawa winorośli *Vitis vinifera*, z której produkowane jest wino, jest bardzo wrażliwa na wpływ czynników klimatu⁹². Na całym świecie wino może być produkowane w wąskim przedziale temperatur (około 10°C), choć niektóre jego odmiany (np. *Pinot noir*) nie tolerują wahań większych niż 2°C⁹³. Temperatura w poszczególnych miesiącach wegetacji, wielkość i rozkład opadów, wilgotność są elementami mającymi (obok rodzaju gleby) decydujący wpływ na tzw. terroir⁹⁴, który ma podstawowe znaczenie dla jakości

⁸⁸ Bartling M., Bunn C., Castro F., Walz H., 2017: Identification of Suitable Tea Growing Areas in Malawi Under Climate Change Scenarios. International Centre for Tropical Agriculture, Cali: pp. 39.

⁸⁹ Muthie M., Waswa F., Obando J.A., 2015. Emerging Land Use Changes-Climatic Variability Nexus in Meru County, Kenya. Journal of Environment and Earth Science 5 (20): 118–129.

⁹⁰ Leshamta G.T., 2017. Assessing the Suitability of Tea Growing Zones of Kenya Under Changing Climate and Modeling Less Regret Agrometeorological Options. Department of Meteorology, University Of Nairobi, pp. 134. Dostępny na: http://erepository.uonbi.ac.ke/bitstream/handle/11295/102192/Leshamta_Assessing%20The%20Suitability%20Of%20Tea%20Growing%20Zones%20Of%20Kenya%20Under%20Changing%20Climate%20And%20Modeling%20Less%20Regret%20Agrometeorological%20Options.pdf?sequence=1&isAllowed=y (dostęp: 19.11.2019).

⁹¹ Duncan J.M.A., Saikia S.D., Gupta N., Biggs E.M., 2016: Observing climate impacts on tea yield in Assam, India. Applied Geography 77: 64–71.

⁹² Jones G.V., White M.A., Cooper O.R., Storchmann K., 2005: Climate change and global wine quality. Climate Change 73 (3): 319–343.

⁹³ Santisi J., 2011: Warming up the wine industry. E-Environmental Magazine 22 (6): 15–17.

⁹⁴ White M.A., Whalen P., Jones G.V., 2009: Land and wine. Nature Geoscience 2: 82–84.

wina. Dlatego nie ma wątpliwości, że zmiana klimatu w znaczącym stopniu wpłynie na produkcję wina: jego jakość, odmiany oraz miejsca gdzie będzie ono produkowane.

Zmiany takie już w pewnym stopniu nastąpiły. W okresie ostatnich dwudziestu lat wina stały się mocniejsze: zawartość alkoholu wzrosła w nich o około 1–2%. O ile jeszcze w latach 80 i 90. XX wieku większość czerwonych win miała moc 12–12,5%, to obecnie ich średnia moc wynosi 13,5–14%. Jest to spowodowane przede wszystkim większym nasłonecznieniem i wyższą temperaturą w okresie wegetacyjnym, co przyczynia się do wytwarzania przez owoce winorośli większej ilości cukru. Częściowo może to być kompensowane przez wcześniejszy zbiór. Na przykład winobranie odmiany *Pinot noir* w regionie Beaune we Francji, które kilkanaście lat temu odbywało się w połowie października, w ostatnich latach prowadzone jest w drugiej połowie września. Dane USA wskazują, że w ciągu ostatnich 10 lat liczba dni uprawy winorośli wzrosła o 10%, dlatego także tu winobranie odbywa się wcześniej niż kilkanaście lat temu⁹⁵. Strategia ta nie zawsze jest jednak możliwa do zastosowania, w niektórych przypadkach może mieć to bowiem negatywny wpływ na jakość produkowanego wina. Inną strategią adaptacyjną jest przenoszenie i tworzenie winnic na większych wysokościach, gdzie temperatury w lecie są niższe, a wielkość opadów większa niż na niżej położonych terenach. Ale także ten sposób postępowania nie zawsze jest możliwy do wykorzystania – w wielu tradycyjnych regionach winiarskich po prostu takich terenów nie ma.

Wiele prognoz wskazuje, że z tego powodu zajdą zmiany granic tradycyjnych regionów produkcji wina. W Europie zagrożone będą m.in. dotychczasowe obszary w regionie Bordeaux i Dolinie Rodanu we Francji, regiony winiarskie w Toskanii i na Sycylii we Włoszech, w Dolinie Trackiej w Bułgarii⁹⁶. Zmieniają się także obszary uprawy winorośli w Hiszpanii. Analizy te wskazują, że obecna przydatność terenów do produkcji wina zostanie prawdopodobnie zachowana w mniejszych obszarach regionów, gdzie jest ono obecnie produkowane (przede wszystkim tam, gdzie winnice położone są na wyżej nad poziomem morza i na obszarach przybrzeżnych, ale tylko tych, którym nie zagrozi wzrost poziomu morza), a na ich obrzeżach uprawa winorośli na wino nie będzie już możliwa. Prognozuje się także, że pojawią się nowe miejsca produkcji, np. warunki do produkcji wina poprawią się w Europie Północnej i północnych regionach Ameryki Północnej⁹⁷. Przykładem zachodzących zmian jest rozwój produkcji wina w Polsce.

Mechanizm utraty terenów pod uprawę winorośli dobrze oddaje przykład Chile. Już dziś wykorzystanie zasobów wody słodkiej w najważniejszych regionach produkcji wina premium w tym kraju – doliny: Maipo, Cachapoal i Colchagua, ale także Acon-

⁹⁵ Zoecklein B., 2018: How Climate Change Affects Winegrowing. Issue of Wines & Vines 2: 1–7.

⁹⁶ Mozell M.R., Thach L., 2014: The impact of climate change on the global wine industry: Challenges & solutions. Wine Economics and Policy 3 (2): 81–89.

⁹⁷ Mozell M.R., Thach L., 2014: Ibidem.

cagua i Maule – jest bardzo wysokie i sięga 95% wydajności systemu. Prognozuje się, że do połowy obecnego wieku średni spadek wielkości opadów w tych regionach wyniesie 15,5% (w scenariuszu RCP 8,5 w granicach od 10 do 21%. W Dolinie Maipo – najbardziej znanym regionie winiarskim Chile – spadek ten wyniesie nawet 20%). Tak znaczne zmniejszenie opadów wraz z szybko zmniejszającymi się zasobami wód roztopowych z lodowców górskich zaostreży stres wodny. To wraz z prognozowanym, średnim wzrostem temperatury lokalnej w okresie wegetacyjnym nawet o 3–4°C sprawi, że w części z tych regionów uprawa winorośli stanie się niemożliwa lub nieopłacalna ekonomicznie⁹⁸. Spadek wielkości produkcji wina w Chile do 2050 roku szacuje się na 20–30%⁹⁹.

W tabeli 4.4 przedstawiono prognozy zmiany powierzchni terenów przydatnych do produkcji wina premium w wybranych krajach i regionach spowodowanej wzrostem stresu wodnego (wg scenariusza zmian klimatu RCP 8,5).

TABELA 4.4. Zmiana powierzchni terenów przydatnych do produkcji wina w wybranych krajach w 2050 roku (Hannah i in. 2013)¹⁰⁰

Kraj/region	Obecna wielkość stresu wodnego. Średnio (w %)	Prognozowana zmiana wielkości opadów. Średnio i zakres (w %)	Zmniejszenie powierzchni terenu przydatnego do uprawy winorośli. Średnio i zakres (w %)
Kalifornia	85,9	–2,0 (–26,5 – +16,2)	70 (50–83)
Chile	94,6	–15,5 (–0,8 – –29,3)	47 (23–81)
Europa (region śródziemnomorski)	50,7	–8,4 (–0,1 – –15,5)	85 (54–100)
Australia (region śródziemnomorski)	3,0	–10,6 (–18,5 – +11,6)	74 (62–88)
Australia (inne regiony)	34,6	–1,5 (–11,6 – +10,7)	46 (36–59)
Nowa Zelandia	0,0	–1,2 (–8,1 – +4,7)	17 (0–33)
Zachodnia część Północnej Ameryki	23,7	–0,4 (–9,5 – +9,0)	59 (34–78)

Pamiętać także należy, że skutki zmiany klimatu wpłyną także na zmianę wielu cech ważnych z punktu widzenia jakości wina: m.in. jego kwasowość, zawartość tanin i cukrów resztkowych, kolor, zapach.

⁹⁸ Hannah L., Roehrdanz P.R., Ikegami M., Shepard A.V. Shaw R., Tabor G., Zhi L., Marquet P.A., Hijmans R., 2013: Climate change, wine and conservtion. Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA vol. 110 (17): 6907–6912.

⁹⁹ Ministerio del Medio Ambiente; 2011: Segunda Comunicación Nacional de Chile Ante la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático. Ministry of Environment. Santiago, Chile.

¹⁰⁰ Hannah L., Roehrdanz P.R., Ikegami M., Shepard A.V. Shaw R., Tabor G., Zhi L., Marquet P.A., Hijmans R., 2013: Ibidem.

Produkcja zwierzęca

Produkcja zwierzęca to dominująca forma wykorzystania ziemi przez ludzi; prowadzona jest na niemal 45% powierzchni łądów. Bardzo często zwierzęta wypasane są na terenach, które nie mogą być w inny sposób wykorzystane na potrzeby człowieka. Podobnie jak w przypadku upraw roślinnych, także hodowla w znacznym stopniu uzależniona jest od warunków klimatycznych. Stąd należy się spodziewać, że zmiana klimatu wpłynie w szerokim zakresie na produkcję zwierzęcą, zarówno bezpośrednio na wielkość i możliwość produkcji mięsa, mleka, wełny i innych produktów pochodzenia zwierzęcego¹⁰¹, jak i pośrednio – na przykład poprzez wpływ na możliwość wykarmienia hodowanego inwentarza.

Dane literaturowe wskazują, że wśród czynników klimatycznych, które oddziałują na powodzenie produkcji zwierzęcej, największy wpływ ma wysoka temperatura, a właściwie wywołany przez nią stres cieplny. Wszystkie zwierzęta, także te hodowlane, mają określone wymogi termiczne i optymalny zakres temperatur, w których prawidłowo się rozwijają i funkcjonują. Każde odchylenie od tych warunków, zarówno powyżej górnej granicy, jak i poniżej dolnej, powoduje stres i negatywnie wpływa na ich kondycję i zdrowie.

Zwierzęta narażone na stres cieplny zmniejszają spożycie paszy i zwiększają spożycie wody. Dostosowanie się do wysokiej temperatury wpływa na gospodarkę hormonalną, co prowadzi do zwolnienia wzrostu, spadku masy ciała, zmniejszenia średniego dziennego przyrostu wagi i pogorszenie kondycji i stanu zdrowotnego zwierząt gospodarskich. Konsekwencją jest także spadek wydajności mlecznej krów i pogorszenie jakości mleka: zmniejszona zawartość tłuszczu i laktozy oraz zwiększona zawartość kwasu palmitynowego i stearynowego¹⁰². Badania wykazały, że za około 35–50% spadku wydajności mlecznej krów odpowiada zmniejszone spożycie paszy przez zwierzęta poddane stresowi cieplnemu. Pozostały spadek jest wywołany przez procesy metaboliczne niezbędne do przystosowania się do stresu. Sugeruje to, że jeśli zostanie przekroczony określony próg temperatury (nie w pełni jeszcze poznany), to spadek wielkości produkcji mleka następuje znacznie szybciej niż zwiększa się temperatura. Oznacza to, że w warunkach zmienionego klimatu straty w produkcji mogą być jeszcze większe niż początkowo szacowano, a każdy dodatkowy wzrost temperatury będzie powodował szybko rosnące ograniczenie ilości wytwarzanego przez krowy mleka¹⁰³. Podobnych reakcji należy spodziewać się przy hodowli zwierząt na mięso.

¹⁰¹ Baumgard L.H., Rhoads R.P., Rhoads M.L., Gabler N.K., Ross J.W., Keating A.F., Boddicker R.B., Lenka S., Sejian V., 2012: Impact of Climate Change on Livestock Production [w:] Environmental Stress and Amelioration in Livestock Production (pod redakcją Sejian V.). Springer-Verlag GmbH Publisher, Berlin Heidelberg: 413–468.

¹⁰² Gaughan J.B., Cawsell-Smith A.J., 2015: Impact of climate change on livestock production and reproduction [w:] Climate change Impact on livestock: adaptation and mitigation (pod redakcją: Sejian V., Gaughan J., Baumgard L., Prasad C.S.). Springer-Verlag GmbH Publisher, New Delhi: 51–60.

¹⁰³ Baumgard L.H., Rhoads R.P., Rhoads M.L., Gabler N.K., Ross J.W., Keating A.F., Boddicker R.B., Lenka S., Sejian V., 2012: Impact of Climate Change on Livestock Production [w:] Environmental Stress and Amelioration in Livestock Production (pod redakcją Sejian V.). Springer-Verlag GmbH Publisher, Berlin Heidelberg: 413–468.

Ponieważ najbardziej wrażliwe są rasy zwierząt o największej wydajności produkcyjnej, stąd też stres cieplny w ich przypadku powoduje największe straty produkcyjne. Dlatego w razie wzrostu prawdopodobieństwa zwiększenia częstości występowania fal upałów zwiększanie intensywności produkcji zwierzęcej, a nawet utrzymanie jej na wcześniejszym poziomie może nie być najbardziej optymalną opcją, prowadzić bowiem będzie do znacznego wzrostu kosztów produkcji, bez pewności osiągnięcia pożądanego jej poziomu i z dużym prawdopodobieństwem wzrostu strat. W takiej sytuacji lepszą strategią adaptacyjną wydaje się ekstensyfikacja produkcji i szersze wykorzystanie ras zwierząt mniej wydajnych, ale lepiej tolerujących wysokie temperatury¹⁰⁴.

Optimum warunków hodowli zwierząt wyznacza się na podstawie wartości wskaźnika temperatury i wilgotności (THI – Temperature Humidity Index)¹⁰⁵. Najprostszy sposób obliczenia jego wartości określa następujący wzór¹⁰⁶:

$$THI = 0,8 \times T + RH \times (T - 14,4) + 46,6$$

gdzie:

T – temperatura otoczenia lub temperatura suchego termometru w °C

RH – wilgotność względna, określana jako proporcja (tj. wilgotność 75% określana jest jako 0,75).

Jeśli wartość wskaźnika utrzymuje się na poziomie poniżej 71, to warunki uznaje się za optymalne dla zwierząt. Stres cieplny występuje, gdy wskaźnik przyjmuje wartości wyższe:

THI 71–79 – 90 – stres o niskim nasileniu,

THI 80 – 89 – stres o średnim nasileniu.

THI ponad 90 – silny stres.

THI powyżej 80 może występować już przy temperaturze 28,7°C i wilgotności 85%, a o wartości ponad 90 przy temperaturze 32,8°C i wilgotności 95%.

Zgodnie z prognozami skutków zmiany klimatu wykonanymi dla Indii, w drugiej połowie XXI wieku najbardziej prawdopodobny jest tam wzrost średniej temperatury o 4°C. Spowoduje to, że liczba dni z THI > 80 wzrośnie z obecnych 40 do 104¹⁰⁷. Spowoduje to znaczne straty w produkcji mleka (wołowiny w Indiach nie spożywa się). Wzrost wartości wskaźnika THI powoduje bowiem spadek produkcji mięsa o 0,2 kg na

¹⁰⁴ Sejian V., Gaughan J.B., Bhatta R., Naqvi S.M.K., 2016: Impact of climate change on livestock productivity. *Broadening Horizons* 26: 1–4.

¹⁰⁵ Chauhan D.S., Ghosh N., 2014: Impact of Climate Change on Livestock Production: A Review. *Journal of Animal Research* 4 (2): 223–239.

¹⁰⁶ <https://www.pericoli.com/EN/news/120/Temperature-Humidity-Index-what-you-need-to-know-about-it.html> (dostęp: 21.10.2019).

¹⁰⁷ Upadhaya R.C., Singh S.V., Kumar A., Gupta S.K., 2007. Impact of climate change on Milk production of Murrah buffaloes. *Italian Journal of Animal Sciences* 6 (2): 1329–1332.

jedną jednostkę powyżej $THI = 72$, a także produkcji mleka (o 9%) oraz zmniejszenie zawartości tłuszczu w mleku (o 13%)¹⁰⁸.

Skutki zmiany klimatu wpłyną na produkcję zwierzęcą także pośrednio: zwiększą narażenie zwierząt na choroby, także takie, które wcześniej w danym regionie nie występowały. Powszechnie uznaje się, że jedną z konsekwencji globalnego ocieplenia będzie wzrost zagrożenia chorobami wektorowymi.

Chorobą, której wzrost częstości występowania u zwierząt hodowlanych w Europie wiąże się z ociepleniem klimatu jest choroba niebieskiego języka (nazywana także pryszczycą rzekomą). Występuje ona u przeżuwaczy. Jest to choroba wektorowa, przenoszona przez muchówki z gatunku *Culicoides*. Choć na ogół nie prowadzi do zgonu zwierząt, to przyczynia się do znacznych strat produkcyjnych. Po raz pierwszy jej wystąpienie w Europie (na Cyprze) zanotowano w 1924 roku, ale przez długi czas nie rozszerzała zasięgu występowania. Dopiero pod koniec lat 90. XX wieku zaczęła się szybko rozpowszechniać w krajach śródziemnomorskich. W sierpniu 2006 roku po raz pierwszy przekroczyła 50° szerokości geograficznej północnej. Początkowo wykrywano ją u zwierząt w Niemczech, Belgii i Holandii, jednak w październiku 2006 roku wykryto trzy pierwsze jej przypadki w Polsce¹⁰⁹. Do końca 2006 roku w Europie północnej (głównie w Niemczech, Francji, Belgii i Holandii) chorobę tę wykryto u 2072 zwierząt – zarówno u małych przeżuwaczy, jak i u bydła i zwierząt dzikich. Tempo, z jakim choroba niebieskiego języka rozszerzała się w północnej Europie pokazuje, jak duże jest ryzyko epidemii, która może zagrozić produkcji zwierzęcej¹¹⁰.

Innym rodzajem pośredniego wpływu globalnego ocieplenia na hodowlę zwierząt jest oddziaływanie modyfikacji czynników klimatycznych na produktywność pastwisk. Szczególnie dużego wpływu na możliwość wyżywienia zwierząt hodowlanych należy spodziewać się przede wszystkim w krajach, gdzie dominuje chów pastwiskowy, i państwach, gdzie rozwinięte jest pasterstwo. Ponieważ tym sposobem hodowli zajmuje się od 200 do 500 miliona osób, przede wszystkim w krajach o niskich dochodach, to ograniczenie możliwości wypasu będzie miało istotny, negatywny skutek nie tylko dla lokalnych społeczności, tradycyjnej kultury, ale także dla gospodarek tych państw. Na to, że zagrożenie to jest realne, wskazuje przykład wielu krajów afrykańskich i azjatyckich, w których w ostatnich dziesięcioleciach znacząco obniżyła się produktywność pastwisk. Przykładem może być Mongolia, w której wydajność pastwisk w ostatnich dziesięcioleciach XXI wieku zmniejszyła

¹⁰⁸ Chauhan D.S., Ghosh N., 2014: Ibidem.

¹⁰⁹ <https://www.up.lublin.pl/files/weterynaria/epizootiologia/choroby-przezuwaczy/bluetongue.ppt> (dostęp: 22.10.2019).

¹¹⁰ Trębas P., Smreczak M., Orłowska A., Żmudziński J.F., 2007: Epizootiologia choroby niebieskiego języka. Medycyna Weterynaryjna 63 (11): 1273–1276.

się o 20–30%. Spowodowało to nie tylko spadek masy ciała hodowanych zwierząt, który w przypadku owiec wyniósł 8% od 1980 roku, ale także ograniczyło liczbę wypasanych zwierząt¹¹¹.

4.3. Wpływ na przetwórstwo spożywcze, transport i przechowywanie

Przetwórstwo rolno-spożywcze

We współczesnym świecie coraz częściej mamy do czynienia z wydłużaniem produkcji żywności: coraz rzadziej konsumenci korzystają z produktów żywnościowych pozyskiwanych bezpośrednio od producentów (rolników), a coraz częściej mają do czynienia z żywnością przetworzoną. Zmniejsza to poziom bezpieczeństwa żywnościowego, ponieważ skutki zmiany klimatu oddziałują na każdy etap cyklu życiowego żywności, m.in. na: przetwórstwo spożywcze, przechowywanie, zamrażanie, transport.

Nie ma zbyt wielu opracowań, które omawiałyby wpływ zmiany klimatu na przetwórstwo spożywcze. Z dużą pewnością można stwierdzić, że najbardziej niebezpieczne dla tego etapu produkcji żywności są i pozostaną ekstremalne zdarzenia pogodowe: huragany, nawalne deszcze prowadzące do powodzi, zalewanie terenów przybrzeżnych przez wyższe fale sztormowe. Z jednej strony mogą bowiem niszczyć infrastrukturę, z drugiej zaś, wpływając na produkcję rolną, ograniczać będą dostawy niezbędnych surowców – zarówno roślinnych, jak i zwierzęcych. Badania wykonane w Wielkiej Brytanii wykazały, że dziewięć na dziesięć przedsiębiorstw zajmujących się przetwórstwem spożywczym już dziś doświadcza negatywnych oddziaływań zmiany klimatu¹¹². Rezultaty tych prac wskazują, że najbardziej narażone są podmioty prowadzące bardzo wyspecjalizowaną działalność – przetwarzające jeden surowiec lub produkujące jeden określony rodzaj produktu. Ograniczenie dostępu do określonego surowca oznacza dla nich brak możliwości dalszego prowadzenia produkcji.

Przechowywanie

Niemal w każdym systemie żywnościowym przechowywanie jest koniecznym etapem łańcucha produkcji pożywienia. Wynika to ze specyfiki produkcji rolnej. Uzyskany plon nie może być natychmiast wykorzystany, ale musi zapewnić bezpieczeństwo żyw-

¹¹¹ IPCC, 2019: Ibidem.

¹¹² Evans K., 2012: Adapting to Climate Change in the Food Industry. Report for the Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA) by Social Change UK. DEFRA, London: 1–102.

nościowe aż do kolejnych zbiorów. Choć w czasach globalizacji w teorii można sobie wyobrazić system, w którym określony produkt dostarczany jest do przetwórcy lub konsumenta w sposób ciągły z kolejnych regionów świata, to w praktyce na różnych etapach cyklu życiowego pokarmu produkty rolne i spożywcze są przechowywane.

Magazynowana żywność podlega wielu zagrożeniom. Wzrost temperatury przyspiesza procesy psucia się żywności i zwiększa jej zagrożenie procesami gnicia oraz oddziaływanie organizmów szkodliwych. W temperaturze powyżej 10°C każdy wzrost temperatury o kolejne 10°C dwukrotnie zwiększa aktywność bakterii. W temperaturze około 4°C jej wzrost o kolejne 2–3°C zmniejsza trwałość przechowywanych produktów rolnych i spożywczych o połowę¹¹³. Nieprawidłowe przechowywanie żywności stwarza istotne zagrożenie dla konsumentów ze względu na możliwość jej skażenia mikrobiologicznego lub wytworzenia się w niej toksyn niebezpiecznych dla zdrowia i życia ludzi.

Powódź lub huragany mogą zniszczyć wszystkie przechowywane produkty. W bardziej zaawansowanych systemach, gdy produkty są chłodzone lub mrożone, do strat może doprowadzić przerwa w dostawie prądu, spowodowana np. uszkodzeniem linii energetycznych na skutek gwałtownego wiatru.

Transport

Transport jest kolejnym etapem cyklu życiowego produktów żywnościowych, na który negatywnie wpływają skutki zmiany klimatu. Oddziaływanie to jest bardzo szerokie: od utrudnienia, a nawet uniemożliwienia przewozu żywności, przez jej straty powstające w trakcie transportu, do wpływu na infrastrukturę transportową – drogi, linie kolejowe, szlaki żeglugowe.

Straty w przewozie mogą powstać np. w wyniku oddziaływania wysokiej temperatury na transportowaną żywność – jak to bowiem napisano powyżej, wzrost temperatury przyspiesza procesy biologiczne, także te, które wpływają niekorzystnie na transportowane produkty. Wysokie temperatury i fale upałów są szczególnie niebezpieczne przy transporcie żywych zwierząt, przekroczenie poziomu optymalnego powoduje poważny stres cieplny, którego efektem jest zaburzenie procesów metabolicznych (a konsekwencji pogorszenie jakości mięsa rzeźnego), a w skrajnych przypadkach może spowodować śmierć transportowanych zwierząt. W tabeli 4.5 przedstawiono wartości maksymalne temperatury, na jakie mogą być narażone transportowane zwierzęta, aby ich przewóz nie wpłynął negatywnie na ich kondycję i zdrowie.

