



**Instytut Problemów
Współczesnej Cywilizacji
im. Marka Dietricha**

Zmiany klimatu i ich następstwa

Warszawa 2021

Instytut Problemów Współczesnej Cywilizacji im. Marka Dietricha, założony w roku 1996, jest międzyuczelnianą jednostką wykonującą zadania badawcze i edukacyjne dotyczące problemów współczesnej cywilizacji oraz podejmującą działania na rzecz integracji społeczności akademickiej. Aktualnie Instytut działa na podstawie porozumienia zawartego przez:

- Politechnikę Warszawską,
- Szkołę Główną Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie,
- SWPS Uniwersytet Humanistycznospołeczny,
- Uniwersytet Warszawski,
- Warszawski Uniwersytet Medyczny.

Działalność Instytutu jest nadzorowana przez **Kolegium Rektorów**, w skład którego wchodzi rektorzy uczelni – stron porozumienia.

Od strony organizacyjnej IPWC jest jednostką Politechniki Warszawskiej

Biuro Instytutu

ul. Koszykowa 75, lok. 43

00-662 Warszawa

tel.: +48 22 234 70 07, 666 616 696

e-mail: instytut.ipwc@pw.edu.pl

www.ipwc.pw.edu.pl

**Instytut Problemów Współczesnej Cywilizacji
im. Marka Dietricha**

LXXIII

Zmiany klimatu i ich następstwa

Warszawa 2021

© Copyright by Instytut Problemów Współczesnej Cywilizacji im. Marka Dietricha,
Warszawa 2021

Instytut Problemów Współczesnej Cywilizacji im. Marka Dietricha
ul. Koszykowa 75, lok. 43, 00-662 Warszawa
tel. +48 22 234 70 07
e-mail: instytut.ipwc@pw.edu.pl
www.ipwc.pw.edu.pl

ISBN 978-83-89871-44-2

Wydawnictwo SGGW
ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa
tel. +48 22 593 55 20
e-mail: wydawnictwo@sggw.edu.pl
www.wydawnictwosggw.pl

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

SPIS TREŚCI

Tomasz Borecki

Wstęp 5

Szymon Malinowski

Globalne ocieplenie – mechanizmy i perspektywy 7

Kazimierz Banasik, Tomasz Okruszko

Problematyka wodna w świetle zmian klimatu 16

Bogdan Brzeziecki

Zmiany klimatu i ich następstwa dla ekosystemów leśnych 29

Jerzy Kozyra

Następstwa zmiany klimatu w polskim rolnictwie i działania adaptacyjne 44

Natasza Gajda

Uwagi i przemyślenia dotyczące zmian klimatu i ich następstw 57

Krzysztof Haman

Po co Ministerstwo Klimatu? 62

Wydawnictwa Instytutu Problemów Współczesnej Cywilizacji im. Marka Dietricha 65

WSTĘP

Na zaproszenie Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie na kampusie uczelni 26 listopada 2019 roku odbyła się konferencja pt. „Zmiany klimatu i ich następstwa”. Organizatorami przedsięwzięcia byli: Konferencja Rektorów Akademickich Szkół Polskich, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie oraz Instytut Problemów Współczesnej Cywilizacji im Marka Dietricha. W konferencji uczestniczyły 133 osoby, w tym dość liczna grupa studentów, głównie z SGGW. W podsumowaniu obrad padła obietnica, że prezentowane referaty oraz nadesłane głosy zostaną opublikowane możliwie szybko. Ze względu na sytuację epidemiczną obietnicę tę możemy spełnić dopiero teraz. W publikacji zamieszczone są cztery referaty uznanych specjalistów oraz dwa głosy nadesłane, dotyczące poruszanej problematyki.