Wysoka temperatura i fale upałów oddziałują także na ludzi odpowiedzialnych za organizację transportu. Jest to szczególnie niebezpieczne w przypadku transportu drogowego i wpływu stresu cieplnego na kierowców. Studia prowadzone we Francji

¹¹³ James S.J., James C., 2010: The food cold-chain and climate change. *Food Research International* 43: 1944–1956.

TABELA 4.5. Maksymalne* wartości temperatury transportowania zwierząt (Randall 1993)

Transportowane zwierzęta	Temperatura maksymalna (w °C)
Bydło	20
Cielęta	25
Owce strzyżone	40
Owce niestrzyżone	25
Świnie	31

*Jeśli temperatura w transporcie jest wyższa niż przedstawiona w tabeli, to zwierzęta uruchamiają procesy metaboliczne, które mają pozwolić im przetrwać w warunkach stresu cieplnego.

**Randall J.M., 1993: Environmental parameters necessary to define comfort for pigs, cattle, and sheep in livestock transporters. *Animal Production* 57: 299–307.

i w Holandii¹¹⁴ wykazały, że wzrost średniej miesięcznej temperatury o 1°C był związany ze wzrostem liczby wypadków o 1–2% w tym samym miesiącu. W USA w stanie Indiana analiza średnich tygodniowych wykazała, że tygodnie, w trakcie których notowano zwiększoną liczę wypadków komunikacyjnych, miały zwykle wyższą temperaturę¹¹⁵, korelacje pomiędzy wzrostem miesięcznych wartości temperatury a ilością wypadków stwierdzono także w Arabii Saudyjskiej¹¹⁶.

Szerokie studia w tym zakresie przeprowadzono w Katalonii, gdzie analizie poddano 118 486 wypadków drogowych. Zgodnie z otrzymanymi wynikami, ryzyko wypadku istotnie wzrastało (o 2,9%) w przypadku wystąpienia fal upałów¹¹⁷. Wzrost ten był jeszcze większy, gdy rozpatrywano jedynie wypadki, których przyczyną był błąd lub nieuwaga kierowców – w dni, w których występowały fale upałów wzrost ryzyka takiego wypadku wzrastał dodatkowo o 1,1% z każdym wzrostem temperatury o 1°C¹¹⁸.

Skutki ekstremalnych zdarzeń pogodowych – powodzi czy huraganów – mogą uniemożliwić transport żywności niszcząc infrastrukturę transportową. Przykład wpływu takich wydarzeń przedstawia specjalny raport IPCC z 2019 roku: największa od 70 lat powódź, która pomiędzy połową listopada 2011 roku a 4 stycznia 2012 roku

¹¹⁴ Bergel-Hayat R., Debarh M., Antoniou C., Yannis G., 2013: Explaining the road accident risk: weather effects. *Accident Analysis and Prevention* 60: 456–465.

¹¹⁵ Malyshkina N.V., Mannering F.L., Tarko A.P., 2009: Markov switching negative binomial models: an application to vehicle accident frequencies. *Accident Analysis and Prevention* 41: 217–226.

¹¹⁶ Nofal F.H., Saeed A.A., 1997: Seasonal variation and weather effects on road traffic accidents in Riyadh city. *Public Health* 111 (1): 51–55.

¹¹⁷ W tych badaniach falę upałów zdefiniowano jako występowanie przez dwa kolejne dni temperatury przekraczającej specyficzny dla danej stacji pogodowej historyczny 95. percentyl maksymalnej temperatury.

¹¹⁸ Basagaña X., Escalera-Antezana J.P., Dadvand P., Llatje Ö., Barrera-Gómez J., Cunillera J., Medina-Ramón M., Pérez K., 2015: High ambient temperatures and risk of motor vehicle crashes in Catalonia, Spain (2000–2011): a time-series analysis. *Environ Health Perspectives* 123: 1309–1316.

nawiedziła Bangkok, zniszczyła lub odcięła większość lokalnej sieci drogowej. Ponieważ jednak system dystrybucji i transportu żywności w Tajlandii jest centralnie zorganizowany, to powódź w Bangkoku wpłynęła na cały system transportu i dystrybucji żywności w tym kraju¹¹⁹.

Zmiana klimatu ma także bardzo silny wpływ na jakość i stan infrastruktury drogowej, a wraz ze wzrostem średniej temperatury powietrza i wzrostem częstości ekstremalnych wydarzeń pogodowych siła tego oddziaływania będzie coraz większa. Szacuje się, że koszty utrzymania dróg w australijskim Queensland wzrosną w drugiej połowie XXI wieku o 108%. Będzie to skutkiem zmian, jakie zajdą w warunkach meteorologicznych: wzrostu średniej temperatury powietrza (od 1 do 6°C do 2070 roku) i siły wiatru (od 5 do 20%), a także podnoszenia się poziomu morza (o 9–88 cm do końca wieku). Będzie to przyspieszać niszczenie nawierzchni drogowej, powstawanie kolein i dziur w jezdni. Wzrost poziomu morza wpłynie na konieczność przeniesienia wielu dróg nadmorskich oraz wytyczenia nowych korytarzy transportowych i budowy nowych mostów¹²⁰.

Także w Azji zmiana klimatu spowoduje konieczność zwiększenia nakładów na utrzymanie infrastruktury drogowej, gdyż prognozowane jej skutki zagrożą każdemu elementowi tej infrastruktury:

- Temperatura: przedłużające się okresy z wysoką temperaturą wpłyną na pogorszenie nawierzchni z powodu topnienia asfaltu, ogrzewania i rozszerzalności cieplnej mostów (a także torów kolejowych), wybożenia połączeń.
- Opady deszczu: wzrost opadów zimowych wpłynie na zdolności drenażowe, nawierzchnię drogi, warunki jazdy i widoczność. Wzrost intensywności opadów letnich powodujących powodzie wpłynie na drenaż i przejezdność tradycyjnych szlaków komunikacyjnych. Nawalne deszcze mogą uszkadzać nawierzchnię dróg, oddziaływać na działalność kolei, lotnisk, portów i żeglugi śródlądowej.
- Huragany i burze: huraganowe wiatry oddziałują bezpośrednio na możliwość transportu, ograniczając mobilność na drogach, linach kolejowych, lotniskach i w transporcie wodnym. Mogą niszczyć infrastrukturę towarzyszącą: znaki drogowe, oświetlenie i sygnalizację oraz linie energetyczne.
- Podniesienie poziomu morza: może wpłynąć na przybrzeżne drogi i linie kolejowe, lotniska położone w strefie przybrzeżnej, porty i transport morski. W wielu przypadkach może zaistnieć potrzeba porzucenia infrastruktury wybrzeża.

Meyer (2008)¹²¹ prowadzący badania w USA wskazuje, że infrastruktura transportowa tego kraju nie jest przygotowana na prognozowane skutki zmiany klimatu, jakie

¹¹⁹ IPCC, 2019: Ibidem [za]: Allen A., Griffin L., Johnson C., 2017: Environmental justice and urban resilience in the global south. Plgrave Macmillan, London, pp. 1–307.

¹²⁰ Regmi M., Hanaoka S., 2009: Impacts of Climate Change on Transport and Adaptation in Asia. Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies 7: 1–17.

¹²¹ Meyer M.D., 2008: Design Standards for U. S. Transportation Infrastructure: The Implications of Climate Change. US National Research Council, Washington DC: 1–30.

wystąpią w tym kraju. Autor ten zwraca także uwagę, że obecnie obowiązujące standardy budowy infrastruktury transportowej zostały stworzone w połowie XX wieku w zupełnie innych warunkach klimatycznych. Przygotowanie systemu transportowego – niezbędnego także dla bezpiecznego przewozu żywności – wymagać będzie stworzenia i przyjęcia do praktyki nowych norm, które uwzględnią potencjalne, prognozowane skutki zmiany klimatu. Jak się wydaje, nie dotyczy to tylko Stanów Zjednoczonych, ale infrastruktury drogowej w większości krajów świata. Jest to o tyle istotne, że koszt modernizacji sieci transportowej z pewnością wpłynie na wzrost kosztów samego transportu, a w konsekwencji na ceny żywności. Należy więc uznać to za kolejne zagrożenie dla ekonomicznej dostępności pożywienia.

4.4. Bezpieczeństwo i jakość produktów żywnościowych

Oprócz wpływu na dostępność żywności zmiana klimatu wpłynie w znaczący sposób na bezpieczeństwo i jakość produktów spożywczych. Wpływ ten będzie dotyczył zarówno produktów roślinnych, jak i pochodzenia zwierzęcego.

W przypadku żywności pochodzenia roślinnego największym niebezpieczeństwem będzie wzrost ryzyka skażenia plonu konsumpcyjnego i produktów spożywczych mykotoksynami¹²². Ocenia się, że skażone nimi jest niemal 25% wytwarzanej co roku globalnie kukurydzy. Choć na ogół poziom skażenia tymi substancjami utrzymuje się poniżej poziomu niebezpiecznego dla konsumentów, to w sprzyjających okolicznościach ich stężenie wzrasta, stwarzając zagrożenie dla życia i zdrowia ludzi. W 2004 roku w Kenii z powodu spożywania skażonej kukurydzy zachorowało 317 osób, z których aż 125 zmarło¹²³.

Ponieważ mykotoksyny wytwarzane są w dość wąskim optimum temperaturowym (najbardziej optymalna temperatura dla ich powstawania mieści się w przedziale 20–25°C), to wzrost średniej temperatury może wyeliminować występowanie w krajach tropikalnych niektórych gatunków grzybów wytwarzających mykotoksyny. Jednocześnie jednak znacząco wzrośnie wtedy ryzyko infekcji w krajach o klimacie umiarkowanym (np. w Polsce) i w zimniejszych regionach tropików. Prognozuje się np., że w Unii Europejskiej do 2050 roku przekroczone zostaną dopuszczalne poziomy mykotoksyn powodujące fuzaryjną zgorzel siewek, fuzaryjną zgorzel źdźbła i korzeni oraz fuzariozę liści i kłosów pszenicy, co może znacząco wpłynąć na ekonomicz-

¹²² Mykotoksyny to związki toksyczne wytwarzane przez grzyby pleśniowe z rodzajów: *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Rhizoctonia* i in.

¹²³ Lewis L., Onsongo M., Njapau H., Schurz-Rogers H., Lubner G., Kieszak S., Nyamongo J., Backer L., Dahive A.M., Misore A., DeCock K., Rubin C., 2005: Aflatoxin contamination of commercial maize products during an outbreak of acute aflatoxicosis in eastern and central Kenya. *Environmental Health Perspectives* 113: 1763–1767.

na opłacalność uprawy tej rośliny¹²⁴. Zmiana klimatu, powodując zmianę czynników wpływających na rozwój różnych grzybów, może doprowadzić także do powstania nowych chorób grzybowych, co dodatkowo zwiększy zagrożenie powodowane przez mykotoksyny¹²⁵.

Mykotoksyny oprócz zagrożeń dla zdrowia ludzi mogą prowadzić także do powstania znacznych strat w zbiorach i bezpieczeństwie żywności. Obecnie największy wpływ mają one na działalność małych gospodarstw rolnych oraz na gospodarstwa domowe zależne od miejscowo uprawianej kukurydzy.

Na choroby wywołane zbyt wysokim zanieczyszczeniem roślinnych produktów spożywczych mykotoksynami najbardziej narażeni są obecnie mieszkańcy regionów ubogich, a wzrost zachorowań następuje szczególnie w okresach niedoboru żywności. Grupą szczególnie narażoną są dzieci, mają one bowiem najmniejszą odporność na toksyczne związki zawarte w mykotoksynach. Skutki zmiany klimatu i wynikająca z nich modyfikacja warunków meteorologicznych mogą jednak to zmienić, jak bowiem wcześniej napisano – coraz częściej do zatruc tymi związkami będzie dochodzić w krajach, w których dzisiaj występuje klimat umiarkowany.

W przypadku żywności pochodzenia zwierzęcego duże niebezpieczeństwo wiąże się z chorobami biegunkowymi powodowanymi przez bakterie *Salmonella* i *Campylobacter*, które mogą być obecne w jajach, mięsie, mleku czy w skorupiakach. Choroby te już w chwili obecnej powodują około 1,9 miliona zgonów rocznie¹²⁶. W tabeli 4.6 przedstawiono przykłady różnych czynników mikrobiologicznych, na których aktywność wpłynie zmiana klimatu i modyfikacja czynników klimatycznych.

Czynniki klimatyczne mają bardzo duży wpływ na przeżywalność, ilość oraz aktywność patogenów. W Europie w przypadku *Salmonelli* stwierdzono, że każdy wzrost średniej temperatury tygodniowej o 1°C powyżej średniej temperatury +5°C powoduje 5–10-procentowy wzrost zachorowań¹²⁷. Również aktywność i przeżywalność *Escherichia coli* uzależnione są od czynników klimatycznych: temperatury i wilgotności. Szacuje się, że zarażone zwierzęta hodowlane w wyższej temperaturze wydalają w odchodach większe ilości patogenów, co zwiększa ryzyko epidemiologiczne oraz możliwości przeniesienia choroby na ludzi¹²⁸.

¹²⁴ Chakraborty S., Newton A.C., 2011: Climate change, plant diseases and food security: an overview. *Plant Pathology* 60: 2–14.

¹²⁵ Tirado M.C., Clarke R., Jaykus L.A., McQuatters-Gollop A., Franke J.M., 2010: Climate change and food safety: a review. *Food Research International* 43: 1745–1765.

¹²⁶ Tirado M.C., Clarke R., Jaykus L.A., McQuatters-Gollop A., Franke J.M., 2010: Ibidem.

¹²⁷ Kovats S., Edwards S., Hajat S., Armstrong B., Ebi K., Menne B., 2004: The effect of temperature on food poisoning: Time series analysis in 10 European countries. *Epidemiology Infection* 132 (3): 443–453.

¹²⁸ Pangloli P., Dje Y., Ahmed O., Doane C.A., Oliver S.P., Draughon F.A., 2008: Seasonal incidence and molecular characterization of *Salmonella* from dairy cows, calves, and farm environment. *Foodborne Pathogens and Disease* 5 (1): 87–96.

TABELA 4.6. Czynniki mikrobiologiczne, na których aktywność wpłynie zmiana klimatu i modyfikacja czynników klimatycznych, ich gospodarze oraz sposób przenoszenia się na człowieka (Tirado i in. 2010, zmienione i uzupełnione)

Czynnik mikrobiologiczny	Gospodarz	Metody przenoszenia na ludzi
Bakterie		
<i>Salmonella</i>	Drób i świnie	Odchody/układ pokarmowy
<i>Campylobacter</i>	Drób	Odchody/układ pokarmowy
<i>Vibrio</i> spp.	Skorupiaki i ryby	Odchody/układ pokarmowy
<i>Echerichia coli</i> 0157	Bydło i inne przeżuwacze	Odchody/układ pokarmowy
<i>Anthrax</i> , <i>Clostridium</i>	Zwierzęta hodowlane (oraz dzikie ptactwo)	Spożycie zarodników z wodą, glebą i paszami. Epidemie po suszach
<i>Yersinia</i>	Ptaki i gryzonie (z regionalnymi różnicami w gatunkach zakażonych zwierząt). Świnie, ale także bydło	Spożycie zakażonego mięsa lub mleka
<i>Listeria monocytogenes</i>	Zwierzęta hodowlane	Niepasteryzowane produkty mleczne. Niewłaściwie przygotowane mięso. Surowe i wędzone ryby.
<i>Leptospira</i>	Wszystkie gatunki zwierząt gospodarskich	Kontakt z zakażonymi zwierzętami, także poprzez wodę i zakażone rośliny.
Wirusy		
Wirus gorączki Doliny Rift	Różne zwierzęta hodowlane i dziko żyjące	Możliwość zakażenia wziewnego; zagrożeni pracownicy rzeźni, weterynarze itp.
Wirus Nipah	Świnie oraz nietoperze	Kontakt z zakażonym zwierzęciem. Choroba może przenosić się między ludźmi.
Wirus Hendra	Konie	Kontakt z zakażonym zwierzęciem
Hentawirus	Gryzonie	Zakażenie drogą wziewną w miejscach o dużej liczbie zakażonych gryzoni. Kontakt z chorym zwierzęciem.
Wirus zapalenia wątroby typu E	Różne zwierzęta hodowlane i dziko żyjące	Odchody/układ pokarmowy. Praca przy świńskim oborniku.
Wirus kleszczowego zapalenia mózgu	Owce, kozy	Niepasteryzowane mleko
Pasożyty		
Tasiemiec <i>Cysticercus bovis</i>	Bydło	Odchody/układ pokarmowy
Pierwotniak <i>Toxoplasma gondii</i>	Świnie, owce, koty domowe	Odchody zwierząt są główną drogą przenoszenia pasożyta. Zakażenie możliwe także przez spożycie zakażonego mięsa owiec i wieprzowiny.
<i>Cryptosporidium</i>	Bydło, owce	Odchody/układ pokarmowy. Praca przy odchodach zwierząt. Zakażona woda
Lamblioza (<i>Giardia</i>)	Bydło, koty i psy	Odchody/układ pokarmowy. Skażona woda.

4.5. Wpływ polityki klimatycznej na dostępność produktów żywnościowych

Osiągnięcie celu globalnej polityki klimatycznej, jakim jest powstrzymanie wzrostu średniej temperatury, wymagać będzie znaczącego ograniczenia emisji gazów cieplarnianych i osiągnięcia neutralności klimatycznej do połowy XXI wieku. Dlatego redukcja emisji będzie musiała nastąpić także w sektorze rolnym i produkcji żywności. Może to wpłynąć na dostępność niektórych produktów, zwłaszcza takich, z których wytworzeniem wiąże się największa emisja gazów cieplarnianych.

Jak to napisano w rozdziale 2, produkcja żywności jest istotnym źródłem emisji gazów cieplarnianych. Emisje te powstają na każdym etapie cyklu życiowego produktów spożywczych – od produkcji surowców roślinnych i zwierząt w gospodarstwach rolnych, przez ich transport, przetwarzanie, produkcję różnego rodzaju produktów, aż po ich dystrybucję. Dlatego też im dłuższy jest cykl życiowy pożywienia, tym jego wpływ na klimat jest większy. O wielkości emisji gazów cieplarnianych decyduje także rodzaj działalności rolnej – produkcja zwierzęca powoduje większą emisję gazów cieplarnianych niż produkcja roślinna (tab. 4.7)

Aby ułatwić porównanie oddziaływania różnych produktów/usług/aktywności na klimat, jego wielkość przedstawia się w postaci wskaźnika, jakim jest wielkość śladu węglowego. W pewnym uproszczeniu można przyjąć, że jest to całkowita wielkość emisji – zarówno bezpośredniej, jak i pośredniej – niezbędna do wyprodukowania na wszystkich etapach cyklu życiowego danego produktu. Jego wielkość wyraża się w jednostkach emisji CO₂ ekwiwalentnego (CO_{2eq})¹²⁹. Generalnie przyjmuje się, że im dłuższy cykl życiowy pożywienia, tym większy ślad węglowy (emisje powstają bowiem na każdym jego etapie). Na jego wielkość wpływają także cechy specyficzne, np. bardzo wysoki ślad węglowy mięsa wołowego oraz przetworów mlecznych spowodowany jest tym, że krowy (podobnie jak inne przeżuwacze) w wyniku fermentacji jelitowej w procesach metabolicznych odprowadzają znaczne ilości metanu. Dlatego w produkcji mleka to właśnie chów zwierząt ma największy udział (około 73%) w śladzie węglowym tego produktu¹³⁰. W przypadku innych produktów udział pozostałych etapów ich cyklu życiowego może przewyższać fazę produkcji rolnej. Na przykład w przypadku niektórych owoców i warzyw największy udział w ich śladzie węglowym ma transport (około

¹²⁹ Emisję innych niż CO₂ gazów cieplarnianych przelicza się na podstawie ich tzw. potencjału ocieplenia – wskaźnika określającego o ile silniejszy (lub słabszy) od CO₂ jest wpływ danego gazu cieplarnianego na bilans promieniowania cieplnego. Na przykład emisja 1 Mg metanu odpowiada 25 Mg CO_{2eq}, a emisja 1 Mg podtlenku azotu opowiada ok 290 Mg CO_{2eq}.

¹³⁰ Konieczny P., Dobrucka R., Mroczek E., 2013. Using Carbon Footprint to Evaluate Environmental Issues of Food Transportation. LogForum 9, 1, 3–10.

TABELA 4.7. Ślad węglowy wybranych produktów spożywczych*

Klasa produktu	Produkt	Emisja (g CO _{2eq} /kg produktu)
Produkty mięsne	Mięso wołowe	13 300
	Surowa kiełbasa	8 000
	Szynka (wieprzowa)	4 800
	Mięso drobiowe	3 500
	Mięso wieprzowe	3 250
	Ryby (łosoś hodowlany)	5 400
Produkty Mleczne	Masło	23 800
	Żółty ser	8 500
	Śmietana	7 600
	Jajka	1 950
	Twaróg	1 950
	Biały ser	1 950
	Margaryna	1 350
	Jogurt	1 250
	Mleko	950
Owoce	Jabłka	550
	Banany	480
	Pomarańcze	330
	Truskawki	300
Wyroby piekarnicze	Ciemne pieczywo	750
	Jasne pieczywo	650
Warzywa	Ziemniaki	260
	Pomidory	280
	Ogórek	410
	Salata	140
Inne	Ryż	2 300
	Pszenica	3 400
	Makaron	1 700

* Konieczny P., Mroczek E., Kucharska M., 2013: Ślad węglowy w zrównoważonym łańcuchu żywnościowym i jego znaczenie dla konsumenta żywności. *Journal of Agribusiness and Rural Development* 3 (29): 51–64 oraz Kaczmarczyk A. 2014: Ślad wodny i ślad węglowy marnowanej żywności. *Ekonatura* 12 (2014): 6–8.

50%)¹³¹. W przypadku dań gotowych etapami, które będą w największym stopniu wpływać na ich oddziaływanie na klimat, są procesy produkcyjne, logistyka i transport.

Polityka klimatyczna, a także dążenie ludzi do zapewnienia stabilności klimatu może spowodować zmiany w dostępności na rynku wybranych produktów spożywczych i zmienić wielkość popytu na nie. Dążąc do ograniczenia wpływu rolnictwa i sektora spożywczego na klimat, poszczególne państwa będą nakładać ograniczenia na produkty i te rodzaje działalności rolnej, z którymi związana jest największa emisja gazów cieplarnianych. Z drugiej strony na podaż na nie może wpłynąć świadomość konsumentów, którzy podejmując indywidualne decyzje mające wspierać ochronę klimatu, świadomie rezygnować będą z produktów o wysokim śladzie węglowym. Może to dotyczyć zarówno mięsa, jak i tych towarów i produktów spożywczych, które muszą być transportowane na bardzo duże odległości. Jak się wydaje, proces taki już się rozpoczął. Coraz więcej osób ogranicza swoją konsumpcję mięsa po to, aby zmniejszać swój indywidualny wkład w zmianę klimatu.

Coraz częściej wskazuje się też na konieczność oznaczania na produktach żywnościowych wprowadzanych na rynek ich rzeczywistego śladu węglowego. Jest to tyle istotne, że jak wskazują badania amerykańskie, konsumenci na ogół nie doszacowują kosztów ekologicznych (i klimatycznych) nabywanej i konsumowanej żywności. Dlatego kwestie te na ogół nie są uwzględniane przy podejmowaniu decyzji o zakupie konkretnych rodzajów pożywienia. Jeśli jednak nabywcy mają możliwość uzyskania przystępnej i wiarygodnej informacji o tym, jak duży jest wpływ danego produktu spożywczego na klimat, to wiedza ta wpływa na decyzję, czy dany produkt kupić czy nie¹³².

¹³¹ Weber C.L., Matthews H.S., 2008, Food-Miles and the Relative Climate Impacts of Food Choices in the United States. *Environmental Science & Technology* 42 (10), 3508–3513.

¹³² Camilleri A.R., Larrick R.P., Hossain S., Patino-Echeverri D., 2019: Consumers underestimate the emissions associated with food but are aided by labels. *Nature Climate Change* 9: 53–58.

5. Wpływ zmiany klimatu na bezpieczeństwo żywnościowe Polski

W analizie wpływu zmiany klimatu na bezpieczeństwo żywnościowe Polski należy brać pod uwagę oddziaływania, jakie zmienione warunki klimatyczne wywierają na wytwarzanie żywności, a także na jakość agrosystemów wykorzystywanych do produkcji rolnej, strukturę gospodarstw w Polsce, jak i potencjał produkcyjny uprawianych roślin w warunkach zmienionego klimatu. Ponieważ wpływ skutków zmiany klimatu na rolnictwo został omówiony w rozdziale 2, poniżej opisane zostaną pozostałe zagadnienia.