Powód organizacji tej konferencji był oczywisty, tj. następstwa gospodarcze i środowiskowe zmian klimatu. Wzrost intensywności i częstotliwości ekstremalnych zjawisk pogodowych coraz wyraźniej wpływa na warunki życia oraz ma swoje daleko idące konsekwencje gospodarcze. Długotrwałe upały i brak opadów, a w następstwie bardzo niski poziom wód gruntowych i wód w rzekach, susze, ale też gwałtowne ulewę i huragany, późne przymrozki wiosenne i bardzo wczesne przymrozki jesienne obserwujemy także w Polsce. Kolejne światowe raporty, dotyczące tej problematyki, potwierdzają globalny charakter tych zjawisk i wiążą je z ociepleniem klimatu. Podstawowym problemem jest bardzo szybki przebieg tych zmian i konieczność znalezienia odpowiedzi na te wyzwania. Nie jest już dla nikogo zaskoczeniem, że jak wynika z danych NASA i europejskiego Copernicusa, listopad 2020 roku był najcieplejszy w historii pomiarów temperatury.

W wielu krajach od dawna prowadzone są badania, mające na celu określenie wielkości i charakteru zmian klimatu oraz ich następstw dla trybu życia, zdrowia oraz gospodarki. Nie można było na krótkiej konferencji poruszyć wszystkich problemów dotyczących źródeł gwałtownych transformacji klimatycznych, opisu tych zmian oraz ich licznych konsekwencji. Podjęliśmy tylko zagadnienia odnoszące się do uwarunkowań przeobrażeń klimatycznych i ich następstw dla gospodarki leśnej i rolnej. W Polsce stawiamy sobie wiele pytań dotyczących między innymi tego, jak

zatrzymać wodę, której jest tak mało. Jak gospodarować ekosystemami leśnymi, żeby utrzymać trwałość i ciągłość pełnionych przez nie funkcji? W jakim kierunku powinno zmieniać się rolnictwo, mając na względzie przewidywane uwarunkowania klimatyczne?

Na naturalne zmiany zachodzące w klimacie nakładają się negatywne konsekwencje działalności człowieka, pogarszające jakość naszego życia i funkcjonowania środowiska przyrodniczego. Społeczeństwa w swoim rozwoju skazane są na rozumne korzystanie z dóbr przyrodniczych; człowiek powinien zrobić wszystko – z czysto egoistycznych pobudek – by zachować bogactwo i bioróżnorodność środowiska. Przyrodę trzeba gospodarować z wielką wiedzą, szacunkiem i miłością. Człowiek jest częstką otaczającego go ekosystemu i zawsze musi pamiętać o tym, że największą krzywdę wyrządza sobie, gdy doprowadza do zubożenia świata przyrody.

W imieniu Instytutu Problemów Współczesnej Cywilizacji serdecznie dziękuję współorganizatorom, w tym szczególnie Rektorowi SGGW Wiesławowi Bielawskiemu – gospodarzowi konferencji, Andrzejowi Eliaszowi – byłemu Rektorowi SWPS Uniwersytetu Humanistycznospołecznego oraz licznie przybyłym uczestnikom.

Słowa szczególnego podziękowania kieruję do Autorów referatów, Panów Profesorów: Szymona Malinowskiego z Uniwersytetu Warszawskiego, Kazimierza Banasika i Tomasza Okruszko ze Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Bogdana Brzezieckiego ze Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie oraz Jerzego Kozyry z Instytutu Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach.

Tomasz Borecki

GLOBALNE OCIEPLENIE – MECHANIZMY I PERSPEKTYWY¹

SZYMON MALINOWSKI

UNIwersytet Warszawski
Instytut Geofizyki

Od czasów Józefa Fouriera, czyli już od 200 lat, znamy podstawową zasadę działania maszyny klimatycznej, tę samą na wszystkich planetach, które nie mają wewnątrz istotnych źródeł ciepła. Sprawa zmian temperatury globu to kwestia bilansu energii. Jeśli planeta otrzymuje więcej energii niż emituje w kosmos, to jej temperatura rośnie. I odwrotnie, gdy emisja energii jest większa niż jej pochłanianie przez planetę, jej temperatura spada.