Wpływ na warunki produkcji rolnej w Polsce

Przydatność danego obszaru dla produkcji rolnej jest w Polsce określana na podstawie wskaźnika waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej (WRPP). Został on opracowany w latach 70. XX wieku w Instytucie Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach i jest stosowany do dnia dzisiejszego. Ocenę przeprowadza się na podstawie czterech kryteriów: jakości i przydatności gleb, klimatu, rzeźby terenu oraz stosunków wodnych gleb, przy czym za najważniejszy uznano jakość i przydatność gleb, który w Polsce odpowiada za około 80% zmienności plonów (tab. 5.1)¹³³.

TABELA 5.1. Kryteria oceniane przy obliczaniu wartości wskaźnika WRPP i jego średnia wartość w Polsce (<http://onw.iung.pulawy.pl/specyficzne/wwrpp>)

Wskaźnik cząstkowy	Zakres punktów	Średnia wartość WRPP w Polsce
Jakości i przydatności rolniczej gleb	18–95	49,5
Agroklimat	1–15	9,9
Rzeźba terenu	0–5	3,9
Stosunki wodne gleb	0,5–5	3,3
Razem WWRPP	19,5–120	66,6

Jak wskazują dane z tabeli 5.1, polskie agrosystemy charakteryzuje średnia przydatność do produkcji rolnej. W dużej mierze odpowiada za to jakość gleb, tych o najwyższej jakości (I i II klasa) jest w Polsce tylko 3,3%, dominują gleby o średniej jakości (III i IV klasa) – 62,6%, znaczny jest odsetek gleb słabych i bardzo słabych (34,1%

¹³³ <http://onw.iung.pulawy.pl/specyficzne/wwrpp> (dostęp: 25.01.2020).

powierzchni gleb uprawnych)¹³⁴. Stanowi to zagrożenie wobec oczekiwanych skutków zmiany klimatu, przewiduje się bowiem konieczność odstąpienia od rolniczego wykorzystania części gleb ornych o niskiej jakości lub ekstensyfikację produkcji na tych glebach. Zakłada się, że część najmniej urodzajnych gleb, dotychczas wykorzystywanych do produkcji zbóż, będzie mogła być przekształcona w tereny wypasu dla produkcji bydła mięsnego i owiec¹³⁵, co przynajmniej częściowo skompensuje straty wynikające z zaniechania upraw. Będzie to jednak zależeć od tego, jak znaczące zmiany zajdą w warunkach klimatycznych w Polsce i ewentualnych możliwości nawadniania łąk i pastwisk.

Wśród wielu opracowań odnoszących się do skutków zmiany klimatu, jakie przygotowano dla Polski, dwa w sposób szczególny odnoszą się do produkcji rolnej. Zgodnie z pierwszym z nich, optymistycznym, wzrost średniej temperatury rocznej wyniesie około 4°C, przy czym będzie on większy (około 5°C) w okresie pozawegetacyjnym niż w okresie letnim (od 2 do 3°C). Roczna suma opadów zwiększy się o od 15% (w Polsce południowej i centralnej) do 25% (w Polsce północno-wschodniej), wzrośnie ilość opadów pomiędzy listopadem a kwietniem, a latem i wczesną jesienią pozostaną one na poziomie zbliżonym do dotychczasowego¹³⁶.

Jak wskazują badania modelowe, w przypadku zmiany warunków klimatycznych zgodnej z tym modelem Polsce uda się utrzymać samowystarczalność w dziedzinie produkcji żywności, nawet wówczas, gdy około 10% gruntów rolnych zostanie wykorzystane na uprawy nieprzeznaczone na plon konsumpcyjny lub paszę (np. uprawy energetyczne lub na produkcję włókien, etanolu itp.). Plony zbóż ozimych nie zmienią się, może zaś zwiększyć się ogólna produkcja zbóż (ze względu na wzrost plonów upraw jarych). Wzrośnie zwłaszcza znaczenie kukurydzy, która stanie się podstawową rośliną zbożową jarą, z plonami wyższymi od obecnych nawet o 50%. Plony buraków cukrowych wzrosną o 3 do 10%, plony słonecznika i soi od 20 do 50%. Znacznie zwiększy się powierzchnia uprawy soi i grochu, zmniejszy natomiast obszar upraw oraz plony ziemniaków (o 20 do 30%). Może polepszyć się o 25 do 35% żyzność użytków zielonych. Okres wypasu zwierząt znacznie się wydłuży, chociaż latem może być nieefektywny z powodu okresowych susz i fal upałów. Plony buraków cukrowych oraz zawartość w nich cukru wzrosną. Zmaleje koszt produkcji zwierzęcej, bo okresy wypasu będą dłuższe¹³⁷.

Drugi scenariusz jest mniej optymistyczny. Zgodnie z nim średnia roczna temperatura wzrośnie o 5°C, przy czym większy wzrost temperatury ma nastąpić w miesiącach

¹³⁴ Skłodowski P., Bielska A., 2009: Właściwości i urodzajność gleb Polski – podstawą kształtowania relacji rolno-środowiskowych. *Woda – Ścieki – Obszary Wiejskie* 9 (4): 203–214.

¹³⁵ Mirkowska Z., 2009: Konsekwencje zmian klimatycznych dla rolnictwa. *Zagadnienia Ekonomiki Rolnej* 2: 48–58.

¹³⁶ Mirkowska Z., 2009: Ibidem.

¹³⁷ Stuczyński T., Demidowicz G., Deputat T., Górski T., 2000: Adaptation scenarios of agriculture in Poland to future climate changes. *Environmental Monitoring and Assessment* 61: 133–144.

letnich, co zwiększy parowanie, a tym samym prawdopodobieństwo wystąpienia suszy rolniczej. Dla produkcji zwierząt będzie to miało także negatywne konsekwencje ze względu na wzrost częstości przekraczania temperatur optymalnych dla zwierząt gospodarskich. W scenariuszu tym zakłada się też, że roczna suma opadów będzie podobna do bieżącego poziomu, ale ich rozkład będzie niekorzystny z punktu widzenia rolnictwa: wystąpi mały wzrost opadów w zimie i wiosną oraz znaczący spadek w lecie, co jeszcze bardziej narazi rośliny uprawne na stres suszy¹³⁸.

W przypadku takiego przebiegu skutków zmiany klimatu plony upraw zbóż ozimych mogą zmaleć o 10%, plony buraków cukrowych o 15%, a ziemniaków o 70%. Tylko uprawa roślin ciepłolubnych będzie wysoce produktywna. Udział kukurydzy w ogólnej strukturze upraw w Polsce wyniesie 15–20% – dzięki zwiększonym plonom kukurydzy plony oraz produkcja upraw zbożowych prawdopodobnie utrzymają się na obecnym poziomie. Żywność użytków zielonych spadnie, konieczne będzie nawadnianie pastwisk, co spowoduje znaczny wzrost kosztów produkcji zwierzęcej. Obszary użytków rolnych, które wymagać będą intensywnego nawadniania, mogą powiększyć się do 1,5–2 mln ha¹³⁹. W przypadku braku możliwości prowadzenia nawodnień konieczne będzie odstąpienie od produkcji rolnej – zarówno upraw, jak i hodowli zwierząt – ze względu na znaczący wzrost niestabilności wyników ekonomicznych tej produkcji. Wraz ze wzrostem niepewności przebiegu warunków pogodowych w ciągu roku, wzrostem częstości występowania i gwałtowności przebiegu ekstremalnych zdarzeń meteorologicznych będzie to istotny czynnik ograniczający bezpieczeństwo żywnościowe Polski.

Niezależnie jednak od tego, według którego z tych scenariuszy warunki klimatyczne w Polsce będą się zmieniać, przytoczone przykłady wskazują, jak bardzo mogą zmienić się kierunki produkcji rolnej w naszym kraju. Konsekwencją będzie konieczność zmian w nawykach żywnościowych Polaków ze względu na znaczące zmniejszenie produkcji niektórych roślin (np. ziemniaków) oraz zmiany w przetwórstwie rolno-spożywczym, które będzie musiało dostosować się do nowych kierunków produkcji rolnej.

5.1. Gospodarstwa rolne wobec skutków zmiany klimatu

W 2018 roku, według GUS, w Polsce funkcjonowało 1422 tys. gospodarstw indywidualnych użytkujących 14 669 tys. ha. Średnia powierzchnia gospodarstwa kształtowała się na poziomie 10,3 ha. Należy zaznaczyć, że 74% gospodarstw rolnych (około 1049 tys.) posiadało tylko do 5 ha użytków rolnych, a zajmowały one 28% ich powierzchni. Grupa gospodarstw rolnych o powierzchni powyżej 10 ha (około 352 tys.)

¹³⁸ Mirkowska Z., 2009: Ibidem.

¹³⁹ Stuczyński T., Demidowicz G., Deputat T., Górski T., 2000: Ibidem.

użytkowała 72% powierzchni użytków rolnych. Z kolei grupa największych gospodarstw, posiadających 500 ha i więcej użytków rolnych (około 759 gospodarstw), zajmowała 6,9% ogólnej powierzchni kraju.

W Polsce wydzielono pięć typów gospodarstw rolnych (rys. 5.1)¹⁴⁰:

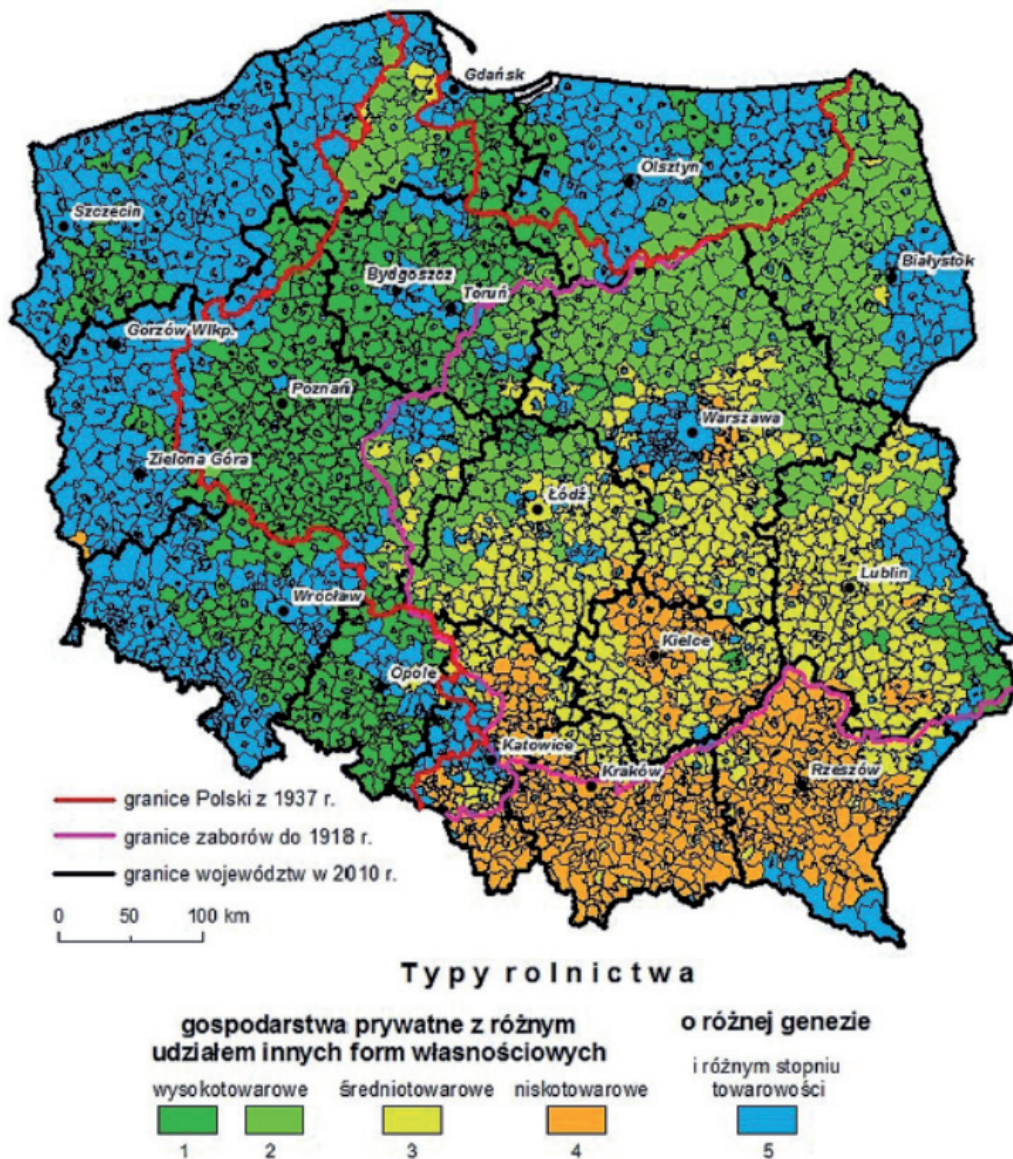
- rolnictwo wysokotowarowe typu 1. Dominują w tej grupie gospodarstwa stanowiące własność osób fizycznych, ale znaczący ich odsetek ma także inne formy własności (własność Skarbu Państwa, spółki, spółdzielnie). Ten typ rolnictwa wysokotowarowego wyróżnia się dużym zużyciem nawozów mineralnych (161,5 kg czystego składnika NPK/ha użytków rolnych). W strukturze zasiewów największą rolę odgrywają: pszenica (27,3%), rzepak (14,7%), pszenżyto (11,7%) oraz jęczmień (11,6%). Jest tu największy udział w powierzchni zasiewów buraków cukrowych i kukurydzy przeznaczanej na ziarno i najlepiej rozwinięty chów trzody chlewnej (156,61 szt./100 ha użytków rolnych). Dobrze rozwinięte są też pozostałe rodzaje produkcji zwierzęcej. W 2010 roku dochody 45,8% gospodarstw z tej grupy w ponad 50% pochodziły z rolnictwa, a 23,7% gospodarstw niemal w 100% swoją produkcję przeznaczało na rynek;
- rolnictwo wysokotowarowe typu 2. W ponad 90% przypadków właścicielami tych gospodarstw są osoby fizyczne. Warunki glebowe i stosunki wodne sprawiły, że mniejszy jest udział gruntów ornych, a większy trwałych użytków zielonych – zwłaszcza łąk (22,7%). W strukturze zasiewów dominują zboża, a wśród nich największe znaczenie miały mieszanki zbożowe (21,4%), żyto (17,2%) i pszenżyto (16,3%). Pozostałe uprawy mają niewielkie znaczenie. Typ ten wyróżnia się największym w skali kraju natężeniem chowu bydła (72,8 szt./100 ha UR). Chów pozostałych gatunków zwierząt z wyjątkiem drobiu jest słabiej rozwinięty. W 2010 roku dochody 48,8% gospodarstw z tej grupy w ponad 50% pochodziły z rolnictwa, a niemal 20% gospodarstw w 100% swoją produkcję przeznaczało na rynek;
- rolnictwo średniotowarowe typu 3. Dominują w tej grupie gospodarstwa stanowiące własność osób fizycznych, ale znaczący ich odsetek ma także inne formy własności (własność Skarbu Państwa, spółki, spółdzielnie). W tej grupie przeważają gospodarstwa średnie i małe, ich przeciętna wielkość wynosi 6,2 ha UR. Wśród upraw polowych dominują zboża, a z pozostałych roślin większe znaczenie mają jedynie ziemniaki (5,7%). Słabo rozwinięta jest produkcja zwierzęca. Na nieco wyższym poziomie jest jedynie chów drobiu kurzego i kaczek. W rolniczym użytkowaniu ziemi zwraca uwagę ponadprzeciętny udział sadów (5,7%). Choć 87,4% gospodarstw prowadzi działalność rolniczą, to jednak podstawowe ich dochody pochodzą z pracy najemnej. Tylko 15,9% gospodarstw nastawionych jest przede wszystkim na produkcję towarową. Są to zazwyczaj gospodarstwa sadownicze i prowadzące uprawę warzyw.

¹⁴⁰ Głębocki B., Kacprzak E., Kossowski T., 2018: Identyfikacja typów rolnictwa polski z uwzględnieniem zależności przestrzennych [w:] Teoretyczne i aplikacyjne wyzwania współczesnej geografii społeczno-ekonomicznej. Studia KPZK PAN t. 183: 315–331.

- rolnictwo średniotowarowe i niskotowarowe typu 4. Średnia wielkość gospodarstw wynosząca zaledwie 3,8 ha, ten typ gospodarstw w dużej części występuje na terenach o niekorzystnych warunkach przyrodniczych dla rozwoju rolnictwa. Są to tereny w dużej części narażone na intensywne procesy erozyjne, co bardzo utrudnia prowadzenie prac polowych. W strukturze zasiewów największą powierzchnię zajmują pszenica (24,5%) oraz ziemniaki (13,9%). W gospodarstwach tego typu ponadprzeciętne znaczenie mają uprawy pod osłonami (4551,1 m²/100 ha UR). Poziom natężenia chowu bydła i owiec jest w nich bardzo niski. Około 49,1% gospodarstw tego typu swoją produkcję przeznacza na samozaopatrzenie, a tylko 12,3% prowadzi głównie produkcję towarową. Są to zazwyczaj gospodarstwa sadownicze, warzywnicze i prowadzące uprawy pod osłonami;
- rolnictwo o różnej genezie i różnym stopniu towarowości typu 5. Bardzo często gospodarstwa tego typu spotykane są na terenach miejskich lub z nimi sąsiadujących. Dlatego znaczny odsetek stanowią podmioty prowadzące produkcję pod osłonami, warzywniczą i sadowniczą. W zakresie produkcji zwierzęcej można zauważyć niższą obsadę bydła i trzody chlewnej, co jest spowodowane administracyjnymi ograniczeniami chowu zwierząt na terenach miejskich. Około 1/3 gospodarstw tego typu produkuje głównie na rynek.

Wobec zmiany klimatu gospodarstwa, aby móc dalej prowadzić działalność produkcyjną, będą musiały wdrożyć wiele praktyk adaptacyjnych, do których potrzebne będą zarówno nowa wiedza, jak i nowe środki produkcji. Działania powinny dążyć do ukierunkowania systemów produkcji i właściwego wsparcia dla tych gospodarstw, np. przez rolnicze służby doradcze, jak i możliwości finansowania tego procesu. Jak się wydaje, największe szansę na wdrożenie tych działań będą miały gospodarstwa 1 i 2 typu, zwłaszcza te, które produkują wyłącznie lub niemal wyłącznie na rynek. W pozostałych grupach o odejściu od produkcji rolnej może decydować rachunek ekonomiczny – koszty działań adaptacyjnych mogą być zbyt wysokie w stosunku do spodziewanych zysków z utrzymania produkcji. Potencjalnie mogłoby to wesprzeć poprawę struktury agrarnej w Polsce, ale dotychczasowe doświadczenia wskazują, że rynek ziemi w Polsce w znaczącym stopniu ogranicza system ubezpieczeń społecznych. Rolnicy, nawet jeśli nie prowadzą produkcji na rynek, to nie sprzedają swoich gruntów, aby nie stracić prawa do udziału w systemie ubezpieczeń rolniczych KRUS.

W kontekście zapewnienia bezpieczeństwa żywnościowego kraju na szczególną uwagę zasługują gospodarstwa towarowe, produkujące na rynek krajowy i zagraniczny. Należy podkreślić, że niestabilność w rolnictwie będzie dotyczyć w większym stopniu krajów o cieplejszym klimacie niż klimat Polski, a braki żywności w tych rejonach będą musiały być solidarnie uzupełnione przez rolnictwo funkcjonujące w warunkach klimatycznych, w których możliwa będzie jeszcze produkcja żywności na poziomie umożliwiającym eksport nadwyżek. Będą więc potrzebne wysoko wyspecjalizowane gospodarstwa o zróżnicowanym profilu produkcji posiadające duże moce produkcyjne.



RYСУNEK 5.1. Rozmieszczenie różnych typów gospodarstw rolnych w Polsce (Głębocki, Kacprzak, Kosowski 2018)

Należy jednak zakładać, że zwiększająca się zmienność plonowania upraw, pomimo większych możliwości finansowych tych gospodarstw, może destabilizować również ich sytuację ekonomiczną, a w konsekwencji odchodzenie od produkcji rolnej. Duże gospodarstwa potrzebują już obecnie wsparcia w przygotowaniu systemów uprawy z wykorzystaniem niskoemisyjnych praktyk rolniczych.

5.2. Przydatność rolnicza obszarów a zmiana klimatu

Przydatność obszarów na potrzeby rolnictwa jest wypadkową możliwości uprawy szerokiej gamy roślin, które będą wysoko i stabilnie plonować. Obszar Polski jest tradycyjnie uważany za bardzo dobry do uprawy roślin ozimych. Jednak przez długi czas, nawet w okresie dotowanej gospodarki przed 1989 rokiem, na podobnych glebach nie można było osiągać plonów zbliżonych do uzyskiwanych na zachodzie Europy. Przyczyną takiego stanu były różnice w agrotechnice, ale również występujące w Polsce warunki ostrej zimy oraz niedostatek opadów w okresie wegetacji. Wraz z globalnym ociepleniem według większości prognoz częściej występować będą łagodne zimy, podczas których znacznie wzrosną sumy opadu atmosferycznego. Będzie to częściowo korzystne dla plonowania, pod warunkiem jednak, że nie wystąpią nagle duże spadki temperatury prowadzące do wymarzania upraw ozimych jak np. obserwowane w 2012 roku.

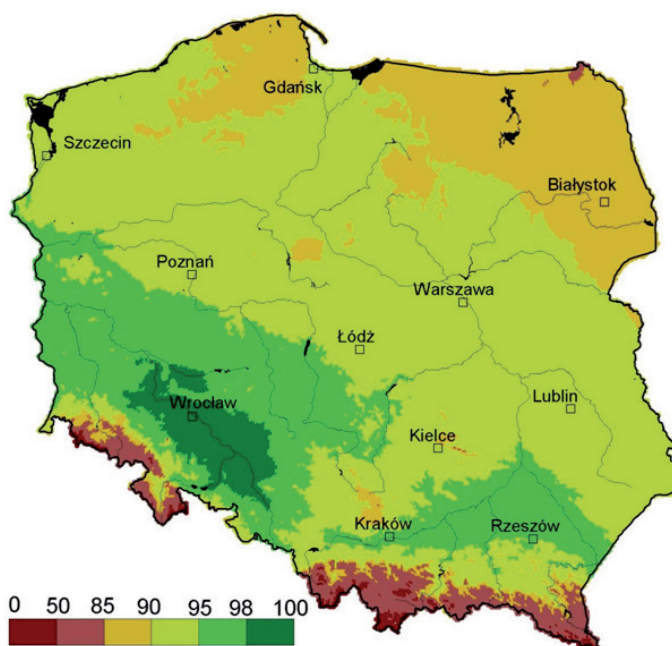
Przydatność rolniczą obszarów określają warunki termiczne (suma temperatur, temperatura minimalna i temperatura maksymalna) i warunki wilgotnościowe oraz zmiany długości dnia. W ocenie Agroklimatu Polski wskazano, że najkorzystniejsze obszary dla rolnictwa znajdują się w województwie dolnośląskim i opolskim, gdzie wskaźnik agroklimatu przekracza wartość 98 pkt (rys. 5.2). Najmniej korzystnymi obszarami (poza górami) są obszary okolic Suwałk, gdzie wartości wskaźnika agroklimatu wynoszą około 85 pkt¹⁴¹. Oznacza to, zgodnie z tą oceną, że w okolicach Suwałk warunki agrometeorologiczne są gorsze o około 15–20% od tych na Dolnym Śląsku.

W sytuacji ocieplenia coraz większe znaczenie w przydatności obszarów dla rolnictwa w Polsce będzie miała suma opadu atmosferycznego. Wielkość opadu atmosferycznego na obszarze naszego kraju jest zróżnicowana, średnio wynosi 550–600 mm (rys. 5.3).

Największe sumy opadu atmosferycznego notowane są na południu i północy kraju. W górach średnia roczna suma opadu atmosferycznego wynosi ponad 800 mm, a na pogórzu oraz na północy Polski powyżej 600 mm. Najmniejsze opady występują w części środkowej naszego kraju, w pasie nizin, Wielkopolsce, gdzie roczna suma nie przekracza 500 mm. Według wieloletnich obserwacji największe opady występują w lipcu (od 60 mm na północnym zachodzie do ponad 200 mm na południu kraju), najmniejsze zaś w lutym (około 30 mm, jedynie na krańcach południowych i północnych powyżej 30 mm).

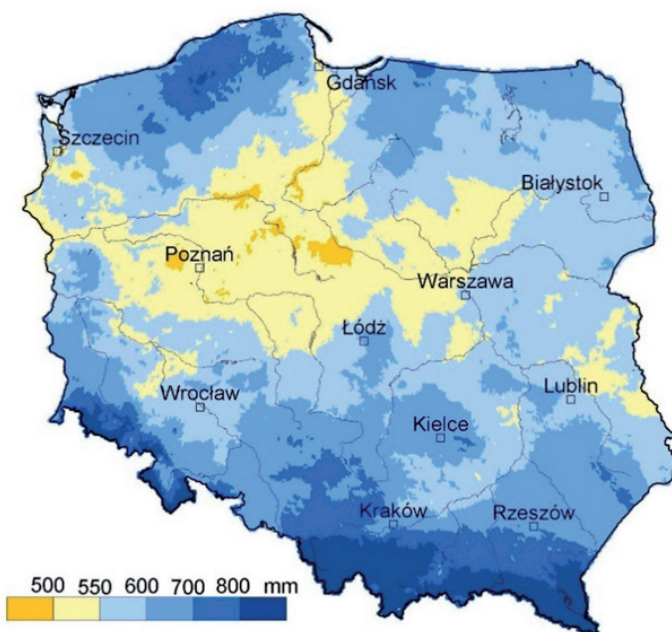
W dotychczasowej ocenie warunków wodnych dla rolnictwa zakładano, że w zimie następuje wystarczające napełnienie gleby, pozwalające uprawom ozimym nawet przy niewielkich opadach wiosennych na wydanie wysokiego plonu. W przypadku upraw jarych gwarancje taką dawał odpowiednio wczesny siew. Wobec obserwowanego ocieplenia

¹⁴¹ Górski T., Demidowicz G., Deputat T., Jakacka M., Spoz-Pač B., 1979: Bonitacja agroklimatyczna Polski. Zeszyty Problemowe Postępu Nauk Rolniczych 224: 73–80.



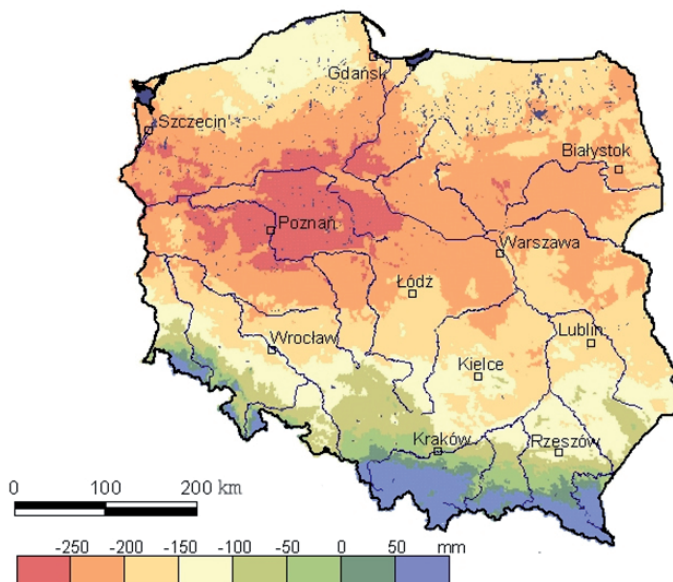
RYSUNEK 5.2. Bonitacja agroklimatu Polski (Model Agroklimatu Polski: Górski, Zaliwski 2002; opracowanie mapy: Jerzy Kozyra)*

*Górski T., Zaliwski A. 2002: Model Agroklimatu Polski (Agroclimate Model of Poland). Pamiętnik Puławski, 130/I: 251–260.



RYSUNEK 5.3. Suma roczna opadu atmosferycznego w Polsce (Model Agroklimatu Polski: Górski, Zaliwski 2002; opracowanie mapy: Jerzy Kozyra)

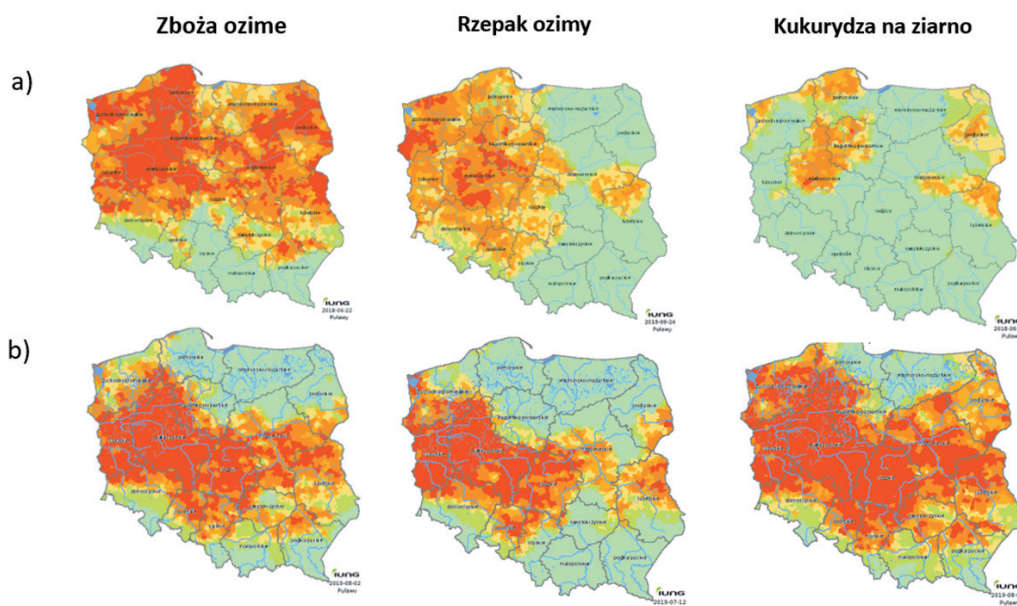
zmieniają się warunki zimowania, temperatura podczas zimy nie umożliwia występowania pokrywy śnieżnej, co nie zapewnia oziminom należytej ochrony przed gwałtownymi spadkami temperatury. O dostępności wody dla roślin decyduje nie tylko wielkość opadu atmosferycznego, ale również parowanie. Różnicę opadu atmosferycznego i parowania potencjalnego opisuje wartość klimatycznego bilansu wodnego (KBW). Największe niedobory wody według tego wskaźnika występują w Wielkopolsce, najmniejsze zaś na południu Polski (rys. 5.4). Na obszarze Wielkopolski w okresie od kwietnia do września KBW przyjmuje wartości ujemne, dochodzące do -250 mm. Oznacza to, że w całym tym okresie ilość wody potencjalnie mogącej wyparować z systemu gleba-roślina jest większa od ilości opadu atmosferycznego. Jest to niekorzystne dla roślin, gdyż przez cały okres wegetacji narażone są na występowanie niedoborów wody.



RYСУNEK 5.4. Klimatyczny bilans wodny w Polsce (Model Agroklimatu Polski: Górski, Zaliwski 2002; opracowanie mapy: Jerzy Kozyra)

Na zróżnicowanie wielkości opadu atmosferycznego nakłada się także zmienność pokrywy glebowej. W Polsce na przeważającej większości powierzchni kraju występują gleby lekkie, piaszczyste. Gleby te są szczególnie narażone na wystąpienie suszy (rys. 5.5), gdyż ich struktura nie pozwala na zatrzymywanie w nich wody ze względu na bardzo małą ich pojemność wodną. Zmiana stosunków wodnych, jaka nastąpi wraz ze zmianami klimatycznymi, przyczyni się do degradacji i tak już słabych gleb, a także – jak już napisano wcześniej – ograniczy uprawę roślin na glebach najslabszych. W przypadku gleb ciężkich woda opadowa wolniej przesiąka w profil glebowy, ale też dłużej jest w nim zatrzymywana, dzięki czemu są one bardziej odporne na suszę.

W perspektywie prognozowanych zmian klimatu należy oczekiwać, że w celu zapewnienia stabilnego plonowania nieodzowne będzie nawadnianie upraw. Nawadnianie może okazać się konieczne zwłaszcza na słabszych glebach. Wzrost zapotrzebowania rolnictwa na wodę może doprowadzić do dużej konkurencji z innymi dziedzinami gospodarki a tym samym spowodować wzrost ceny wody do celów spożywczych. Wraz ze zwiększonymi potrzebami nawadniania różnych odbiorców może dojść do sytuacji, że woda będzie reglamentowana również dla rolnictwa.



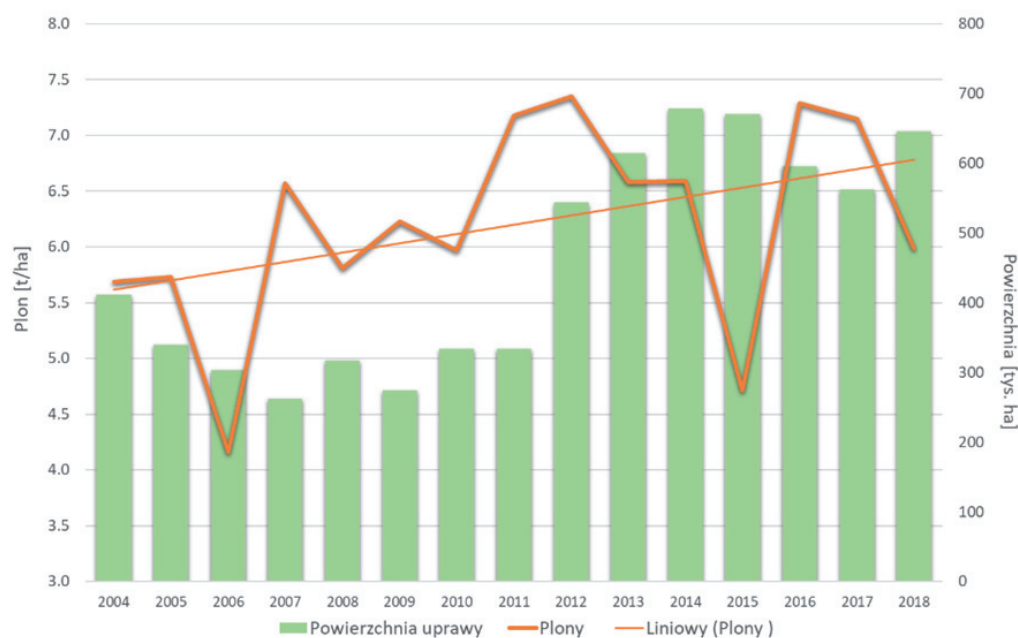
RYСУNEK 5.5. Obszary zagrożone suszą rolniczą w Polsce w 2018 (a) i 2019 (b) roku (www.susza.iung.pulawy.pl)

Zgodnie z analizami wpływu zmiany klimatu na wzrost temperatury w Polsce, wraz z prognozowanym wzrostem zasobów ciepła poprawia się przydatność obszarów do uprawy roślin ciepłolubnych, takich jak kukurydza na ziarno, soja, proso, słonecznik czy winorośl. Do niedawna uprawa roślin ciepłolubnych w naszym kraju miała niewielkie znaczenie gospodarcze, co wynikało z dużego ryzyka ich uprawy w warunkach klimatu Polski. Sytuacja w tym zakresie zmienia się dynamicznie. Dane statystyczne wskazują znaczący wzrost areалу, na którym uprawiana jest kukurydza, przeznaczana zarówno na ziarno, jak i na kiszonkę (rys. 5.6 i 5.7). W 2018 roku powierzchnia jej uprawy na ziarno wyniosła 645 tys. ha, a na kiszonkę 602 tys. ha. Łączna powierzchnia uprawy kukurydzy przeznaczonej na ziarno i na zielonkę osiągnęła w 2018 roku około 1247 tys. ha. Wzrost powierzchni uprawy kukurydzy w Polsce na cele ziarnowe w stosunku do 1998 roku jest więc sześciokrotny (powierzchnia jej uprawy wynosiła wówczas mniej niż 100 tys. ha). Przyrost powierzchni tego areálu był największy

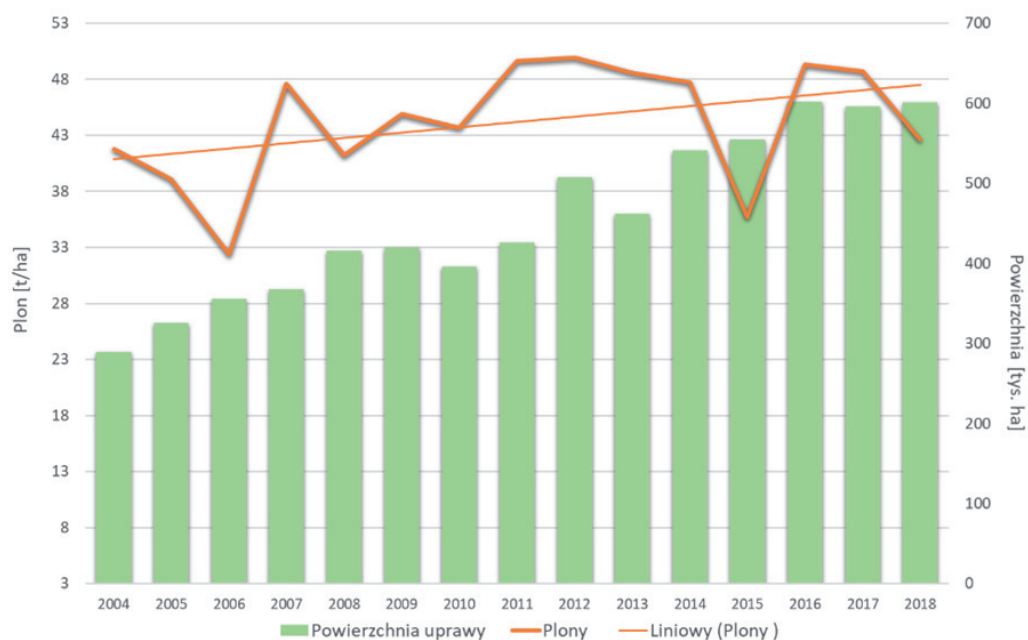
w województwach kujawsko-pomorskim, wielopolskim, dolnośląskimi i opolskim, ale wzrasta również w województwach północnych, gdzie przed 2000 rokiem można było uprawiać tylko odmiany bardzo wczesne. Kukurydza stała się więc drugą po pszenicy ozimej najważniejszą uprawą rolną w Polsce.

Jednak po względem stabilności plonowania straty wywoływane przez niekorzystny przebieg pogody w przypadku kukurydzy są bardzo wysokie. Jest to istotne z punktu widzenia stabilności produkcji zarówno na poziomie kraju, jak dla gospodarstw. Wystąpienie niekorzystnego przebiegu pogody w latach 2006 i 2015 spowodowało, że uzyskany średni plon z hektara kukurydzy ziarnowej był mniejszy o 39% względem poziomu wyznaczonego przez linię trendu odzwierciedlającą poziom technologii i postęp technologii. W 2018 roku, kiedy kolejny raz wystąpiła na dużym obszarze susza (rys. 5.5), plony były niższe o 13%. W przypadku korzystnego przebiegu pogody w sezonie wegetacyjnym, jaki wystąpił w 2011 i 2012 roku, plony były większe o około 14% w stosunku do poziomu linii trendu. Obserwowany trend wzrostowy plonowania kukurydzy w Polsce świadczy o poprawie zarówno agrotechniki, jak i potencjału do plonowania kukurydzy.

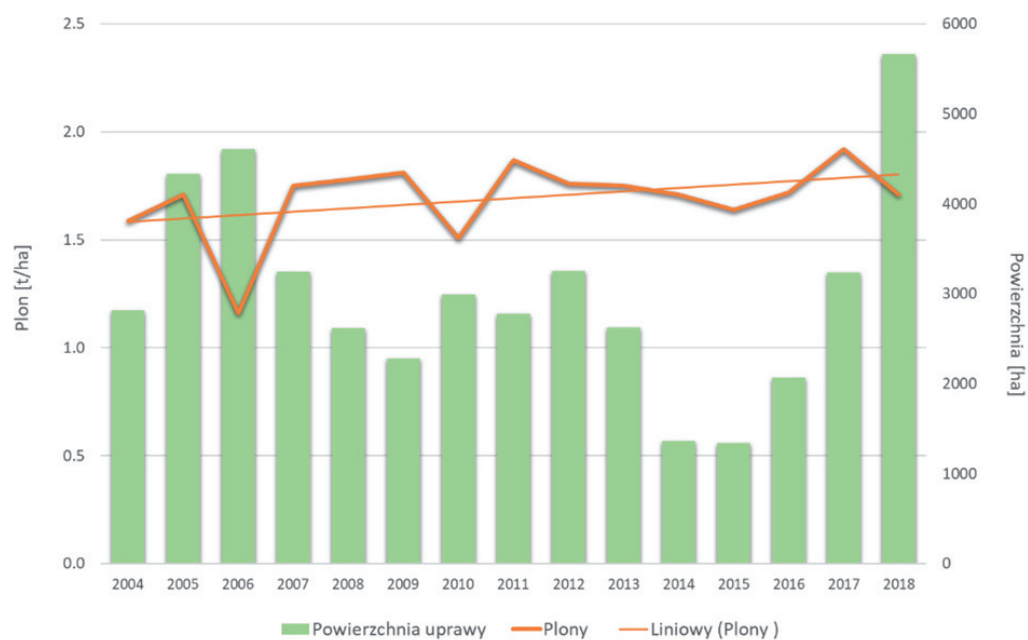
Powierzchnia uprawy pozostałych roślin ciepłolubnych w Polsce nie jest obecnie znacząca. Słonecznik (rys. 5.8) uprawiano w 2018 roku na areale 5665 ha (znaczący wzrost w stosunku do 2017 roku z 3238 ha), soję na areale 855 ha, a proso na 13 721 ha. Jednak w konsekwencji zwiększania się zasobów ciepła należy zakładać, że areal uprawy tych roślin ciepłolubnych będzie się zwiększał.



RYСУNEK 5.6. Powierzchnia, plony i trend plonowania kukurydzy ziarnowej w Polsce w latach 2004–2018 (opracowanie własne)



RYSUNEK 5.7. Powierzchnia, plony i trend plonowania kukurydzy uprawianej na zielonkę w Polsce w latach 2004–2018 (opracowanie własne)



RYSUNEK 5.8. Powierzchnia, plony i trend plonowania słonecznika w Polsce w latach 2004–2018 (opracowanie własne)

5.3. Wpływ suszy na bezpieczeństwo żywnościowe

Jak to już wspomniano kilkakrotnie wcześniej, czynnikiem, który wywrze największy wpływ na powodzenie produkcji rolnej, a przez to będzie miało kluczowe znaczenie dla bezpieczeństwa żywnościowego naszego kraju, jest dostępność wody. Już dziś jej deficyt wywiera znaczący wpływ na wielkość plonu i wyniki ekonomiczne gospodarstw rolnych, a spodziewane zmiany w wielkości i rozkładzie opadów jeszcze ten wpływ pogłębią.

W ostatnich latach obserwuje się w Polsce znaczący wzrost częstości susz. O ile bowiem w latach 1951–1981 susze występowały średnio co cztery, pięć lat, to w latach 1982–2012 ich częstość wzrosła – występowały już średnio co dwa lata¹⁴². Od 2013 roku występują one w każdym roku (charakteryzując się różnym czasem trwania oraz zasięgiem występowania), a lata 2018 i 2019 to okres, kiedy miały one szczególnie natężenie¹⁴³. Obecnie w naszym kraju trwale zagrożonych suszą jest 35% gruntów ornych, a blisko 70% powierzchni użytków zielonych znajduje się na obszarach z deficytem wody¹⁴⁴.

Szerokie badania wpływu suszy na wyniki ekonomiczne gospodarstw rolnych i na wielkość produkcji przeprowadził Instytut Ekonomiki Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej¹⁴⁵. Analizowano i porównywano sytuacje w ponad 4500 gospodarstwach rolnych, z których niemal 300 położonych było na terenach szczególnie narażonych na suszę (rys. 5.9). Wyniki analiz wykazały, że produktywność i wyniki ekonomiczne gospodarstw dotkniętych suszą były istotnie gorsze niż gospodarstw nienarażonych na stres suszy. Dotyczyło to zarówno gospodarstw specjalizujących się na uprawach polowych, hodowli zwierząt, jak i prowadzących produkcję mieszaną.

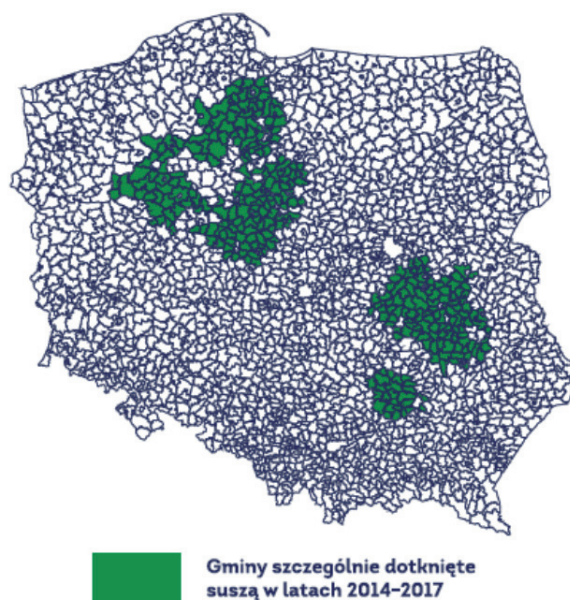
W przypadku produkcji polowej produktywność pracy w gospodarstwach narażonych na suszę, w przeliczeniu na pełnozatrudnioną osobę w gospodarstwie była niższa od produktywności w gospodarstwach nienarażonych na stres wodny o 17,1% w przypadku podmiotów prowadzących uprawy na glebach słabszych i o 10,5% na glebach lepszych. Było to spowodowane znacząco niższymi plonami, które w przypadku gospodarstw narażonych na suszę i uprawiających na słabych glebach były o ponad 10% niższe niż w odpowiadających im podmiotach, które na suszę nie były narażone. W przypadku upraw na glebach o lepszej jakości różnica była mniejsza i wynosiła ponad 6% (rys. 5.10). Warto zauważyć, że stres suszy miał większy wpływ na wyniki produkcyjne niż jakość gleby.

¹⁴² Lorenc H., 2011: Susze i opady maksymalne w Polsce. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa. Prezentacja na seminarium PK GWP, 16.12.2011 r., Warszawa.

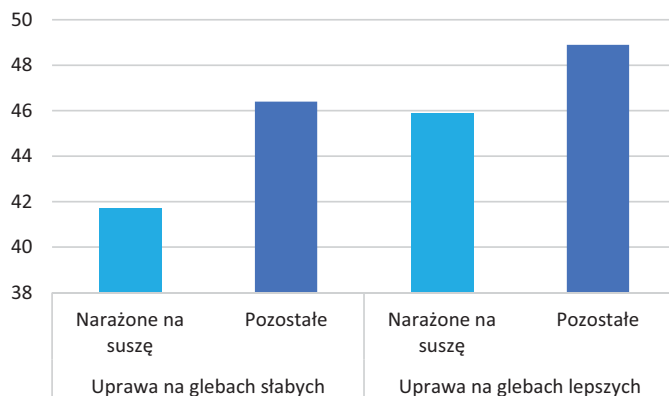
¹⁴³ Zieliński M., Sobierajewska J., 2019: Rolnictwo w obliczu suszy a bezpieczeństwo żywnościowe. Wyd. PKE OM, Warszawa. Wszystkie podane w tym podrozdziale dane dotyczące różnic w efektywności gospodarstw narażonych na suszę i pozostałych – o ile nie podano inaczej – pochodzą z tej publikacji.

¹⁴⁴ Mioduszewski W., Dembek W. 2009. Woda na obszarach wiejskich. IMUZ, MRiRW, Warszawa.

¹⁴⁵ IERGŻ, 2016: Przedsiębiorstwo i gospodarstwo rolne wobec zmian klimatu i polityki rolnej (pod redakcją Józwiak W.J. IERGŻ-PIB, Warszawa.