Spójrzmy na dwa ciała, które dostają tyle samo energii od Słońca: Ziemię i jej towarzysza – Księżyc. Mimo tego, że strumień energii od Słońca docierający do każdego z tych ciał jest taki sam, warunki na ich powierzchniach są zupełnie różne. Skąd ta różnica? Otóż powodami są inna zdolność jednego i drugiego ciała do pochłaniania promieniowania słonecznego, wypromieniowania energii w kosmos, a także inne możliwości magazynowania energii w powierzchniowej warstwie planety. W przeciwieństwie do Księżyca, większą część Ziemi pokrywają oceany, a lądy w znacznej mierze porośnięte są roślinnością. Tylko powierzchnie największych pustyń przypominają pod względem własności absorpcji, magazynowania i emisji energii powierzchnię Księżyca. I co niezwykle istotne, Ziemia otoczona jest atmosferą. Przykład Ziemi i Księżyca pokazuje, że nie tylko dopływ energii od Słońca kształtuje klimat (rysunek 1).

Ogólnie wszystkie zmiany średniej temperatury planety można podzielić na dwa rodzaje: powodowane zmianami w dopływie energii oraz zmianami wynikającymi

¹ Na podstawie zamieszczonego na <https://naukaoklimacie.pl/aktualnosci/klimat-przeszlosc-terazniejszosc-przyszlosc-137> tekstu mojego autorstwa ze zmianami, uzupełnieniami i rozszerzeniami.

z oddawania energii w kosmos (czyli w pracy „chłodnicy”). Zmniejszony dopływ energii (np. wskutek spadku aktywności gwiazdy, zmian orbitalnych etc.) lub jakiegokolwiek wzrost efektywności „chłodnicy” będzie prowadził do ochłodzenia klimatu. Zwiększony dopływ energii lub utrudnienia w jej odpływie będą skutkowały ociepleniem.



Rysunek 1. Schemat przepływów energii do i z systemu klimatycznego. Aby (średnia) temperatura Ziemi była stała, strumień ciepła otrzymywanego przez Ziemię od Słońca ΔQ_s musi być równoważony strumieniem ciepła oddawanym przez Ziemię w kosmos ΔQ_c . T_1 , T_2 i T_3 to odpowiednio temperatura emisyjna Słońca (ok. 5800 K), temperatura radiacyjna Ziemi (ok. 255 K) i temperatura kosmosu (ok. 2,3 K). Temperatura Ziemi rośnie, gdy $\Delta Q_s > \Delta Q_c$, spada zaś, gdy $\Delta Q_s < \Delta Q_c$; za: <https://naukaoklimacie.pl/aktualnosci/klimat-przeszlosc-teraz-niejszosc-przyszlosc-137>

Do określenia tego, czy w skali globu klimat planety się ociepla czy ochładza, nie jest potrzebna szczegółowa znajomość działania systemu klimatycznego, wystarczy znać dopływ i wypływ energii na granicach systemu. Rozumiał to już Józef Fourier, autor „Analitycznej teorii ciepła”, który w 1824 roku wykazał, że temperatura powierzchni Ziemi jest wyższa, niż byłaby, gdyby nie utrudnienia w odpływie ciepła z planety; dziś to zjawisko nazywamy efektem cieplarnianym.

Sprawę komplikuje nieco fakt, że albedo (ułamek energii promieniowania słonecznego odbijany przez planetę) i nasilenie efektu cieplarnianego mogą być zależne od zjawisk zachodzących wewnątrz systemu klimatycznego. W takim wypadku mówimy nie o wymuszeniach z zewnątrz systemu klimatycznego, ale o sprzężeniach zachodzących wewnątrz systemu. Mogą one wzmacniać lub osłabiać efekty wymuszeń. To, jak klimat się zmieni wskutek wymuszenia, zależy zarówno od tego wymuszenia, jak i od szeregu sprzężeń.

Żeby zrozumieć sposób, w jaki „działa” klimat Ziemi, warto przyjrzeć się epokom lodowym, które od kilku milionów lat co ok. 100 tys. lat nawiedzają naszą planetę. Wymuszeniami odpowiedzialnymi za przejścia między okresami zlodowaceń i interglacjałów były zmiany orbity Ziemi związane z oddziaływaniem innych planet, przede wszystkim Jowisza i Saturna. Te skomplikowane zjawiska grawitacyjne w sposób uproszczony mogą być opisane tzw. cyklami Milankowicza.

Jeden z tych cykli to w miarę regularne zmiany kształtu orbity z nieco wydłużonej elipsy na niemal kołową, zbliżoną do okręgu, tzw. zmiany ekscentryczności orbity. Można obliczyć, że w wyniku tych zmian różnica w dopływie energii ze Słońca w skali roku wynosi mniej niż 0,2% . To za mało, żeby wyjaśnić dramatyczne różnice między glacialami a interglacialami. Co więc jeszcze? O ile zmiany w całkowitym dopływie energii są niewielkie, o tyle zmiany ekscentryczności orbity prowadzą do dużego, przekraczającego 20% zróżnicowania dopływu energii do półkul naszej planety. Przy obecnym układzie kontynentów (praktycznie stałym w ostatnich kilku milionach lat) ważne jest, czy w chwili, gdy Ziemia przebywa najbliżej Słońca, oświetlony jest biegun północny, otoczony ze wszystkich stron kontynentami, czy południowy, otoczony oceanem.

Albedo łądu jest mniejsze od albedo wody. Na łądzie podczas długiej zimy może gromadzić się śnieg, który wiosną i przez krótkie lato odbije promieniowanie słoneczne. To taki zawór, wpuszczający w określonej sytuacji mniej energii słonecznej do systemu klimatycznego. Według teorii Milankowicza, krytycznym dla działania tego zaworu jest obszar wokół północnego koła podbiegunowego, w przybliżeniu wokół 65°N. Wewnątrz tego kręgu jest zalodzony przez cały rok Ocean Arktyczny, na zewnątrz zaś jest łąd, który może pokryć się lodem zalegającym przez lato i zimą. Inna sytuacja jest na południu – lód na oceanie wokół Antarktydy nie jest w stanie przetrwać lata.

Mamy wiele dowodów na to, że Ziemia osuwała się w zlodowacenie, gdy wymuszenia orbitalne prowadziły do spadku dopływu energii słonecznej do Dalekiej Północy, wydobywała się zaś z niego, gdy dopływ ten osiągał maksimum. Decydujące było sprzężenie związane z albedo: czy śnieg na łądach wokół bieguna północnego z roku na rok topniał całkowicie, czy mógł przetrwać lato i z roku na rok narastać przekształcając się w łądolód.

Ale nawet te zmiany nie tłumaczą wielkości zlodowaceń, zmienności średniej temperatury powierzchni naszej planety między glacialami a interglacialami wynoszącej 4-5°C. To wciąż za mało. Co więc jeszcze? Trzeba uwzględnić działanie chłodnicy systemu klimatycznego, które zależy od zawartości w powietrzu gazów cieplarnianych, w tym gazu kluczowego – dwutlenku węgla.

Już w połowie XIX dzięki pracom Johna Tyndalla poznaliśmy zdolności pochłaniania i emitowania ciepła przez najważniejsze gazy cieplarniane: parę wodną, dwutlenek węgla i metan. Wszystkie mają wpływ na działanie klimatycznej chłodnicy: gdy ich koncentracja w powietrzu wzrasta, oddawanie energii w przestrzeń kosmiczną jest utrudnione i temperatura globu podnosi się. Gdy ich ubywa, Ziemia łatwiej wypromieniowuje energię i się ochładza.

Zmiany stężeń każdego z tych gazów w powietrzu podlegają innym regułom. Ilość pary wodnej w atmosferze szybko, w ciągu kilku dni, dostosowuje się do

warunków wywoływanych innymi czynnikami – jej parowanie i kondensacja oraz opady zależą od temperatury. W praktyce oznacza to, że zawartość pary wodnej jest bardzo szybkim sprzężeniem, wzmacniającym każde wymuszenie na systemie klimatycznym Ziemi. Wszyscy poważni badacze zajmujący się klimatem to rozumieją, a ze względu na szybkość i siłę tego sprzężenia traktowane jest ono jako mnożnik każdego innego wymuszenia.