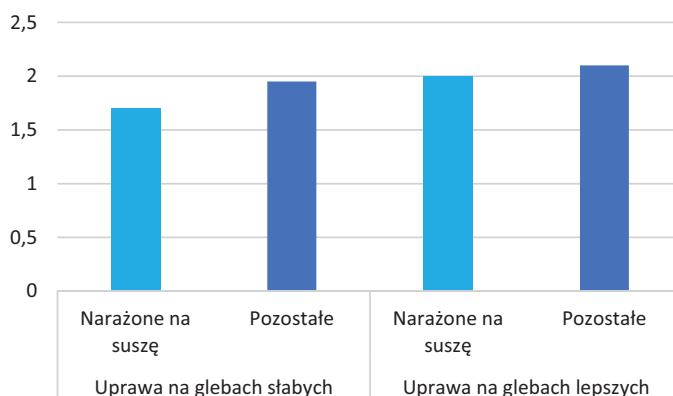


RYSUNEK 5.9. Gminy szczególnie dotknięte suszą w latach 2014–2017 (Zieliński, Sobierajewska 2019)

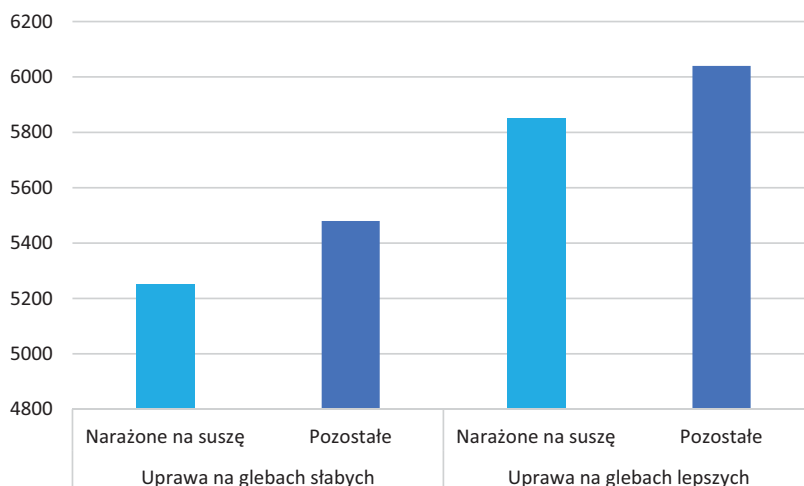


RYSUNEK 5.10. Przeciętny plon zbóż ogółem (dt/ha) w gospodarstwach prowadzących głównie uprawy: średnia dla lat 2014–2017 (Zieliński, Sobierajewska 2019)

Niższy plon przełożył się na znacząco gorsze wyniki ekonomiczne osiągane przez rolników, którzy prowadzili uprawy na terenach narażonych na suszę. W przypadku gospodarstw prowadzących produkcję na glebach słabych wielkość dochodu była o 12,8% niższa niż w odpowiadających im podmiotach, które nie doświadczyły stresu wodnego. W przypadku gospodarstw produkujących na lepszych glebach różnica ta wynosiła niemal 5% (rys. 5.11).



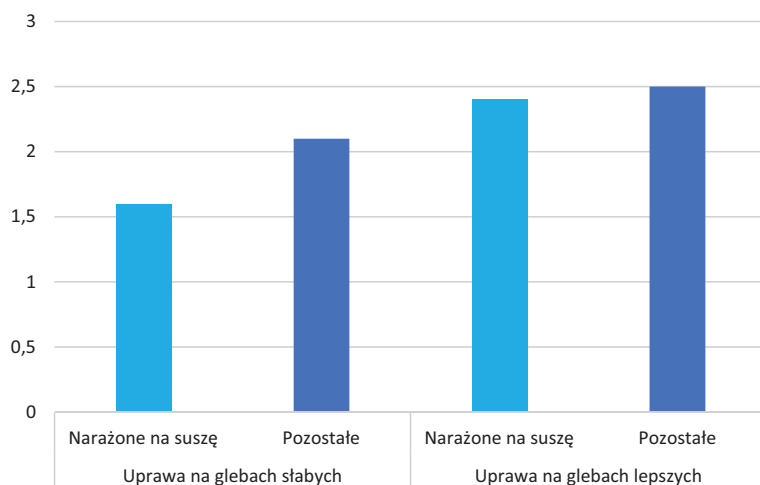
RYСУNEK 5.11. Przeciętny dochód (tys. PLN/ha UR) w gospodarstwach prowadzących głównie uprawy: średnia dla lat 2014–2017 (Zieliński, Sobierajewska 2019)



RYСУNEK 5.12. Przeciętna wydajność mleczna krów (kg/rok/krowę) w gospodarstwach z chowem zwierząt (karmionych paszami): średnia dla lat 2014–2017 (Zieliński, Sobierajewska 2019)

Również w odniesieniu do produkcji zwierzęcej produktywność w gospodarstwach narażonych na suszę jest mniejsza (w przeliczeniu na jedną pełnozatrudnioną osobę) niż w podmiotach niemających takiego problemu. Mniejsza jest różnica w przypadku prowadzenia chowu na glebach słabszych, gdzie różnica w produktywności wynosiła 4,8%, niż na glebach lepszych, gdzie wielkość tej różnicy wynosiła aż 15,4%. Na terenach narażonych na suszę przeciętna wydajność mleczna krów była znacząco mniejsza niż w pozostałych gospodarstwach (rys. 5.12).

Produkcja zwierzęca prowadzona na terenach dotkniętych suszą przynosiła także niższy dochód w przeliczeniu na 1 hektar użytków rolnych: o 14,3% w przypadku gospodarstw na słabych glebach i o 7,5% na glebach lepszych.



RYСУNEK 5.13. Przeciętny dochód (tys. PLN/ha UR) w gospodarstwach prowadzących produkcję mieszaną: średnia dla lat 2014–2017 (Zieliński, Sobierajewska 2019)

W gospodarstwach prowadzących produkcję mieszaną, które były narażone na suszę zarówno plony zbóż, jak i produkcja mleka były mniejsze niż w odpowiadających im podmiotach, które nie były narażone na stres suszy. W przypadku upraw plon był mniejszy o 5,2% w odniesieniu do gospodarstw prowadzących uprawy na słabych glebach i o 3,8% na glebach lepszych; w przypadku produkcji mleka różnica wynosiła odpowiednio 10,9 i 7,6%. W konsekwencji także osiągany przez nie dochód był mniejszy, w przypadku gospodarstw użytkujących słabe gleby niemal o 1/4 (rys. 5.13).

Przytoczone dane wskazują jednoznacznie, że dostępność wody jest istotnym czynnikiem limitującym wielkość produkcji rolnej – zarówno roślinnej, jak i zwierzęcej – w Polsce. Wpływa także na zmienność plonowania.

5.4. Poziom i zmienność plonowania

W Polsce około 73,8% użytków rolnych stanowią powierzchnie pod zasiewami, kolejno łąki trwałe (18,8%), pastwiska trwałe (2,7%), uprawy trwałe (2,4%) i ogrody przydomowe (0,2%), natomiast grunty ugorowane i pozostałe użytki rolne to 2,1% użytków rolnych. Największą grupę upraw pod względem powierzchni w Polsce (2018 rok) stanowią zboża, zajmując 72,1% ogólnej powierzchni zasiewów (7,8 mln ha). Uprawy roślin przemysłowych stanowią 10,6%, pastewnych 9,4%, strączkowe na ziarno 2,5%, ziemniaki 2,7%. Spośród zbóż największy areal zajmują kolejno: pszenica ozima

(1,9 mln ha), pszenżyto ozime (1,1 mln ha), mieszanki zbożowe ozime (916 tys. ha), żyto (894 tys. ha), jęczmień jary (722 tys. ha)¹⁴⁶.

Stosunek udziału zbóż ozimych do jarych ma znaczenie z punktu widzenia ekspozycji na niekorzystne warunki klimatyczne. Zboża ozime wysiewane jesienią są narażone na niekorzystne warunki zimowania, co jest znaczącym czynnikiem ryzyka produkcyjnego. Główne ryzyko klimatyczne dla zbóż jarych wynika natomiast z występowania niekorzystnej dla wschodów roślin suszy wiosennej lub innych niekorzystnych warunków dla siewu. W praktyce w przypadku wymarznienia ozimin areał, na którym doszło do znaczących strat, jest zasiewany zbożami jarymi.

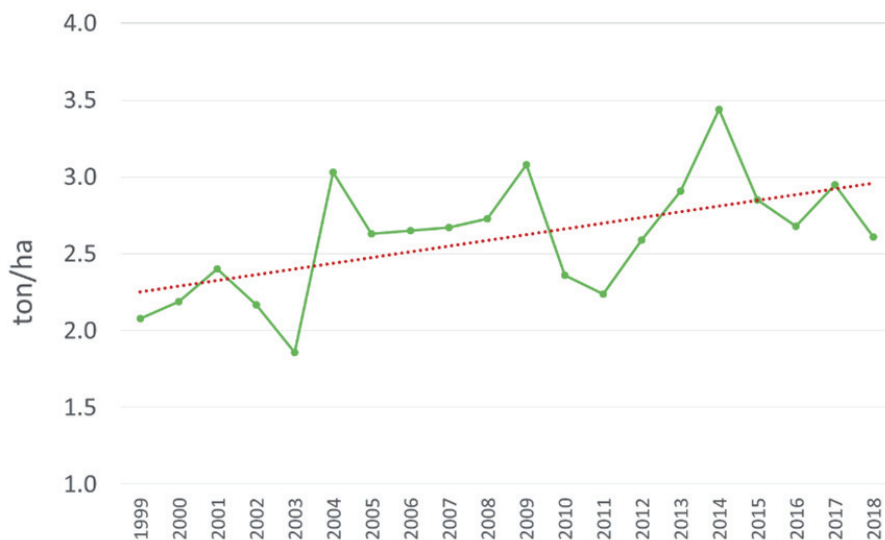
Statystycznie poziom plonowania upraw w Polsce jest w dalszym ciągu niższy niż w krajach Europy Zachodniej¹⁴⁷, co wynika w dużej mierze z poziomu agrotechniki i dużej liczby gospodarstw o małym areale. W gospodarstwach dużych, jak i w doświadczeniach wdrożeniowych uzyskiwane plony są na zbliżonym poziomie jak w krajach sąsiadujących z Polską, co świadczy o możliwościach zwiększenia plonowania. Potwierdza to widoczny trend rosnący plonowania upraw w Polsce, co wskazuje a poprawę technologii produkcji i wzrost efektywności stosowania środków produkcji (rys. 5.14 i 5.15).



RYSUNEK 5.14. Plony pszenicy w Polsce w latach 1999–2018 (opracowanie własne na podstawie danych GUS)

¹⁴⁶ GUS, 2019: Użytkowanie gruntów i powierzchnia zasiewów w 2018 r. stat.gov.pl (dostęp: 1.02.2020).

¹⁴⁷ Schils R. i in., 2018: Cereal Yield Gaps across Europe. European Journal of Agronomy 101: 109–120.

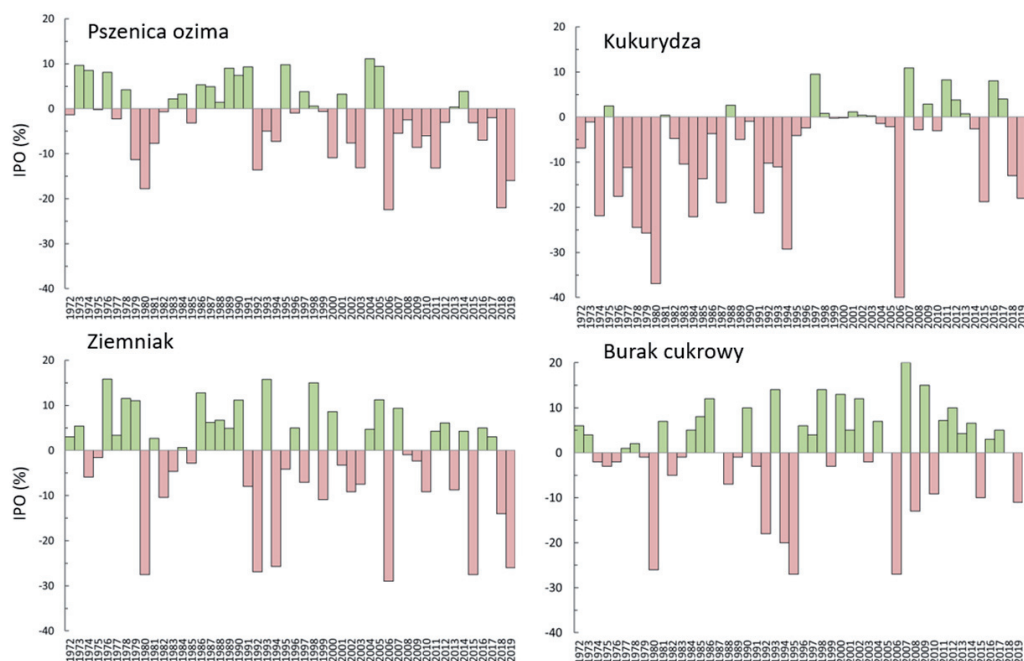


RYСУNEK 5.15. Plony rzepaku i rzepiku w Polsce w latach 1999–2018 (źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS)

Wyniki studiów nad określeniem wpływu zmian klimatycznych na plony roślin uprawnych w Polsce wykazały¹⁴⁸, że wraz ze zmianą klimatu pogarszać się będą warunki dla plonowania zbóż (pszenica i żyto) i ziemniaka, natomiast poprawią się warunki do uprawy buraka cukrowego, kukurydzy, soi i słonecznika. Spadek plonu ma być głównie efektem występowania susz.

Analizy historycznych wskaźników pogodowych (IPO), służących do prognozowania plonów w Polsce, wykazały, że najbardziej niekorzystnym rokiem dla pszenicy ozimej, kukurydzy, ziemniaka i buraka cukrowego był 2006 rok, kiedy o stratach w plonach zdecydowała przedłużająca się zima, następnie susza i wysokie opady. W przypadku pszenicy ozimej od 2006 do 2019 roku tylko w latach 2014 i 2015 nie odnotowano negatywnego wpływu przebiegu pogody na plon krajowy (rys. 5.16). Wskaźnik IPO wskazuje również, że poprawiają się warunki pogodowe dla plonowania kukurydzy i buraka cukrowego, ze względu na cieplejsze lata (choć, jak to już napisano wcześniej, plony krajowe kukurydzy są w dalszym ciągu bardzo niestabilne). W kontekście bezpieczeństwa żywnościowego ostatnie lata pokazały, że należy liczyć się z odchyleniami plonów krajowych pszenicy ozimej do –22% (2006 i 2018 rok), kukurydzy –40% (2006 rok), ziemniaka –29% (2006 rok), a buraka cukrowego –27% (1995 i 2006 rok).

¹⁴⁸ Górski T., Kuś J., 2003: Wpływ zmian klimatu na rolnictwo [w:] Czy Polsce grożą katastrofy klimatyczne? IGBP PAN: 66–81; Kozyra J. i in. 2012: Diagnoza i prognoza warunków produkcji rolniczej w Polsce w wyniku oddziaływania ekstremalnych zjawisk meteorologicznych i hydrologicznych. Wpływ zmian klimatu na środowisko, gospodarkę i społeczeństwo – Zmiany, skutki i sposoby ich ograniczenia, wnioski dla nauki, praktyki inżynierskiej i planowania gospodarczego: Klęski żywiołowe a bezpieczeństwo wewnętrzne kraju. IMGW-PIB Warszawa, T. 3: 265-327.



RYSUNEK 5.16. Wskaźnik pogodowy plonu krajowego (IPO) pszenicy ozimej, kukurydzy, ziemniaka i buraka cukrowego w latach 1972–2019 (Kozyra i in. 2012, uzupełnione)*

* Kozyra J. i in., 2012: Ibidem.

Wzrost częstości wystąpienia niekorzystnych warunków pogodowych dla rolnictwa wyraża się w większej zmienności plonowania z roku na rok, głównie z powodu susz. Istnieje też wiele innych zagrożeń będących efektem zmiany klimatu, takich jak: fale upałów, intensywne opady, silne wiatry, intensywniejszy rozwój patogenów utrudniających funkcjonowanie rolnictwa¹⁴⁹. Analizy warunków agroklimatycznych w Europie wskazały, że znacząco wzrosła liczba wyjątkowo niekorzystnych lat dla rolnictwa, w których notowane będą duże spadki plonowania, powodowane głównie suszą, ale również skróceniem aktywnego wzrostu roślin w warunkach gorącego lata¹⁵⁰. Szacunki wpływu globalnego ocieplenia na plonowanie upraw wskazują, że wzrost temperatury o 1°C ogranicza plonowanie pszenicy o 2,9%, ryżu o 3,7%, kukurydzy o 4,5, a soi o 3,1%¹⁵¹.

Większą częstość występowania niekorzystnych dla plonowania upraw sytuacji pogodowych ilustruje porównanie zmienności plonów między latami 1955–1971

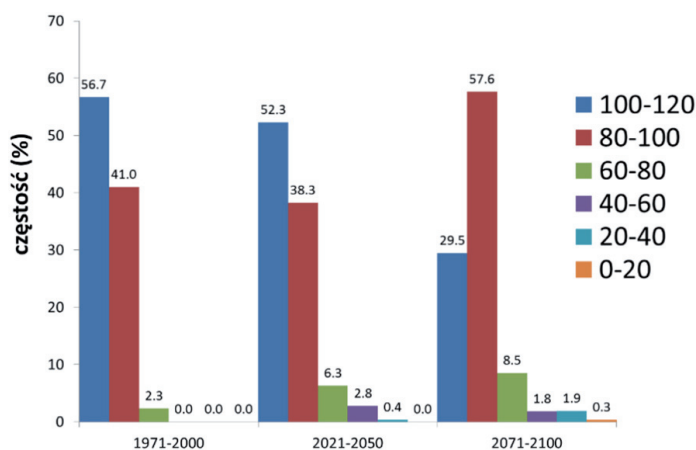
¹⁴⁹ Kundzewicz Z., Kozyra J., 2011: Ocena zmian klimatu i ograniczanie wpływu zagrożeń klimatycznych w odniesieniu do rolnictwa i obszarów wiejskich. *Polish Journal of Agronomy*, 7, 68–81.

¹⁵⁰ Trnka i in., 2011: Agroclimatic conditions in Europe under climate change. *Global Change Biology*, 17: 2298–2318.

¹⁵¹ Istnieją jednak analizy wskazujące, że wraz z ociepleniem o 1°C ograniczenie plonu ryżu może osiągać 10%, a znaczące ograniczenia plonowania mogą wystąpić w Azji, głównie w Chinach, z powodu zjawisk ekstremalnych (IPCC, 2018).

a 1990–2007 w Polsce (rys. 5.16). Wykazano, że pomiędzy tymi okresami zmienność plonowania pszenicy ozimej wzrosła o 56% (z 6 do 9,4%) a plonów ziemniaka o 112% (z 6,2 do 13,2%)¹⁵².

Analiza wskaźników pogodowych dla scenariuszy klimatycznych w przypadku pszenicy jarej wykazała, że częstość lat ze stratami z powodu niekorzystnego przebiegu pogody przekraczającymi 20% wzrasta z 2,3% (1971–2000) do 9,4% w latach 2021–2050, a do 13% w latach 2071–2100 (rys. 5.17). Względne zmiany ryzyka znaczących strat plonów dla roślin jarych w wieloleciu 2021–2050 wzrastają więc 4-krotnie w porównaniu z okresem 1971–2000, a w latach 2071–2100 – 6-krotnie.



RYСУNEK 5.17. Częstość lat ze stratami plonów (%) pszenicy jarej w Polsce w wieloleciu 1971-2000, 2021-2020, 2071-2100, określona z wykorzystaniem indeksów pogodowych plonów w Polsce dla scenariuszy klimatycznych (Kozyra i in. 2011)¹⁵³

Na poziom i zmienność plonowania mogą wpłynąć także inne czynniki, które modyfikowane są przez skutki zmiany klimatu. W przypadku upraw sadowniczych czynnikiem, który stwarza znaczące zagrożenie dla roślin jest występowanie późnowiosennych przymrozków. Na rysunku 5.18 przedstawiono informacje o wahanach wielkości średnich plonów jabłek w Polsce od 2003 roku. Znaczące obniżenie wielkości średniego plonu w latach 2007, 2010 i 2017 było spowodowane oddziaływaniem właśnie tego czynnika: ciepła zima spowodowała bardzo wczesne rozpoczęcie sezonu wegetacyjnego i wejście roślin w fazę wzrostu. Przymrozki wystąpiły w okresie największej wrażliwości roślin na stres zimna, czego rezultatem była utrata plonu. W 2007 roku był on

¹⁵² Górski T., Kozyra J., Doroszewski A. 2008: Field crop losses in Poland due to extreme weather conditions: case studies [in:] The influence of extreme phenomena on the natural environment and human living conditions. Ed. Liszewski S. University of Łódź, Łódź, 35–49.

¹⁵³ Kozyra J. i in. 2011: Opracowanie podstaw adaptacji polskiego rolnictwa wobec zmian klimatu Etap I, projekt KLIMADA. Ministerstwo Środowiska, Warszawa, ss. 156.



RYСУNEK 5.18. Średnia wielkość plonów jabłek w Polsce w latach 2003–2018 (GUS – różne lata)*

* Roczniki Statystyczne GUS z lat 2004–2019: Produkcja upraw rolniczych i ogrodnictwa. Dział Wydawnictw Statystycznych GUS, Warszawa.

niemal 3-krotnie mniejszy niż średnia dla całego analizowanego okresu lat 2003–2018. Z kolei plon w 2018 roku, kiedy panowały szczególnie korzystne warunki pogodowe, był aż o 51,8 pkt. proc. większy niż średnia wieloletnia. Tak duże wahania produkcji mają istotny wpływ na jej bezpieczeństwo: w latach z niekorzystnym – z punktu widzenia danej uprawy – przebiegiem pogody wielkość produkcji jest mała, co powoduje wzrost cen produktów rolnych. Z kolei w latach z korzystną pogodą plony są rekordowe, co powoduje, że wiele żywności się marnuje, bo rolnikom nie opłaca się zbierać plonów – koszty ich dostarczenia na rynek są większe od ceny, jaką rolnicy uzyskują za sprzedane plony (tak było w 2018 roku w odniesieniu do produkcji sadowniczej).

Konsekwencją zmiany klimatu będzie większa niestabilność warunków meteorologicznych, co zwiększy ryzyko niestabilności wielkości produkcji rolno-spożywczej w Polsce. Choć w większości przypadków negatywne skutki ograniczą się do kwestii ekonomicznych – wzrostu cen żywności i problemów przedsiębiorstw rolno-spożywczych bazujących na produktach wytwarzanych przez polskie rolnictwo, to w przypadku szczególnie niekorzystnego przebiegu warunków pogodowych mogą zagrozić bezpieczeństwu żywnościowemu Polski – plony mogą zostać tak ograniczone, że Polska nie będzie w stanie wyprodukować odpowiedniej ilości płodów rolnych do pokrycia własnych potrzeb. Ponieważ skutki te będą miały charakter globalny, to pokrycie niedoborów zwiększonym eksportem może nie być w takim przypadku możliwe. Nawet jednak wtedy, gdy niedobory zostaną uzupełnione, ceny żywności wzrosną, co w sposób szczególny negatywnie wpłynie na bezpieczeństwo żywnościowe osób najuboższych.

Dlatego konieczne jest podjęcie zdecydowanych działań w celu podniesienia poziomu bezpieczeństwa żywnościowego w Polsce w średniej i długiej perspektywie czasowej. Będzie to wymagało stworzenia warunków dla funkcjonowania gospodarstw

w sytuacji większej zmienności warunków plonowania z roku na rok, wynikających głównie z suszy oraz innych nakładających się na siebie niekorzystnych zjawisk pogodowych. Rolnicy będą musieli otrzymać wsparcie w adaptowaniu produkcji rolnej do nowych warunków. Konieczne będzie wsparcie umożliwiające utrzymywanie produkcji na obszarach o niskim potencjale produktywności, które określane są obecnie jako obszary o niekorzystnych warunkach gospodarowania, oraz w małych gospodarstwach, które powinny świadczyć oprócz funkcji produkcyjnych również funkcje środowiskowe.

Wzrost zasobów ciepła w wyniku zmiany klimatu umożliwi wprowadzenie do struktury upraw na większą skalę roślin ciepłolubnych, co wymagać będzie wsparcia gospodarstw w ustaleniu agrotechniki oraz zapewnienia odpowiednich odmian roślin uprawnych. Dla utrzymywania potencjału produkcyjnego i zapewnienia bezpieczeństwa żywnościowego w Polsce adaptacja wobec zmian klimatu powinna być ukierunkowana zarówno na małe, jak i duże gospodarstwa. Jednak proces adaptacji powinien przyjąć odrębne modele dla poszczególnych grup. Proces ten będzie utrudniony ze względu na dużą liczbę i rozdrobnienie polskich gospodarstw rolnych.