Metan to bardzo silny gaz cieplarniany. Jednak wyemitowany do atmosfery w ciągu kilku-kilkunastu lat rozkłada się pod wpływem nadfioletu, końcowym (po kolejnych reakcjach chemicznych) produktem rozpadu są woda i dwutlenek węgla. Stężenie metanu w atmosferze może się stosunkowo szybko zmieniać; gdyby emisje tego gazu nagle ustały, to po kilkudziesięciu latach spadłoby ono praktycznie do zera.

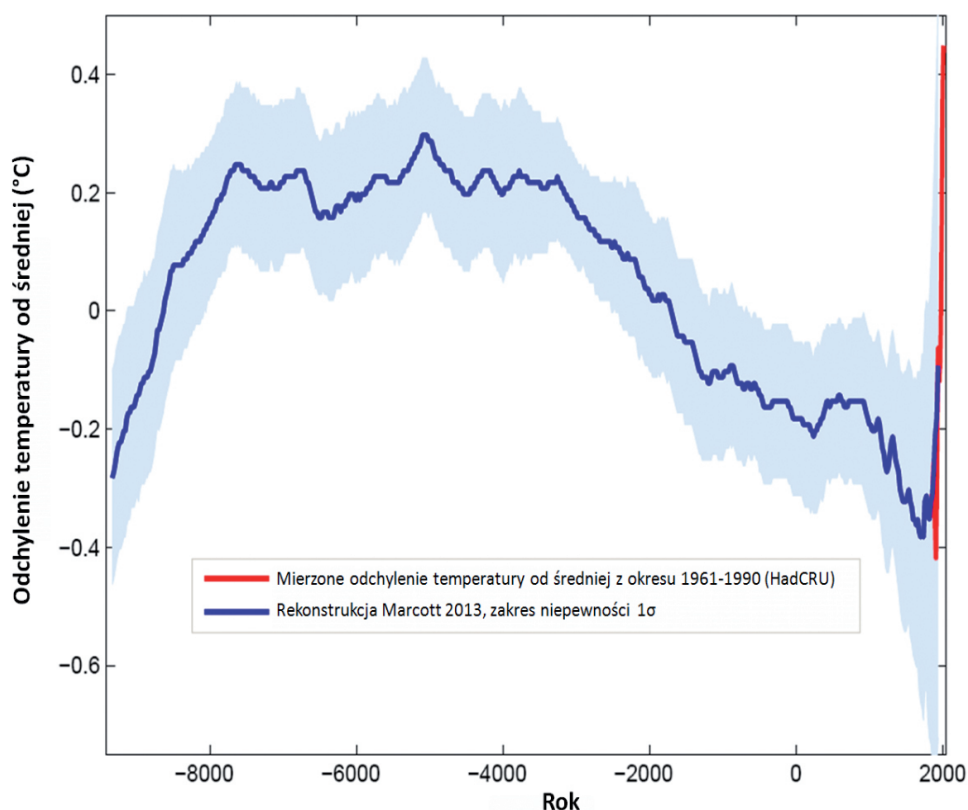
Zupełnie inaczej jest z dwutlenkiem węgla. Naturalne usuwanie dodanego do powietrza CO_2 związane z wiązaniem węgla na powierzchni Ziemi trwa tysiące lat. To właśnie zmiany koncentracji CO_2 w atmosferze są tym czynnikiem, który domyka zrozumienie mechanizmu epok lodowcowych.

Gdy wskutek spadku pochłaniania energii słonecznej przez Ziemię, co było efektem coraz bielszej północy, ocean światowy ochładzał się, to zgodnie z prawem Henry’ego rozpuszczało się w nim coraz więcej atmosferycznego CO_2 . Dzięki temu sprzężeniu „chłodnica” Ziemi pracowała coraz efektywniej, co jeszcze silniej wychładzało planetę. W efekcie, kiedy wskutek wymuszenia orbitalnego północna półkula Ziemi latem otrzymywała mniej energii od Słońca, działanie dwóch sprzężeń zwrotnych: wzrostu albedo i spadku koncentracji CO_2 w atmosferze, wzmacniało ten efekt: klimat się ochładzał, a Ziemia „staczała się” w epokę lodowcową.