Dostosowanie produkcji rolnej do zmienionych warunków klimatycznych nie może natomiast ograniczyć możliwości redukcji emisji gazów cieplarnianych oraz innych zanieczyszczeń z sektora rolnego, nie może także zagrozić możliwości ochrony i zwiększania różnorodności biologicznej oraz ochrony jakości i zasobów wód.

5.5. Wpływ zmiany klimatu na pozostałe etapy cyklu życiowego produktów spożywczych

Brak jest w Polsce badań, które prognozowałyby i oceniały wielkość wpływu skutków zmiany klimatu na inne niż rolnictwo etapy cyklu życiowego produkcji żywności. Nie ma jednak wątpliwości, że wpływ taki wystąpi i będzie on miał – podobnie jak w innych częściach świata – charakter negatywny. Oddziaływania te będą dotyczyć każdego elementu i etapu cyklu życiowego żywności.

Ekstremalne zdarzenia pogodowe: huragany, nawalne deszcze, zalewanie terenów przybrzeżnych przez wyższe fale sztormowe, mogą zniszczyć infrastrukturę zakładów przetwórstwa żywnościowego oraz transportową, co będzie utrudniać dostawy niezbędnych surowców roślinnych i zwierzęcych do zakładów przetwórczych.

Wzrost temperatury będzie sprzyjał szybszemu psuciu się żywności, a także podwyższy koszty jej przechowywania. Występowanie fal upałów i wysokich temperatur ograniczy możliwość transportu żywych zwierząt bądź wymagać będzie stosowania klimatyzacji. Wysokie temperatury przyspieszać będą niszczenie infrastruktury transportowej, w szczególności dróg, a także zwiększać będą ryzyko wypadku lub kolizji drogowej.

Wysokie temperatury zwiększają zagrożenie utraty jakości produktów żywnościowych, a w niektórych przypadkach także ryzyko ich skażenia substancjami niebezpiecznymi (np. mykotoksynami) lub też mikroorganizmami (np. bakteriami *Salmonella* lub *Campylobacter*).

Straty w produkcji rolnej oddziałują nie tylko na podmioty uczestniczące w cyklu życiowym produktów spożywczych, ale mają też wpływ na całą gospodarkę. Zgodnie z oszacowaniami, utracona wartość dodana brutto w rolnictwie z powodu suszy w 2018 roku wyniosła 1,5 mld zł (według danych Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi, wartość utraconej produkcji rolnej, wynikająca ze spadku zbiorów spowodowanego suszą, na obszarze całego kraju wyniosła 3,6 mld zł), ale całkowity koszt suszy w 2018 roku dla polskiej gospodarki był większy o ponad 1 mld zł i wyniósł 2,6 mld zł. Stanowiło to około 0,13% polskiego PKB¹⁵⁴. Złożyły się na to zarówno efekty bezpośrednie – spadek popytu rolnictwa na dobra i usługi innych branż, jak i efekt indukowany – spadek popytu gospodarstw domowych pracujących w rolnictwie i branżach dotkniętych pośrednio przez suszę. Straty sektora przetwórstwa spożywczego tym wywołane wyniosły odpowiednio 95,3 mln zł (efekt bezpośredni) i 19,1 mln zł (efekt indukowany), a sektora transportowego 48,8 i 17,2 mln zł. Można więc uznać, że spadek wartości dodanej w rolnictwie powoduje straty w tych dwóch sektorach na poziomie około 12%. Susza spowodowała także znaczne straty innych sektorów, przede wszystkim handlu, ale także doradztwa i usług finansowych, usług komunalnych, przemysłu chemicznego i innych branż.

¹⁵⁴ Polska Izba Ubezpieczeń, Deloitte Sustainability Consulting Central Europe, 2019: Klimat ryzyka Jak prewencja i ubezpieczenia mogą ograniczyć wpływ katastrof naturalnych na otoczenie ? PIU & Deloitte. Warszawa



6. Niezbędne działania

Adaptacja do zmiany klimatu oznacza działania, które zmniejszają negatywne lub wzmocnią jej pozytywne skutki. Należy podkreślić, że w obecnym modelu zarządzania w rolnictwie dąży się do maksymalizacji zysków dla danej technologii, a stosowane metody produkcji charakteryzują się wysokim stopniem intensywności. Zmiany tych technologii wymagają kompleksowego podejścia. Rolnicy są skłonni do wdrażania tylko tych praktyk, które sprawia, że stosowane metody produkcji będą bardziej skuteczne w obecnym i przyszłym klimacie. Dlatego w celu lepszego zidentyfikowania potrzebnych działań i inwestycji adaptacyjnych w rolnictwie konieczne jest prowadzenie badań pozwalających na kompleksową ocenę potencjalnych skutków zmiany klimatu dla rolnictwa i precyzowanie potrzebnych innowacji i inwestycji¹⁵⁵.

Potencjalne zagrożenia i konsekwencje wynikające ze zmiany klimatu można sklasyfikować zgodnie z czterema wymiarami bezpieczeństwa żywnościowego (tab. 6.1). Pierwszym wymiarem jest dostępność żywności w odpowiedniej i wystarczającej ilości dla wzrastającej liczby ludności na świecie. Jak już wspomniano wcześniej, ograniczenie produkcji w państwach położonych w klimacie gorącym będzie skutkowało utratą bezpieczeństwa żywnościowego przede wszystkim w tych regionach, ale także w skali globalnej. Postawi to poważne wyzwanie dla rolnictwa w Europie, Ameryce Północnej i Australii, gdzie nie prognozuje się aż tak znaczących skutków zmiany klimatu dla tego sektora.

Drugim wymiarem bezpieczeństwa żywnościowego jest dostępność żywności pochodzącej z własnej produkcji, w ramach kraju czy kontynentu lub ewentualnie z importu. W tym wypadku zagrożeniem związanym ze zmianą klimatu jest możliwy wzrost cen, jak również utrata dochodów rolników w związku z większą częstością zjawisk ekstremalnych i negatywnym oddziaływaniem innych skutków zmiany klimatu na produkcję rolną.

Trzecim wymiarem bezpieczeństwa żywnościowego jest stabilny dostęp do zasobów decydujących o produktywności (woda i gleba) i ryzyko związane z ich utratą. Ostatnim, czwartym wymiarem jest dostęp do bezpiecznej żywności o wysokiej jakości¹⁵⁶.

Nie można jednak zapominać, że ogromnie istotnym wymiarem bezpieczeństwa żywnościowego – do tej pory często pomijanym i dlatego nieujęty w tabeli – jest

¹⁵⁵ Lobell I., 2014: Climate Change Adaptation in Crop Production: Beware of Illusions. *Global Food Security* 3 (2): 72–76.

¹⁵⁶ FAO, 2008: Climate Change and Food Security: A Framework Document Food and Agriculture Organization of the United Nations 93.

TABELA 6.1. Wymiary bezpieczeństwa żywnościowego i konsekwencje spowodowane globalnym ociepleniem według Światowej Organizacji do spraw Żywności

Wymiary bezpieczeństwa żywnościowego	Zagrożenia i konsekwencje
Wystarczająca ilość żywności do spożycia	• ograniczenie produkcji rolnej w niektórych obszarach (głównie w tropikalnych szerokościach geograficznych) • zmiany w przydatności obszarów dla upraw • zmiany w rozkładzie opadów atmosferycznych wpłyną na ograniczenie możliwości produkcji bez nawodnień • wzrost temperatury może wydłużyć okres wegetacyjny w strefie klimatu umiarkowanego • wzrost ilości CO₂ zwiększy potencjał plonowania
Możliwość pozyskiwania żywności z własnej produkcji lub poprzez zakup	• niższe plony mogą wpływać na dostępność żywności i/lub wzrost cen • utrata dochodów rolników z powodu zjawisk ekstremalnych • zmiany struktury upraw i większe koszty produkcji
Ryzyko utraty stabilnego dostępu do zasobów potrzebnych do konsumpcji żywności	• niestabilność dostaw żywności z powodu wzrostu liczby zjawisk ekstremalnych • niestabilność dochodów w rolnictwie
Jakość i bezpieczeństwo wykorzystania żywności z włączeniem niedożywienia	• wzrost niedożywienia • zmniejszenie możliwości wykorzystania żywności wraz ze wzrostem liczby chorób związanych ze zmianą klimatu • negatywny wpływ szkodników roślin uprawnych i zanieczyszczenia wód na bezpieczeństwo żywności

ochrona środowiska. Wytwarzanie żywności nie może prowadzić do degradacji przyrodniczej bazy rolnictwa. Polityka rolna – podobnie jak każda inna – musi być rozwijana w taki sposób, aby nie przekraczać granic stabilności systemu przyrodniczego wyznaczanego przez przepływ energii przez biosferę oraz proces krążenia materii. Dodatkowym wyzwaniem jest zachowanie różnorodności biologicznej, bowiem nie tylko może ona dostarczyć geny przydatne w rolnictwie, ale także decyduje o stabilności systemu przyrodniczego i jego odporności na negatywne oddziaływania. Należy także pamiętać, że dostosowanie produkcji rolnej do nowych warunków klimatycznych i zapewnienie bezpieczeństwa żywnościowego – zarówno w skali globalnej, jak i krajowej – będzie możliwe jedynie wtedy, gdy uda się zatrzymać antropogenną zmianę klimatu na bezpiecznym poziomie.

Zarządzanie ryzykiem w gospodarstwie

W ramach działań na rzecz bezpieczeństwa żywnościowego na pierwszy miejscu jest ograniczenie strat żywności od poziomu gospodarstwa do poziomu konsumenta. Mniej znanym aspektem jest problem nadmiernej konsumpcji żywności oraz potrzeba zbilansowania spożycia mięsa (tab. 6.2). Nadmierna konsumpcja, jak i nadmierne spoży-

TABELA 6.2. Ramy działań na rzecz bezpieczeństwa żywnościowego poprzez działania adaptacyjne i mitygacyjne w rolnictwie (na podstawie Cole i in. 2018)*

Problem	Działanie
Ograniczanie strat żywności	• ograniczenie strat żywności od poziomu gospodarstwa do poziomu konsumenta • ograniczenie nadmiernej konsumpcji żywności • zbilansowanie konsumpcji mięsa
Zwężenie potencjału produkcji	• zwiększenie zasobów wód na potrzeby nawodnień w rolnictwie, spowalnianie odpływu wód z ekosystemu • zwiększenie wydajności produkcji rolnej (zmniejszenie luki wydajności produkcji) • zwiększenie potencjału genetycznego upraw • rozwój nowych systemów produkcji
Ograniczenie strat w produkcji	• ograniczenie występowania chorób i szkodników w uprawach • bioasekuracja, bezpieczeństwo żywności • unikanie degradacji gleb i wody • działania na rzecz ograniczenia globalnego ocieplenia –ograniczanie strat plonów • dostosowanie się do obserwowanych zmian klimatu

*Cole M.B., Augustin M.A., Robertson M.J., Manners J.M., 2018: The science of food security. npj. Science of Food 2: 1–8.

cie mięsa w krajach rozwiniętych nie tylko powoduje większą presję na środowisko i klimat, ale także wiąże się z narażeniem na problemy społeczeństwa z otyłością oraz zwiększonym narażeniem na choroby nowotworowe¹⁵⁷.

Jednym z głównych uwarunkowań, jakie rolnicy muszą uwzględnić w funkcjonowaniu gospodarstwa w bliskiej perspektywie, jest większa zmienność pogody. Wymagać to będzie dostosowania przede wszystkim metod agrotechniki, poprzez uwzględnienie zmiany terminów prac polowych i bardziej precyzyjnego podejmowania decyzji w powiązaniu z warunkami pogodowymi. Dotyczy to zarówno terminów wykonywania prac polowych, jak i konieczności szybszego reagowania na potrzeby roślin spowodowane większą dynamiką ich rozwoju oraz niestabilnością przebiegu pogody. Niejednokrotnie wymagać to będzie wyposażenia gospodarstw w dodatkowe środki techniczne lub znaczące modyfikacje technologii produkcji. Większe tempo rozwoju roślin przyspieszy termin zbiorów, co umożliwi uprawy dodatkowych poplonów. Konieczność korzystania z poplonów będzie również wskazana ze względu na ograniczenie parowania z gleby.

Skuteczna adaptacja w rolnictwie nastąpi, gdy wdrożone zostaną odpowiednie praktyki adaptacyjne w gospodarstwach. Będzie to wymagało włączenia się rolników w monitoring zagrożeń, co ułatwiają dostępne obecnie metody komunikacji. Zestaw ogólnie

¹⁵⁷ Wellesley I., 2015: Changing Climate, Changing Diets Pathways to Lower Meat Consumption. Chatham House Report, pp. 54.

zdefiniowanych działań adaptacyjnych sprowadza się do dywersyfikacji upraw i zmian w agrotechnice. Zwraca się również uwagę na potrzebę uwzględnienia aspektów zdrowotnych związanych z wykonywaniem pracy w wysokiej temperaturze (tab. 6.3).

TABELA 6.3. Działania na rzecz ograniczenia niekorzystnego wpływu zmian klimatycznych w rolnictwie na poziomie gospodarstwa (według FAO, modyfikacja autorów)

Ryzyko	Działanie
Większa zmienność warunków klimatycznych	1. Uczestniczenie w systemach monitoringu 2. Dostosowanie terminów zabiegów agrotechnicznych 3. Zróżnicowanie upraw w gospodarstwie 4. Wykorzystanie poplonów 5. Dostosowanie technik uprawy z uwagi na krótszy czas wykonywania zabiegów 6. Zmiany praktyki uprawy po zbiorach 7. Uwzględnienie aspektów zdrowotnych wykonywania pracy w wysokiej temperaturze
Zmiany w cyklu opadów i dostępności wody	1. Uczestniczenie w systemach monitoringu 2. Wdrożenie praktyki zatrzymywania wody w środowisku – przede wszystkim retencja naturalna; mała retencja tam, gdzie nie ma możliwości zwiększania naturalnych metod zatrzymywania wody 3. Wdrożenie praktyk rolniczych zwiększających zdolności retencyjne gleb – ograniczenie orki w celu zmniejszenia strat wody, stosowanie w większym zakresie obornika, kompostów i innych praktyk zwiększających zawartość substancji organicznej w glebie i zwiększających retencję 4. Zastosowanie nawodnień lub zmiana praktyk nawadniania
Większa częstość susz, burz powodzi, pożarów	1. Uczestniczenie w systemach monitoringu 2. Wdrożenie metod zatrzymywania wody w glebie 3. Wykorzystanie odmian odpornych na suszę 4. Prawidłowe utrzymywanie systemów drenarskich, substancji organicznej w glebie, struktury upraw korzystnej dla ochrony gleby 5. Dywersyfikacja dochodów z uwagi na znaczne wahania plonów z powodu niekorzystnych zjawisk pogodowych 6. Prawidłowa ochrona upraw i inwentarza przed chorobami i szkodnikami
Choroby, chwasty, szkodniki	1. Uczestniczenie w systemach monitoringu 2. Wykorzystanie zabezpieczeń w ramach obecnych systemów 3. Działania na rzecz środowiska w celu zwiększenia odporności agroekosystemów

Działania adaptacyjne w rolnictwie, choć konieczne, nie będą wystarczające dla zapewnienia bezpieczeństwa żywnościowego. Będą one musiały zostać wdrożone także na innych etapach cyklu życiowego produkcji pożywienia: w przetwórstwie, przechowywaniu, transporcie. Skutecznym sposobem adaptacji może być skracanie długości tego cyklu i ograniczanie liczby etapów dzielących wytwarzanie żywności przez rolników od pozyskiwania produktów spożywczych przez konsumentów. Dlatego sposobem adaptacji może być rozwój lokalnych rynków produktów spożywczych.

Niezbędne będzie także wzmacnianie instytucji wspierających produkcję żywności, w tym doradztwa rolniczego, służb weterynaryjnych i inspekcji handlowych. Muszą być one przygotowane i zdolne do identyfikowania nowych zagrożeń, jakie może powodo-

wać zmiana klimatu – w tym m.in. wykrywania nowych patogenów i toksyn w płodach rolnych i żywności oraz wspierania producentów we wdrażaniu praktyk przeciwdziałających skażeniu nimi produktów żywnościowych.

6.1. Zarządzanie zasobami glebowymi

Na metody produkcji w rolnictwie wpłynie także konieczność ochrony zasobów węgla zmagazynowanego w glebach. Gleby stanowią drugi po oceanach zasób węgla na Ziemi, a zbyt intensywne ich użytkowanie może prowadzić do jego strat. Skutki zmiany klimatu zwiększają ryzyko degradacji materii organicznej w glebach w trakcie długotrwałych susz i przyspieszają procesy mineralizacji w okresach o wysokiej temperaturze. Rośnie także ryzyko erozji gleb, co także prowadzić będzie do utraty węgla organicznego.

W kontekście adaptacji rolnictwa wobec zmiany klimatu należy podkreślać, że ilość materii organicznej w glebie decyduje o jej funkcjach, wpływając na jej strukturę, możliwości zatrzymywania wody i zasobność w składniki odżywcze. Wagę ochrony węgla organicznego w glebach pokazują szacunki jego zasobów w skali globalnej. Gleby zawierają około 2344 Gt węgla organicznego, czyli czterokrotnie więcej niż stanowi zasób tego pierwiastka znajdujący się w biomasie (560 Gt). Wskazuje się, że przy globalnym wzroście temperatury atmosfery o 1°C około 30 ± 30 Pg C¹⁵⁸ zostanie utracone z wierzchnich warstw gleby ze względu na szybszą mineralizację. Przy wzroście temperatury atmosfery o 2°C, co zgodnie z obowiązującymi scenariuszem emisji może nastąpić w ciągu najbliższych 35 lat, ocieplenie może spowodować stratę netto na poziomie około 55 ± 50 Pg C. Jeśli prognozy te się urzeczywistnią a węgiel organiczny z gleb wejdzie do puli węgla atmosferycznego, obciążenie CO₂ atmosfery wzrośnie o około 25 ppm w najbliższych 35 latach¹⁵⁹.

Na podstawie dotychczasowych badań wykazano, że niekorzystne w kontekście utraty glebowej materii organicznej są zmiany użytkowania gruntów związanych z przekształcaniem lasów w uprawy rolne (–42%), ale również pastwisk na uprawy (–59%). Niekorzystne jest również przekształcanie pastwisk w plantacje wieloletnie (–10%). Korzystne natomiast z punktu widzenia sekwestracji węgla w glebach są przekształcenia upraw jednorocznych na pastwiska (+19%) czy upraw jednorocznych na uprawy wieloletnie (+18%). Wskazaniem adaptacyjnym mogą być zatem zmiany użytkowania gruntów; np. z upraw jednorocznych na pastwiska lub uprawy wieloletnie, które gwarantują znaczące zyski sekwestracji węgla w glebie¹⁶⁰.

¹⁵⁸ 1 Pg = 1 000 000 000 000 kg.

¹⁵⁹ Crowther T.W. i in., 2016: Quantifying global soil carbon losses in response to warming. *Nature* 540: 104–110.

¹⁶⁰ Crowther T.W. i in., 2016: Ibidem.

Proponowanych jest wiele praktyk rolniczych, które mają na celu wzbogacanie gleb w materię organiczną (tab. 6.4). Wśród tych praktyk wymienia się: ograniczenie orki; siew bezpośredni, pozostawianie resztek poźniwnych jako mulcz na polu, uprawa roślin okrywowych, zrównoważenie nawożenia. Potrzebne jest głównie dalsze racjonalizowanie nawożenia zarówno poprzez integrowane zarządzanie całą produkcją w gospodarstwie, jak również nawożenie precyzyjne – dostosowane do zasobności gleb¹⁶¹.

TABELA 6.4. Praktyki rolnicze stabilizujące produktywność i zwiększające ilość węgla organicznego w glebach (FAO 2004)¹⁶²

Praktyki konwencjonalne	Praktyki rekomendowane
Uprawa płuzna	Ograniczenie orki; siew bezpośredni
Usuwanie resztek poźniwnych	Resztki poźniwne pozostają na polu jako mulcz
Pozostawienie pola bez roślinności	Uprawa roślin okrywowych
Niski poziom nakładów	Racjonalne nawożenie, integrowane zarządzanie produkcją
Całościowe dawki nawożenia	Precyzyjne nawożenie dostosowane do zasobności gleby
Rolnictwo bez nawodnień	Zarządzanie wodą/ochrona zasobów; racjonalne nawadnianie
Pełne wykorzystanie przestrzeni	Pozostawienie gruntów marginalnych jako ostoja bioróżnorodności
Monokultury	Zróżnicowane zmianowania
Odwadnianie obszarów podmokłych	Odnawianie obszarów podmokłych

6.2. Zarządzanie zasobami wodnymi

Rolnictwo jest głównym użytkownikiem wody na Ziemi, dlatego racjonalne korzystanie z tego zasobu i jego ochrona wyznaczają możliwości rozwoju rolnictwa. W wielu regionach pogłębiają się problemy z niedoborem wody, głównie za sprawą wzrastających potrzeb całej gospodarki i ograniczeń w dostępie do zasobów. Przewiduje się, że prognozowana wyższa temperatura atmosfery zwiększy znacząco parowanie, a zmiany cyrkulacji atmosferycznej wpłyną niekorzystnie na rozkład i charakter opadów atmosferycznych. W wielu regionach produkcji rolnej brak zasilania rzek wodami z topnienia lodu i śniegu może dodatkowo ograniczyć dostępne dla rolnictwa zasoby wody¹⁶³.

¹⁶¹ Conant R.T., 2011: Temperature and soil organic matter decomposition rates – synthesis of current knowledge and a way forward. *Global Change Biology*, 17, 3392–3404.

¹⁶² FAO 2004: Carbon sequestration in dryland soils. *World Soil Resources Reports* 102. Rome, pp. 129.

¹⁶³ Fraiture Ch. de, Wichelns D., 2010: Satisfying future water demands for agriculture. *Agricultural Water Management* 97: 502–511.

Głównym celem adaptacji gospodarstw w zakresie gospodarki wodnej na obszarach wiejskich jest efektywne zarządzanie produkcją w sytuacji częściej występujących niekorzystnych zdarzeń pogodowych – w postaci suszy, gwałtownych lub nadmiernych opadów. Wskazuje się na możliwości zatrzymywania wody w glebie przez wdrożenie modelu rolnictwa konserwującego, którego wyznacznikiem jest mulczowanie pól i ograniczenie orki, przez co ogranicza się parowanie oraz zmniejsza ryzyko wystąpienia erozji po intensywnych deszczach. Korzystne dla utrzymywania zasobów wody są wprowadzane do krajobrazu pasy roślinności ograniczające parowanie, ale również zwiększające zasoby węgla w glebach.

Działania związane z zatrzymywaniem wody w krajobrazie i opóźnianie spływów wraz z wdrażaniem efektywnych systemów nawadniania powinny być priorytetami zarządzania wodami w zlewniach na potrzeby rolnictwa. Gospodarka wodna na obszarach wiejskich będzie wymagała monitorowania dostępności wody, jak i dokładnego nadzoru nad poborem wód do nawodnień. Poza działaniami adaptacyjnym wobec ryzyka suszy na poziomie gospodarstw potrzebne jest określenie nowych rozwiązań dotyczących zarządzania zasobami wód. Strategie te powinny uwzględniać wzrost zapotrzebowania na wodę, potrzebę jej oszczędzania jak również konieczność wspierania gospodarstw we wznowieniu produkcji po ekstremalnej suszy¹⁶⁴.

Wśród proponowanych praktyk adaptacyjnych dotyczących częstych susz wymienia się:

- a) dostosowanie struktury produkcji do warunków związanych z występowaniem długich okresów fal upałów i suszy oraz dostosowanie praktyk rolniczych związanych z nawożeniem. Dywersyfikacja upraw ma uchronić od powstawania strat w całym gospodarstwie;
- b) wprowadzenie koncepcji tzw. rolnictwa konserwującego. Według definicji Światowej Organizacji ds. Wyżywienia i Rolnictwa¹⁶⁵, jest to system produkcji, którego celem jest osiągnięcie intensyfikacji produkcji i wysokiej wydajności przy jednoczesnym poprawianiu bazy zasobów naturalnych (gleby, wody). Typowe dla rolnictwa konserwującego jest zachowanie trzech zasad, tj.: stosowania minimalnej mechanicznej ingerencji w glebie, pozwalającej zachować jej funkcje akumulacji materii organicznej i poprawić stosunki wodne. Chodzi tutaj w szczególności o nieodwracanie gleby (siew bezpośredni, uprawa pasowa, siew w mulcz). Drugą zasadą jest zachowanie stałej okrywy roślinnej, poprzez stosowanie międzyplonów, poplonów czy mulczowania. Trzecią zasadą rolnictwa konserwującego jest stosowanie płodozmianu bogatego gatunkowo, redukującego rozwój chwastów, chorób i szkodników, oraz wprowadzenie do zmianowania roślin motylkowatych

¹⁶⁴ AghaKouchak A., Feldman D., Hoerling M., Huxman T., Lund J., 2015: Water and climate: Recognize anthropogenic drought. *Nature* 524 (7566): 409–411.

¹⁶⁵ <http://www.fao.org/conservation-agriculture> (dostęp: 5.02.2020).

lub ich mieszanek z trawami. W rolnictwie konserwującym szczególną uwagę zwraca się na znaczenie zasobności gleb w materię organiczną, która wpływa na poprawę ich właściwości wodnych. Stosowane metody uprawy, głównie ograniczenie orki, mają przyczynić się nie tylko do racjonalnego korzystania z gleby, ale również do odbudowy zasobów materii organicznej, która pozwoli na zwiększenie produktywności wody;

- c) optymalizację zużycia wody w nawodnieniach poprzez zastosowanie systemów wspierania decyzji, bazujących na bezpośrednim pomiarze wilgotności gleby i deficytu wody w glebie w strefie korzeniowej roślin. Wskazuje się, że należy wdrażać nowe technologie w nawodnieniach, które umożliwiają lepszą kontrolę zużycia wody i ograniczenie jej strat. Instrumentem regulacyjnym w tym zakresie ma być wprowadzenie opłat za korzystanie z wód do nawodnień, co przyczyni się do traktowania wody jako środka produkcji, którego ograniczenie zużycia będzie przynosić bezpośrednie korzyści ekonomiczne, wynikające z zastosowanych oszczędnych technologii nawadniania;
- d) wzmocnienie ekosystemów rolniczych zdolnych do adaptacji do zmian klimatu ma nastąpić również poprzez wymogi skłaniające do większej dywersyfikacji upraw, dodatkowo korzystnie oddziałując na zmniejszenie strat w produkcji w sytuacji wystąpienia niekorzystnych zjawisk klimatycznych.

Możliwości wdrożenia tych praktyk są uzależnione od inwestycji w nowe technologie i infrastrukturę. Część z niezbędnych działań zostanie najprawdopodobniej sfinansowana przez samych rolników, a także inne podmioty uczestniczące w cyklu życiowym produkcji żywności. Zakres wyzwań, jakie stawia przed sektorem rolno-spożywczym antropogenna zmiana klimatu i potencjalny zakres negatywnych skutków, jeśli naruszone zostanie bezpieczeństwo żywnościowe powodują, że będą one musiały uzyskać wsparcie publiczne. Zakres tego wsparcia powinien być przedmiotem publicznej debaty i zostać szczegółowo zdefiniowany w lokalnych, regionalnych i krajowych programach ochrony klimatu i adaptacji sektora rolno-spożywczego do skutków jego zmiany.

7. Wnioski i rekomendacje

Skutki zmiany klimatu, które oddziałują na produkcję żywności, należy rozpatrywać nie w kontekście odległej przyszłości, wiele bowiem niekorzystnych zjawisk klimatycznych i ich konsekwencji w postaci destabilizacji rynków rolnych zaobserwować można już dzisiaj. Wraz z postępującą zmianą klimatu zasięg i siła tych oddziaływań będą wzrastać. Ponieważ produkcja żywności jest sektorem w bardzo dużym stopniu uzależnionym od klimatu i warunków meteorologicznych, to należy go uznać za bardzo wrażliwy na zachodzące i prognozowane zmiany. Jest to o tyle istotne, że możliwości osiągnięcia i utrzymania przez branżę rolno-spożywczą odpowiedniej i stabilnej produkcji silnie wpływa na bezpieczeństwo i jakość życia każdego człowieka.

Przeprowadzona analiza wpływu zmiany klimatu na bezpieczeństwo żywnościowe wskazuje na znaczący wzrost liczby zagrożeń. Oddziaływania niekorzystne (wzrost ilości zjawisk ekstremalnych i niestabilności przebiegu pogody, susze, fale upałów, niestabilne warunki zimowania) znacząco przewyższają korzystne aspekty zmiany klimatu (wzrost zasobów ciepła i efekt nawozowy wyższego stężenia CO₂ w atmosferze). Dlatego choć Polska nie należy do grupy krajów najbardziej narażonych na te negatywne oddziaływania, to szybkość, zakres i gwałtowność, z jaką zachodzi zmiana klimatu zapewne wpłyną także na bezpieczeństwo żywnościowe naszego kraju. Najbardziej dotkliwie niekorzystne efekty dotkną rolników, którzy ze względu na niestabilne warunki klimatyczne będą odczuwać skutki produkcyjne w postaci większej zmienności plonowania. Sytuacja gospodarstw wpłynie w znaczącym stopniu na pozostałych uczestników cyklu życiowego produktów żywnościowych, a w konsekwencji na całe społeczeństwo. Najbardziej zagrożoną grupą będą osoby i rodziny o niskich dochodach, które nie będą w stanie w pełni przystosować się do skutków zachodzących zmian (np. wzrostu cen żywności).

Wśród czynników wpływających na obniżenie poziomu bezpieczeństwa żywnościowego Polski w skali globalnej i regionalnej należy wymienić:

- spadek produkcji podstawowych upraw i hodowli zwierząt w regionach tropikalnych (Afryka, Azja, Oceania, Ameryka Południowa). Ograniczenie produkcji w tych regionach będzie musiało być skompensowane zwiększoną podażą płodów rolnych w pozostałych częściach świata. Zapewne także ten proces spowoduje wzrost cen żywności i ograniczenie możliwości jej nabywania przez osoby ubogie;
- wzrost zagrożenia powodowanego przez zjawiska ekstremalne. Ich częstsze występowanie oraz zwiększenie siły może niszczyć uprawy i infrastrukturę w przedsiębiorstwach rolno-spożywczych oraz ograniczać możliwość pracy transportu. Spowodować to może fizyczny brak możliwości dostarczenia produktów spożywczych na wybrane rynki w planowanych terminach;

- ograniczenie możliwości uprawy niektórych roślin, m.in. kawy, herbaty, owoców cytrusowych i kakaowca. Ograniczenie ich podaży na rynku międzynarodowym spowoduje wzrost cen i brak możliwości ekonomicznej ich nabycia przez wielu konsumentów.

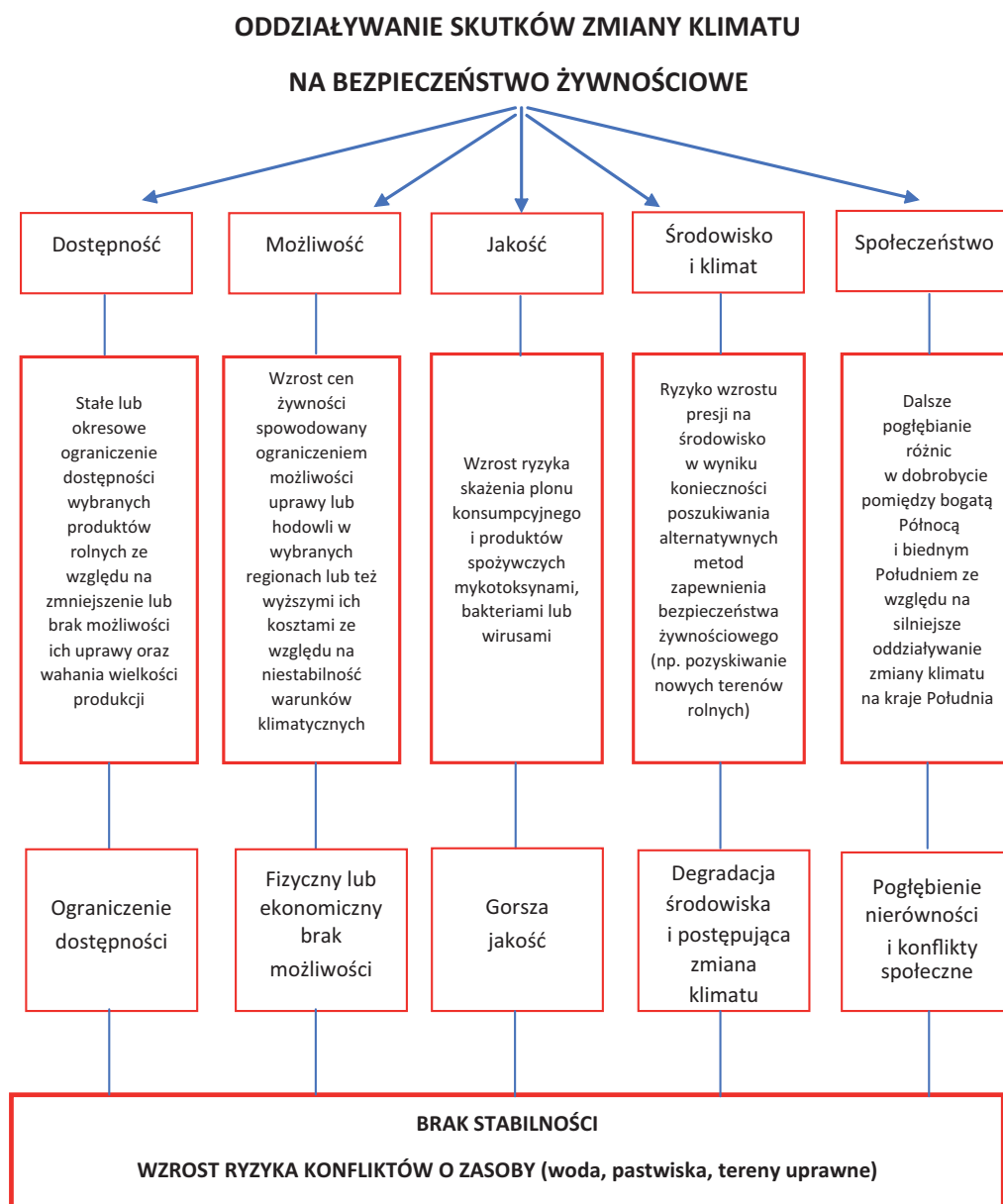
Skutki zmiany klimatu, które wystąpią w naszym kraju, mogą dodatkowo ograniczyć poziom bezpieczeństwa żywnościowego w wyniku:

- pogłębiającego się deficytu wody i coraz częstszego występowania suszy rolniczej;
- dużego wahanía plonowania z roku na rok, w konsekwencji może to spowodować brak możliwości uprawy wybranych roślin lub wymusić znaczące ograniczenie powierzchni ich zasiewów (np. ziemniaki – susza, zboża ozime – wymarzenie). Powodować to może znaczące niedogodności dla branży przetwórstwa spożywczego, a w konsekwencji zdecydować także o potrzebie zmiany modelu żywienia;
- braku pewności osiągnięcia zaplanowanych wyników produkcyjnych, spowodowanego wzrostem niestabilności warunków meteorologicznych i gwałtownością zmian pogodowych – w skrajnych przypadkach może prowadzić to do bankructwa producentów rolnych, jak i przetwórców, przyczyniać się do odchodzenia od hodowli zwierząt i uprawy;
- większego zagrożenia wystąpienia chorób upraw oraz zwierząt hodowlanych i/lub szkodników wcześniej w Polsce niewystępujących, a charakterystycznych dla cieplejszych regionów kontynentu i świata;
- wzrostu ryzyka skażenia produktów rolnych oraz żywności bakteriami oraz toksynami spowodowanego wzrostem średniej temperatury¹⁶⁶.

Z powyższej syntezy wynika, że w wyniku oddziaływania zmiany klimatu, bezpieczeństwo żywnościowe może zostać ograniczone we wszystkich jego aspektach. Podsumowano to na rysunku 7.1, który nawiązuje do zdefiniowanego we wprowadzeniu pojęcia bezpieczeństwa żywnościowego i wskazuje, w jaki sposób skutki zmiany klimatu wpływają na każdy z pięciu czynników mających wpływ na to bezpieczeństwo.

Na kierunki produkcji rolnej, a więc w konsekwencji także na poziom bezpieczeństwa żywnościowego może wpłynąć także polityka klimatyczna i konieczność redukcji emisji gazów cieplarnianych w tym sektorze. Może to wymuszać konieczność odchodzenia lub radykalnego ograniczenia zakresu wybranych technik uprawowych i zakresu hodowli, szczególnie tych, z którymi związany jest największy ślad węglowy (np. korzystanie z wód głębinowych i nawadnianie upraw za pomocą deszczowania, produkcja wołowiny i jagnięciny, mleka). Zagadnienie to jest o tyle istotne, że rolnictwo wraz z przemysłem rolno-spożywczym – jako istotne źródła emisji gazów cieplarnianych – będą musiały uczestniczyć w osiągnięciu neutralności

¹⁶⁶ Kovats S., Edwards S., Hajat S., Armstrong B., Ebi K., Menne B., 2004: Ibidem.



RYSUNEK 7.1. Wpływ skutków zmiany klimatu na czynniki wpływające na bezpieczeństwo żywnościowe (opracowanie własne)

klimatycznej. Będzie to trudne i kosztowne ze względu na to, że emisja tych gazów ma w rolnictwie charakter procesowy i jest nierozzerwalnie związana z uprawą gleby i produkcją zwierzęcą. Jej ograniczanie wpłynie więc w konsekwencji na ceny żywności. Dlatego utrzymanie wysokiego poziomu bezpieczeństwa żywności

ciowego wymagać będzie wielu działań, w których uwzględnieni powinni być różni interesariusze, w tym polityka rolna.

Warunkiem zasadniczym jest zapewnienie realizacji celów porozumienia paryskiego, a więc zapewnienia, że średni wzrost temperatury nie przekroczy 2°C, a najlepiej 1,5°C. Jeżeli bowiem nie uda się zrealizować tego celu, to zakres i siła skutków będą tak znaczące, że system produkcji żywności nie będzie się w stanie w pełni dostosować. Stąd, mimo potencjalnego niekorzystnego oddziaływania polityki klimatycznej na ten sektor, odejście od niej nie jest możliwe. Niemniej udział sektora rolno-spożywczego w ograniczaniu emisji nie może polegać na zmniejszaniu produkcji, bowiem dodatkowo zagrozi to podaży żywności. Problemem jest jednak to, że, jak się wydaje, w obecnym modelu zarządzania w rolnictwie osiągnięto już próg intensywności, którego przekroczenie nie będzie możliwe bez bardzo silnej presji na zasoby przyrodnicze. Konieczne jest więc poszukiwanie i wdrażanie metod ochrony klimatu, które pozwolą na uzyskanie pożądanego celu – redukcji emisji gazów cieplarnianych z sektora – bez zwiększania tej presji i znaczącego ograniczania wielkości produkcji.

Wśród tych metod szczególnie obiecujące jest podnoszenie zawartości węgla organicznego w glebie i jego stałe magazynowanie, w glebie bowiem przechowywane jest więcej węgla niż w biomasie. Zawartość węgla organicznego w glebie może zostać zwiększona na trzy różne sposoby:

- przez zwiększenie ilości resztek roślinnych i korzeni roślin uprawnych, które zwracane są do gleby;
- przez zwiększenie ilości materii organicznej wnoszonej do gleby, np. w postaci nawozów organicznych i/lub kompostu (które mogą pochodzić z własnych zasobów gospodarstwa lub też być sprowadzane z zewnątrz);
- przez zmniejszenie prędkości rozkładu materii organicznej w glebie (np. uprawy konserwujące).

Techniki, które wspierają magazynowanie węgla w glebie to m.in. zróżnicowane zmianowanie roślin, uprawa konserwująca, stosowanie międzyplonów, wykorzystanie roślin bobowatych jako zielonego nawozu, przyorywanie resztek poźniwnych, stosowanie kompostu i nawozów naturalnych. Wszystkie one, oprócz korzystnego oddziaływania na klimat, mają pozytywny wpływ na produkcję rolną dzięki utrzymaniu wysokiej produktywności gleb.

Większe zmiany natomiast mogą być wymagane w odniesieniu do produkcji zwierzęcej, w tym przypadku konieczne może być ograniczenie pogłowia przeżuwaczy, a z pewnością zmiana praktyki hodowlanej prowadzącej do powstawania z nadmiernie intensywniej na bardziej rozproszoną lub ekstensywną, tak żeby obornik i gnojowica mogły być w zrównoważony sposób dostarczane do gleby w ramach gospodarki cyrkularnej, w koncepcji agroekologii. Ograniczy się w ten sposób punktowego powstawania nadmiary obornika i gnojowicy.. Nie będzie to jednak możliwe bez szerszych

zmian w diecie i wsparcia konsumentów. Dlatego też trzeba poszukiwać innych metod ograniczania naturalnej emisji metanu związanej z metabolizmem tej grupy zwierząt. W pewnym stopniu emisję tę można ograniczyć poprzez właściwe żywienie lub dodatki paszowe, które powinny być stosowane w szerszym niż obecnie zakresie. W fazie testów są także metody energetycznego wykorzystywania metanu zawartego w powietrzu pomieszczeń inwentarskich, w których utrzymywane jest bydło.

Niemniej jednak nawet podjęcie zdecydowanych działań na rzecz ochrony klimatu nie wyeliminuje konieczności wdrożenia i prowadzenia działań adaptujących polskie rolnictwo do skutków zmiany klimatu. Jak się wydaje, w polskim rolnictwie działania te powinny być prowadzone wielokierunkowo:

- najpilniejszym zadaniem jest stworzenie narodowego programu zwiększania retencji i zatrzymywania wody w środowisku. Kluczowe jest tu stosowanie naturalnych metod retencji: ochrona istniejących i odtwarzanie zdegradowanych terenów podmokłych, śródpolnych oczek wodnych i torfowisk. Ocenia się, że potencjał retencyjny tych siedlisk sięga 35 mld m³, a więc jest wielokrotnie większy niż retencionowania w sposób sztuczny. Innymi pożądanymi metodami zatrzymywania wody powinny być: poprawianie zdolności retencyjnej gleby (ocenia się, że dodatkowo można magazynować około 20 l wody/m²), podnoszenie poziomu wód i jej magazynowanie w rowach melioracyjnych i ciekach, ochrona i przywracanie zadrzewień śródpolnych. Sztuczne zbiorniki retencyjne powinny być budowane tylko na terenach, na których nie ma możliwości naturalnego zatrzymania wody. Wody podziemne powinny być wykorzystywane na potrzeby produkcji rolnej tylko w przypadku upraw specjalnych i stosowania nawadniania kropelkowego, a irygacja powinna bazować na bezpośrednich pomiarach wilgotności gleby i jej deficytu w strefie korzeniowej roślin. Wdrażanie wielu z tych działań powinno być wspierane w ramach programów rolno-wodno-klimatycznych;
- działania adaptacyjne w sektorze rolno-spożywczym i na terenach wiejskich powinny być prowadzone na podstawie krajowej strategii rozwoju biogospodarki: tylko koordynacja tych prac zapewni ich skuteczne wdrażanie w rolnictwie jako sektorze kluczowym dla tego modelu rozwoju. Ze względu na bardzo szeroki zakres koniecznych prac niezbędne będzie jednoznaczne określenie w niej działań priorytetowych i harmonogramu ich wdrażania;
- wzmocniony powinien zostać potencjał służb wspierających rolnictwo: doradztwa rolniczego, inspekcji ochrony roślin oraz służb weterynaryjnych. Rolnicy powinni otrzymywać informacje dotyczące metod uprawowych i hodowlanych wspierających redukcję emisji gazów cieplarnianych oraz technik dostosowywania się do skutków zmiany klimatu. Inspekcja ochrony roślin oraz służby weterynaryjne muszą być przygotowane do szybkiego identyfikowania nowych zagrożeń dla upraw i chowu oraz zapobiegania tym zagrożeniom;

- należy prowadzić badania modelowe oraz prognostyczne, które bardziej szczegółowo określą kierunki zmian warunków produkcji rolnej i przetwórstwa rolno-spożywczego, jakie nastąpią w Polsce. Wyniki tych prac powinny być wykorzystane do planowania przyszłych kierunków produkcji rolnej w naszym kraju i w doradztwie dla rolników. Należy prowadzić selekcję odmian roślin oraz ras zwierząt najlepiej dostosowanych do nowych warunków klimatycznych Polski;
- do programów nauczania na kierunkach rolniczych należy włączyć tematykę związaną ze skutkami zmiany klimatu nie jako potencjalnego zagrożenia, ale problemu, z którym gospodarka i produkcja rolno-spożywcza już obecnie musi się mierzyć. Ponieważ kształtowanie żyzności gleb jej struktury i kondycji jest kluczowe dla osiągnięcia skutecznej adaptacji w rolnictwie, znacząco powinien zwiększyć się zakres czasowy i praktyczny edukacji w tym zakresie. Obecnie tematów tych nie ma w programach edukacji formalnej na poziomie podstawowym i średnim, także na poziomie uniwersyteckim zagadnienia te traktowane są marginalnie jako hipotezy, a nie proces, który w nadchodzących latach będzie miał decydujący wpływ na funkcjonowanie gospodarki. Dlatego też przyszli rolnicy powinni być lepiej przygotowania do prowadzenia działalności w trudniejszych warunkach klimatycznych dla funkcjonowania gospodarstwa.

Program adaptacji w rolnictwie dążący do utrzymania produktywności powinien zostać przygotowany w taki sposób, aby zapewnić, że jego wdrażanie nie zagrozi realizacji innych celów polityki ekologicznej, w tym m.in. redukcji emisji gazów cieplarnianych, ochrony różnorodności biologicznej, zrównoważonego wykorzystania zasobów naturalnych, w tym surowców, jakości wód i powietrza.

Bibliografia

- Adhikari U., Nejadhashemi A.P., Woznicki S.A., 2015: Climate change and eastern Africa: a review of impact on major crops. *Food Energy Security* 4 (2): 110–132.
- AghaKouchak A., Feldman D., Hoerling M., Huxman T., Lund J., 2015: Water and climate: Recognize anthropogenic drought. *Nature* 524 (7566): 409–411.
- Aktualny stan problematyki ochrony środowiska i zmian klimatu w sektorze rolnictwa, 2017. Monografia pod red. Walczaka J. i Krawczyka W. Instytut Zootechniki – PIB, Kraków.
- Allen A., Griffin L., Johnson C., 2017: Environmental justice and urban resilience in the global south. Palgrave Macmillan, London, pp. 1-307.
- Asante W.A., Acheampong E., Kyereh E., Kyereh B., 2017: Farmers' perspectives on climate change manifestations in smallholder cocoa farms and shifts in cropping systems in the forest-savannah transitional zone of Ghana. *Land Use Policy* 66: 374–381.
- Bartling M., Bunn C., Castro F., Walz H., 2017: Identification of Suitable Tea Growing Areas in Malawi Under Climate Change Scenarios. International Centre for Tropical Agriculture, Cali, pp. 39.
- Basagaña X., Escalera-Antezana J.P., Dadvand P., Llatje Ñ., Barrera-Gómez J., Cunillera J., Medina-Ramón M., Pérez K., 2015: High ambient temperatures and risk of motor vehicle crashes in Catalonia, Spain (2000–2011): a time-series analysis. *Environ Health Perspectives* 123: 1309–1316.
- Battisti D.S., Naylor R.L., 2009: Historical warnings of future food insecurity with unprecedented seasonal heat. *Science* 323: 240–244.
- Baumgard L.H., Rhoads R.P., Rhoads M.L., Gabler N.K., Ross J.W., Keating A.F., Boddicker R.B., Lenka S., Sejian V., 2012: Impact of Climate Change on Livestock Production [w:] Environmental Stress and Amelioration in Livestock Production (pod red. Sejian V.). Springer-Verlag GmbH Publisher, Berlin Heidelberg: 413–468.
- Bergel-Hayat R., Debbarh M., Antoniou C., Yannis G., 2013: Explaining the road accident risk: weather effects. *Accident Analysis and Prevention* 60: 456–465.
- Bertolde F.Z., Almeida A.A.F., Pirovani C.P., Gomes F.P., Ahnert D., Baligar V.C., Vand Valle R.R., 2012: Physiological and biochemical responses of *Theobroma cacao* L. genotypes to flooding. *Photosynthetica* 50: 447–457.
- Camilleri A.R., Larrick R.P., Hossain S., Patino-Echeverri D., 2019: Consumers underestimate the emissions associated with food but are aided by labels. *Nature Climate Change* 9: 53–58.
- Chakraborty S., Newton A.C., 2011: Climate change, plant diseases and food security: an overview. *Plant Pathology* 60: 2–14.
- Chauhan D.S., Ghosh N., 2014: Impact of Climate Change on Livestock Production: A Review. *Journal of Animal Research*: 4 (2): 223–239.
- Cole M.B., Augustin M.A., Robertson M.J., Manners J.M., 2018: The science of food security. *npj. Science of Food* 2: 1–8.
- Conant R.T., 2011: Temperature and soil organic matter decomposition rates – synthesis of current knowledge and a way forward. *Global Change Biology* 17: 3392–3404.