Kiedy północna półkula Ziemi latem otrzymywała więcej energii, lądolód topniał. Powodowało to wzrost ilości pochłanianej przez planetę energii, wzrost temperatury powierzchni, ogrzanie oceanu, odgazowywanie CO_2 i dalsze ogrzanie w wyniku cieplarnianego działania tego gazu, dalsze topnienie lądolodu itd. – klimat Ziemi wchodził w ciepły okres interglacjalny. Te wszystkie wymuszenia i sprzężenia jesteśmy w stanie prześledzić, czy to analizując dane paleoklimatologiczne, czy w symulacjach numerycznych procesów klimatycznych.

Mechanizm epok lodowcowych dowodzi, że w obecnym stanie naszej planety system klimatyczny jest czuły na wymuszenia. Niewielkie, specyficzne zmiany w dopływie energii słonecznej mogą, z powodu istnienia naturalnych, potężnych sprzężeń obecnych w systemie klimatycznym, powodować znaczne skutki.

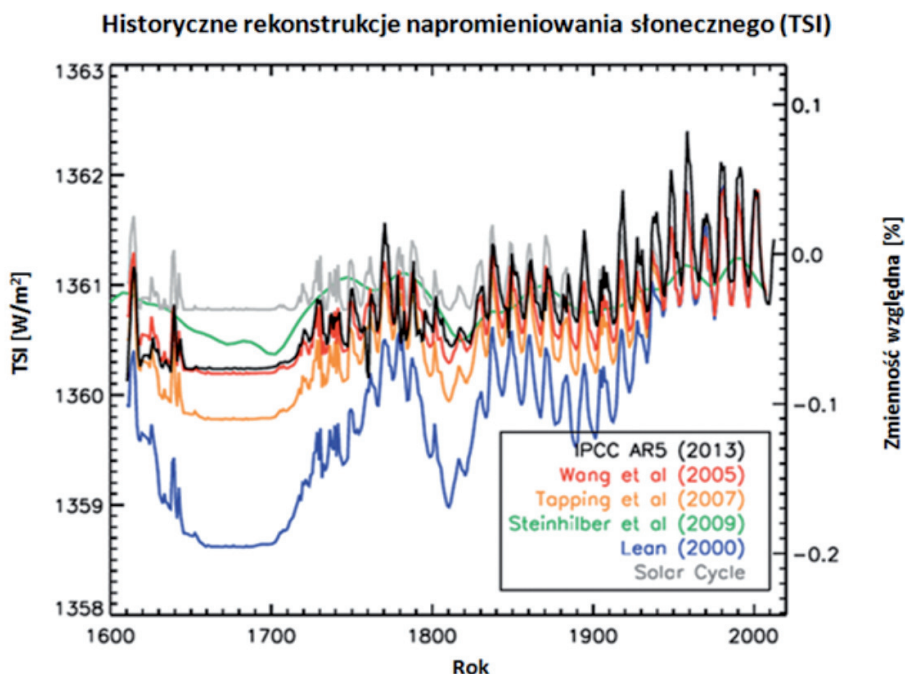
Jaką sytuację mamy teraz? Otóż od około 5 tys. lat Ziemia, po szczytowym okresie ostatniego interglacjału, zwanego holocenijskim maksimum klimatycznym, zaczęła się powoli wychładzać w kolejnym cyklu orbitalnym. Nagle, około 150 lat temu, trend łagodnego spadku temperatury wywołany tym czynnikiem się zatrzymał, a następnie gwałtownie odwrócił (rysunek 2).