- Crowther T.W. i in., 2016: Quantifying global soil carbon losses in response to warming. *Nature* 540: 104–110.
- Duncan J.M.A., Saikia S.D., Gupta N., Biggs E.M., 2016: Observing climate impacts on tea yield in Assam, India. *Applied Geography* 77: 64–71.
- Evans K., 2012: Adapting to Climate Change in the Food Industry. Report for the Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA) by Social Change UK. DEFRA. London: 1–102.
- FAO, 2003: Trade Reforms and Food Security. Conceptualizing the linkages. FAO, Rome.
- FAO, 2004: Carbon sequestration in dryland soils. *World Soil Resources Reports* 102. Rome, pp. 129.
- FAO, 2008: Climate Change and Food Security: A Framework Document Food and Agriculture Organization of the United Nations 93.
- FAO, 2011. The state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW) – Managing systems at risk. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Earthscan. Rome, London.
- FAOSTAT, 2015: Emissions – Agriculture. faostat3.fao.org/browse/G1/*/E (dostęp: 13.12.2019)
- Fraiture Ch. de, Wichelns D., 2010: Satisfying future water demands for agriculture. *Agricultural Water Management* 97: 502–511.
- Gateau-Rey L., Tanner E.V.J., Rapidel B., Marelli J-P., Royaert S., 2018: Climate change could threaten cocoa production: Effects of 2015-16 El Niño-related drought on cocoa agroforests in Bahia, Brazil. *PLoS ONE* 13 (7): 1–7.
- Gaughan J.B., Cawsell-Smith A.J., 2015: Impact of climate change on livestock production and reproduction [w:] *Climate change Impact on livestock: adaptation and mitigation* (pod red.: Sejian V., Gaughan J., Baumgard L., Prasad C.S). Springer-Verlag GmbH Publisher, New Delhi: 51–60.
- Głębocki B., Kacprzak E., Kossowski T., 2018: Identyfikacja typów rolnictwa Polski z uwzględnieniem zależności przestrzennych [w:] *Teoretyczne i aplikacyjne wyzwania współczesnej geografii społeczno-ekonomicznej*. *Studia KPZK PAN* t. 183: 315–331.
- Gornall J., Betts R., Burke E., Clark R., Camp J., Willet K., Wiltshire A., 2010: Implications of climate change for agricultural productivity in the early twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 365: 2973–2989.
- Górski T., Demidowicz G., Deputat T., Jakacka M., Spoz-Pač B., 1979: Bonitacja agroklimatyczna Polski. *Zeszyty Problemowe Postępu Nauk Rolniczych* 224: 73-80.
- Górski T., Kozyra J. 2011: Agroklimatyczna norma średniej temperatury powietrza w Polsce na lata 2011–2020. *Polish Journal of Agronomy* 5: 21–28.
- Górski T., Kozyra J., Doroszewski A. 2008: Field crop losses in Poland due to extreme weather conditions: case studies [w:] *The influence of extreme phenomena on the natural environment and human living conditions*. Ed. Liszewski S. University of Łódź, Łódź: 35–49.
- Górski T., Kuś J., 2003: Wpływ zmian klimatu na rolnictwo [w:] *Czy Polsce grożą katastrofy klimatyczne?* IGBP PAN, Warszawa: 66–81.
- Górski T., Zaliwski A., 2002: Model Agroklimatu Polski (Agroclimate Model of Poland). *Pamiętnik Puławski* 130/I: 251-260.

- Gupta R. Somanathan E., Dey S., 2017: Global warming and local air pollution have reduced 25 wheat yields in India. *Climate Change* 140: 593–604.
- GUS, 2019: Użytkowanie gruntów i powierzchnia zasiewów w 2018 r. stat.gov.pl (dostęp: 1.02.2020).
- Gustavsson J., Cederberg C., Sonesson U., van Otterdijk R., Meybeck A., 2011: Global food losses and food waste. Extent, causes and prevention. FAO, Rome.
- Haggar J., Schepp K., 2012: Coffee and Climate Change Impacts and options for adaption in Brazil, Guatemala, Tanzania and Vietnam. NRI Working Paper Series No 4: Climate Change, Agriculture and Natural Resources. University of Greenwich and Natural Resource Institute. Kent
- Hannah L., Roehrdanz P.R., Ikegami M., Shepard A.V. Shaw R., Tabor G., Zhi L., Marquet P.A., Hijmans R., 2013: Climate change, wine and conservtion. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* vol. 110 (17): 6907–6912.
- Havlík, P., Valin H., Mosnier A., Obersteiner M., Baker J.S., Herrero M., Rufino M.C., Schmid E., 2016: Crop productivity and the global livestock sector: Implications for land use change and greenhouse gas emissions. *American Journal of Agricultural Economics* 95: 442–448.
- Herrero M., Henderson B., Havlík P., Thornton P.K., Conant R.T., Smith P., Wirsenius S., Hristov A.N., Gerber P., Gill M., Butterbach-Bahl K., Valin H., Garnett T., Stehfest E., 2016: Greenhouse gas mitigation potentials in the livestock sector. *Nature Climate Change* 6: 452–461.
- Hochman Z., Gobbett D.L. H. Horan H., 2017: Climate trends account for stalled wheat yields in Australia since 1990. *Global Change Biology* 23 (5): 2071–2081.
- <http://klimada.mos.gov.pl/zmiany-klimatu-w-polsce/tendencje-zmian-klimatu/> (dostęp: 21.12.2019).
- <http://onw.iung.pulawy.pl/specyficzne/wwrpp>. (dostęp: 12.12.2019).
- <http://www.fao.org/conservation-agriculture> (dostęp: 5.02.2020).
- <https://data.worldbank.org/indicator/AG.LND.AGRI.ZS> (dostęp: 20.01.2020).
- <https://www.farmer.pl/produkcja-zwierzec/bydlo-i-mleko/argentyna-zwieksza-eksport-wolowiny,89907.html> (dostęp: 2.01.2020).
- <https://www.pericoli.com/EN/news/120/Temperature-Humidity-Index-what-you-need-to-know-about-it.html> (dostęp: 11.10.2019).
- <https://www.up.lublin.pl/files/weterynaria/epizootiologia/choroby-przezuzwaczy/bluetongue.ppt> (dostęp: 05.10.2019).
- Hurej M., Nawrot J., Mrówczyński M., Paradowski R., 2012: New Pests Threat to Agricultural Plants. *Progress in Plant Protection* 52 (4): 826–830.
- IERiGŻ, 2016: Przedsiębiorstwo i gospodarstwo rolne wobec zmian klimatu i polityki rolnej (pod red. Józwiak W.). IERiGŻ-PIB, Warszawa.
- Iizumi, T., Ramankutty N., 2016: Changes in yield variability of major crops for 1981–2010 35 explained by climate change. *Environmental Research Letters* 11: 1–10.
- IMGW, 2011: Struktura występowania intensywnych opadów deszczu powodujących zagrożenie dla społeczeństwa, środowiska i gospodarki w Polsce. Projekt: Identyfikacja i ocena ekstremalnych zdarzeń meteorologicznych i hydrologicznych w Polsce w II połowie XX wieku. Zadanie 4. Klęski żywiołowe a bezpieczeństwo wewnętrzne (cywilne i ekonomiczne) kraju. Dostępne na www.klimat.imgw.pl (dostęp: 5.01.2020).

- IPCC, 2013: Zmiana Klimatu 2013 Fizyczne podstawy naukowe Przyczynek I Grupy Roboczej do Piątego Raportu Oceny Zmiany Klimatu Międzyrządowego Zespołu ds. Zmiany Klimatu Podsumowanie dla Decydentów. Tłumaczenie polskie dostępne na stronie <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar5-wg1-spm-3polish.pdf> (dostęp: 7.10.2019).
- 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. IPCC, Oxford, New York.
- IPCC, 2019: Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse gas fluxes in Terrestrial Ecosystems Summary for Policymakers. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/08/4.-SPM_Aproved_Microsite_FINAL.pdf (dostęp: 14.10.2019).
- James S.J., James C., 2010: The food cold-chain and climate change. *Food Research International* 43: 1944–1956.
- Jarosz Z., Faber A. 2015. Wpływ wdrożenia pośredniej zmiany użytkowania gruntów na ograniczenie emisji gazów cieplarnianych w cyklu życia biopaliw. *Roczniki Naukowe SERiA*, 2015, XVII, z. 2, 87–93.
- Jayasinghe S.L., Kumar L., 2019: Modeling the climate suitability of tea [*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze] in Sri Lanka in response to current and future climate change scenarios. *Agricultural and Forest Meteorology* 272/273: 102–117.
- Jones G.V., White M.A., Cooper O.R., Storchmann K., 2005: Climate change and global wine quality. *Climate Change* 73 (3): 319–343.
- Kaczmarczyk A. 2014: Ślad wodny i ślad węglowy marnowanej żywności. *Ekonatura* 12: 6–8.
- Karaczun Z.M., 2018: Wpływ marnowania żywności na zmianę klimatu. *PKEOM & Koalicja klimatyczna*, Warszawa: 1–28.
- Knox J., Hess T., Daccache A., Wheeler T., 2012: Climate change impacts on crop productivity in Africa and South Asia. *Environmental Research Letters* 7: 1–8.
- KOBIZE 2019: Poland's National Inventory Report 2019 Greenhouse Gas Inventory for 1988–2017 Submission under the UN Framework Convention on Climate Change and its Kyoto Protocol. IOŚ-PIB/KOBIZE, Warsaw.
- Konieczny P., Dobrucka R., Mroczek E., 2013. Using Carbon Footprint to Evaluate Environmental Issues of Food Transportation. *LogForum* 9, 1, 3–10.
- Konieczny P., Mroczek E., Kucharska M., 2013: Ślad węglowy w zrównoważonym łańcuchu żywnościowym i jego znaczenie dla konsumenta żywności. *Journal of Agribusiness and Rural Development* 3 (29): 51–64
- Kossin J.P., Emanuel K.A., SUZANA J. Camargo S.J., 2016: Past and Projected Changes in Western North Pacific Tropical Cyclone Exposure. *Journal of Climate* 29 (16): 5725–5738.
- Kovats S., Edwards S., Hajat S., Armstrong B., Ebi K., Menne B., 2004: The effect of temperature on food poisoning: Time series analysis in 10 European countries. *Epidemiology Infection* 132 (3): 443–453.
- Kozyra J. i in. 2011: Opracowanie podstaw adaptacji polskiego rolnictwa wobec zmian klimatu Etap I, projekt KLIMADA. Ministerstwo Środowiska, Warszawa, ss. 156.

- Kozyra J. i in. 2012: Diagnoza i prognoza warunków produkcji rolniczej w Polsce w wyniku oddziaływania ekstremalnych zjawisk meteorologicznych i hydrologicznych. Wpływ zmian klimatu na środowisko, gospodarkę i społeczeństwo – Zmiany, skutki i sposoby ich ograniczenia, wnioski dla nauki, praktyki inżynierskiej i planowania gospodarczego: Klęski żywiołowe a bezpieczeństwo wewnętrzne kraju. IMGW-PIB, Warszawa, T. 3: 265-327.
- Kozyra J., 2013: Wpływ prognozowanych zmian temperatury powietrza na fenologię zbóż ozimych w Polsce. Monografie i Rozprawy Naukowe IUNG-PIB, 40, ss. 114.
- Krasowska M., 2016: Wpływ intensywnych opadów deszczu na wymywanie substancji biogenych ze zlewni rolniczej. *Inżynieria Ekologiczna* 47: 1–9.
- Kuchcik M., 2013: The Attempt to Validate the Applicability of Two Climate Models for the Evaluation of Heat Wave Related Mortality in Warsaw in the 21st Century. *Geographia Polonica* 86 (4): 295–311.
- Kundzewicz Z., Kozyra J., 2011: Ocena zmian klimatu i ograniczanie wpływu zagrożeń klimatycznych w odniesieniu do rolnictwa i obszarów wiejskich. *Polish Journal of Agronomy* 7: 68–81.
- Läderach P., Martinez-Valle A., Schroth G., Castro N., 2013: Predicting the future climatic suitability for cocoa farming of the world's leading producer countries, Ghana and Côte d'Ivoire. *Climatic Change* 119: 841–854.
- Leshamta G.T., 2017: Assessing the Sustainability of Tea Growing Zones of Kenya Under Changing Climate and Modelling Less Regret Agrometeorological Options. Department of Meteorology, University of Nairobi, pp. 134.
- Lewis L., Onsongo M., Njapau H., Schurz-Rogers H., Lubber G., Kieszak S., Nyamongo J., Backer L., Dahive A.M., Misore A., DeCock K., Rubin C., 2005: Aflatoxin contamination of commercial maize products during an outbreak of acute aflatoxicosis in eastern and central Kenya. *Environmental Health Perspective* 113: 1763–1767.
- Lobell D.B., Banziger M., Magorokosho C., Vivek B., 2011: Nonlinear heat effects on African maize as evidenced by historical yield trials. *Nature Climate Change* 1: 42–45.
- Lobell D.B., Field C.B., 2007: Global scale climate—crop yield relationships and the impacts of recent warming. *Environmental Research Letters* 2: 1–7.
- Lobell D.B., Schlenker W., Costa-Roberts J., 2011: Climate trends and global crop production since 1980. *Science* 333: 616–620.
- Lobell D.B., 2014: Climate Change Adaptation in Crop Production: Beware of Illusions. *Global Food Security* 3 (2): 72–76.
- Lorenc H. 2011. Susze i opady maksymalne w Polsce. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa. Prezentacja na seminarium PK GWP, 16.12.2011 r., Warszawa.
- Malyshkina N.V., Mannering F.L., Tarko A.P., 2009: Markov switching negative binomial models: an application to vehicle accident frequencies. *Accident Analysis and Prevention* 41: 217–226.
- Mavromatis T.: 2015: Crop-climate relationships of cereals in Greece and the impacts of recent 7 climate trends. *Theoretical and Applied Climatology* 120: 417–432.
- Meyer, M. D., 2008: Design Standards for U. S. Transportation Infrastructure: The Implications of Climate Change. US National Research Council, Washington DC: 1–30.

- Ministerio del Medio Ambiente; 2011: Segunda Comunicación Nacional de Chile Ante la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático. Ministry of Environment, Santiago, Chile.
- Ministerstwo Aktywów Państwowych, 2019: Krajowy Plan na rzecz klimatu i energii na lata 2021–2030. Założenie i cele oraz polityki i działania. MAP, Warszawa.
- Mioduszeński W., Dembek W. 2009. Woda na obszarach wiejskich. IMUZ, MRiRW, Warszawa.
- Mirkowska Z., 2009: Konsekwencje zmian klimatycznych dla rolnictwa. *Zagadnienia Ekonomiki Rolnej* 2: 48–50.
- Moore F.C., Lobell D.B., 2015: The fingerprint of climate trends on European crop yields. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* vol. 112, no. 9: 2670–2675.
- Mozell M.R., Thach L., 2014: The impact of climate change on the global wine industry: Challenges & solutions. *Wine Economics and Policy* 3 (2): 81 - 89
- Muthee M., Waswa F., Obando J.A., 2015: Emerging Land Use Changes-Climatic Variability Nexus in Meru County, Kenya. *Journal of Environment and Earth Science* 5 (20): 118–129.
- Nelson G.C., Rosegrant M.W., Palazzo A., Gray I., Ingersoll C., 2010: Food Security, Farming, and Climate Change to 2050: Scenarios, Results, Policy Options. International Food Policy Research Institute, Washington, DC.
- Nieróbca A., Kozyra J., Mizak K., Wróblewska E., 2013: Zmiana długości okresu wegetacyjnego w Polsce. *Woda, Środowisko, Obszary Wiejskie* 2 (42): 81–94.
- Nofal F.H., Saeed A.A., 1997: Seasonal variation and weather effects on road traffic accidents in Riyadh city. *Public Health* 111 (1): 51–55.
- Oyekale A.S., Bolaji M.B., Olow O.W., 2009: The Effects of Climate Change on Cocoa Production and Vulnerability Assessment in Nigeria. *Agricultural Journal* 4 (2): 77–85.
- Pangloli P., Dje Y., Ahmed O., Doane C.A., Oliver S.P., Draughon F.A., 2008: Seasonal incidence and molecular characterization of *Salmonella* from dairy cows, calves, and farm environment. *Foodborne Pathogens and Disease* 5 (1): 87–96.
- Pielke R.A., Adegoke J.O., Chase T.N., Marshall C.H., Matsui T., Niyogi D., 2007: A new paradigm for assessing the role of agriculture in the climate system and in climate change. *Agricultural and Forest Meteorology* 142: 234–254.
- Pinke Z., Lövei G.L., 2017: Increasing temperature cuts back crop yields in Hungary over the last 90 years. *Global Change Biology* 23 (5): 5426–5435.
- Polska Izba Ubezpieczeń, Deloitte Sustainability Consulting Central Europe, 2019: Klimat ryzyka Jak prewencja i ubezpieczenia mogą ograniczyć wpływ katastrof naturalnych na otoczenie? PIU & Deloitte, Warszawa.
- Potopová V., Zahradníček P., Štěpánek L., Türkott A., Soukup J., 2017: The impacts of key adverse weather events on the field-grown vegetable yield variability in the Czech Republic 2 from 1961 to 2014. *International Journal of Climatology* 37: 1648–1664.
- Punge H.J., Kunz M., 2016: Hail observations and hailstorm characteristics in Europe: A review. *Atmospheric Research* 176–177: 159–184.
- Rahmstorf S., Cazenave A., Church J.A., Hansen J.E., Keeling R.F., Parker D.E., Somerville R.C.J., 2007: Recent climate observations compared to projections. *Science* 316: 709.

- Raj E.E., Radhakrishnan R.B., Kumar R.R., 2017: Tea [w:] Impact of Climate Change on Plantation Crops (pod red.: Hebbar K.B., Naresh Kumar S.N., Chowdappa P.). Astral International Pvt. Ltd., New Delhi: 123–143.
- Randall J.M., 1993: Environmental parameters necessary to define comfort for pigs, cattle, and sheep in livestock transporters. *Animal Production* 57: 299–307.
- Regmi M., Hanaoka S., 2009: Impacts of Climate Change on Transport and Adaptation in Asia. *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies* 7: 1–17.
- Rippke U, Ramirez-Villegas J., Vermeulen S.J., Parker L., Mer F., Diekkr B, Challinor A.J., Howden M., 2016: Timescales of transformational climate change adaptation in sub-Saharan African agriculture. *Nature Climate Change* 6 (6): 605–609.
- Roczniki Statystyczne GUS z lat 2004–2019: Produkcja upraw rolniczych i ogrodnich. Dział Wydawnictw Statystycznych GUS, Warszawa.
- Ruszkowska M. 2010: Mszyce niosą kłopoty. Dostępne na: <http://www.farmer> (dostęp: 28.01.2020).
- Santisi J., 2011: Warming up the wine industry. *E-Environmental Magazine* 22 (6): 15–17.
- Santosa E., Pramudya Sakti G., Fattah M.Z., Zaman S., Wachjar A., 2018: Cocoa Production Stability in Relation to Changing Rainfall and Temperature in East Java, Indonesia. *Journal of Tropical Crop Science* 5 (1): 6–17.
- Scheelbeek P.F., Bird F.A., Tuomisto H.L., Green R., Harris F.B., Joy E., Chalabi Z., Allen E., Haines A., Dangour A.D., 2018: Effect of environmental changes on vegetable and legume 45 yields and nutritional quality. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* vol. 115 (26): 6804–6809.
- Schils R. i in. 2018: Cereal Yield Gaps across Europe. *European Journal of Agronomy* 101: 109–120.
- Sejian V., Gaughan J.B., Bhatta R., Naqvi S.M.K., 2016: Impact of climate change on livestock productivity. *Broadening Horizons* 26: 1–4.
- Skłodowski P., Bielska A., 2009: Właściwości i urodzajność gleb Polski – podstawą kształtowania relacji rolno-środowiskowych. *Woda – Ścieki – Obszary Wiejskie* 9 (4): 203–214.
- Stuczyński T., Demidowicz G., Deputat T., Górski T., 2000: Adaptation scenarios of agriculture in Poland to future climate changes. *Environmental Monitoring and Assessment* 61: 133–144.
- Syp A., Faber A., Borzęcka-Walker B., Osuch D., 2015: Assessment of greenhouse gas emissions in winter wheat farms using Data Envelopment Analysis approach. *Polish Journal of Environmental Studies* 24: 2197–2203.
- Tirado M.C., Clarke R., Jaykus L.A., McQuatters-Gollop A., Franke J.M., 2010: Climate change and food safety: a review. *Food Research International* 43: 1745–1765.
- Trębas P., Smreczak M., Orłowska A., Żmudziński J.F., 2007: Epizootiologia choroby niebieskiego języka. *Medycyna Weterynaryjna* 63 (11): 1273–1276.
- Tripathi A., Tripathi D.K., Chauhan D.K., Kumar N., Singh G.S., 2016: Paradigms of climate change impacts on some major food sources of the world: A review on current knowledge and future prospects. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 216: 356–373.

- Trnka i in., 2011: Agroclimatic conditions in Europe under climate change. *Global Change Biology* 17: 2298–2318.
- Upadhaya R.C., Singh S.V., Kumar A., Gupta S.K., 2007: Impact of climate change on Milk production of Murrah buffaloes. *Italian Journal of Animal Sciences* 6 (2): 1329–1332.
- Weber C.L., Matthews H.S., 2008: Food-Miles and the Relative Climate Impacts of Food Choices in the United States. *Environmental Science & Technology* 42 (10), 3508–3513.
- Weber H. i in., 2018: Diverging Importance of Drought Stress for Maize and Winter Wheat in Europe. *Nature Communications* 9 (1): 1–10.
- Wellesley I., 2015: Changing Climate, Changing Diets Pathways to Lower Meat Consumption. Chatham House Report, pp. 54.
- White M.A., Whalen P., Jones G.V., 2009: Land and wine. *Nature Geoscience* 2: 82–84.
- Wieczorek L., 2016: Zmienność czasowo-przestrzenna występowania trąb powietrznych w Europie i w Polsce w latach 1998–2013. *Przegląd Geograficzny* 88 (3): 353–368.
- World Food Summit, Rome Declaration on World Food Security (1996). <http://www.fao.org/docrep/003/w3613e/w3613e00.HTM> (dostęp: 7.10.2019).
- Zieliński M., Sobierajewska J., 2019: Rolnictwo w obliczu suszy a bezpieczeństwo żywnościowe. Wyd. PKE OM, Warszawa.
- Zoecklein B., 2018: How Climate Change Affects Winegrowing. *Issue of Wines & Vines* 2: 1–7.
- Żyłowski T., Król A., Kozyra J. 2018: Ocena możliwości ograniczenia śladu węglowego w uprawie kukurydzy na ziarno. *Roczniki (Annals), Polish Association of Agricultural Economists and Agribusiness – Stowarzyszenie Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu (SERiA)*, vol. 4.



Monografia została przygotowana na zlecenie Koalicji Klimatycznej.

Koalicja Klimatyczna jest porozumieniem 25 organizacji pozarządowych. Jej misją jest wspólne działanie w celu zapobiegania wywołanym przez człowieka zmianom klimatu dla dobra ludzi i środowiska. Więcej informacji o Koalicji na stronie <http://koalicjaklimatyczna.org>

Członkowie Koalicji Klimatycznej:

Fundacja Aeris Futuro, CIWF Polska, Fundacja ClientEarth – Prawnicy dla Ziemi, Fundacja Efektywnego Wykorzystania Energii, Fundacja Ekologiczna Arka, Fundacja Ekologiczna Ziemi Legnickiej Zielona Akcja, Fundacja EkoRozwoju FER, Fundacja GAP Polska, Fundacja Greenpeace Polska, Fundacja na rzecz Zrównoważonego Rozwoju, Instytut na rzecz Ekorozwoju, Klub Gaja, Liga Ochrony Przyrody, Dolnośląski Klub Ekologiczny, Polski Klub Ekologiczny Koło Tychy, Polski Klub Ekologiczny Okręg Mazowiecki, Polski Klub Ekologiczny Okręg Wschodnio-Pomorski, Pracownia na rzecz Wszystkich Istot, Stowarzyszenie „BoMiasto”, Stowarzyszenie Ekologiczne Eko-Unia, Stowarzyszenie Ekologiczno-Kulturalne „Wspólna Ziemia”, Społeczny Instytut Ekologiczny, WWF Polska, Zielone Mazowsze, Związek Stowarzyszeń Polska Zielona Sieć, Center for Clean Air Policy (członek wspierający).