Rysunek 2. Niebieska linia: rekonstrukcja globalnej temperatury z danych proxy (Marcott i in. 2013). Pokazana jest tutaj wersja RegEM – znaczące różnice pomiędzy wariantami różnych metod uśredniania są wyraźne tylko pod koniec pokazanego okresu, gdzie liczba dostępnych szeregów proxy jest mniejsza. Nie ma to jednak znaczenia, ponieważ zmiany temperatur w ostatnich latach są dobrze znane z pomiarów instrumentalnych, zaznaczonych linią czerwoną (dane HadCRU). Wykres sporządził Klaus Bitterman; za: <https://naukaoklimacie.pl/aktualnosci/koniec-holocenu-10>

W ostatnich 150 latach średnia temperatura globu wzrosła o więcej niż spadła przez wcześniejsze 5000 lat i niemal z roku na rok rośnie szybciej. Co się wydarzyło? Słońce, choć fluktuujące w swoich cyklach 11-letnich i dłuższych związanych z wieloletnimi minimami i maksymami aktywności, świeci niezwykle stabilnie, jego moc rosła nieznacznie od XVIII wieku do lat 70. XX wieku, po czym zaczęła równie nieznacznie spadać (rysunek 3).

Żadna katastrofa kosmiczna nie zmieniła orbity naszej planety. Mamy ogromną liczbę dowodów pomiarowych na to, że przyczyną tego szybkiego wzrostu temperatury globu jest coraz mniej efektywna „chłodnica” naszej planety.



Rysunek 3. Porównanie najnowszych rekonstrukcji zmienności stałej słonecznej (Total Solar Irradiance – TSI) od 1600 roku (Kopp 2014); za: <https://naukaoklimacie.pl/aktualnosci/pojutrze-mit-wiecznie-zywy-101>

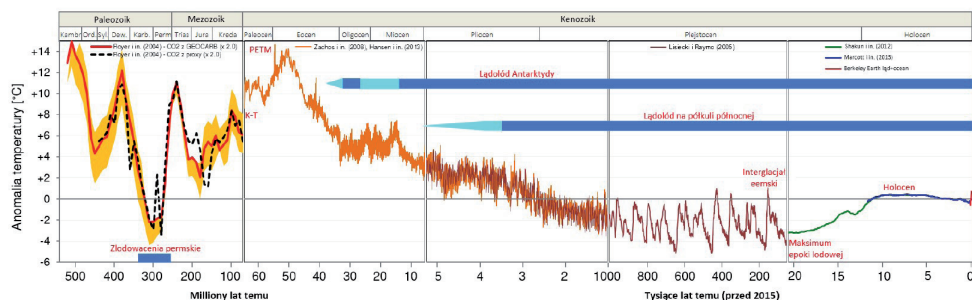
W ciągu ostatnich 200 lat stężenie CO_2 w atmosferze wzrosło o ponad 40% i rośnie coraz szybciej, już o niemal 1% wartości wyjściowej rocznie. W stosunku do systemu klimatycznego jest to wymuszenie, gdyż nie jest to CO_2 rozpuszczony w oceanie czy zatrzymany w biosferze na powierzchni planety, tylko pochodzący spoza szybkiego cyklu węglowego, ze spalania przez ludzi niektórych składników skał z głębi Ziemi. Taki proces nigdy w historii naturalnej planety nie zachodził. Efekt wzrostu koncentracji CO_2 i innych gazów cieplarnianych pochodzenia antropogenicznego spowodował, że chłodnica emituje dziś w kosmos mniej energii niż przed epoką przemysłową. W liczbach bezwzględnych efekt emisji antropogenicznych i szybkich sprzężeń jest dwudziestokrotnie większy niż zmiany w dopływie energii od Słońca w tym czasie i ponad 6 razy większy niż zmiany w dopływie energii słonecznej między glaciałem i interglaciałem!

Okazało się, że potrafimy namieszać w systemie klimatycznym i zmieniać go szybciej niż procesy naturalne. Jak na razie w latach 1850-1980 odrobiliśmy już powolne ochłodzenie z ostatnich 5 tys. lat, kiedy to Ziemia „staczała się” w kolejną epokę lodowcową. Od lat 80. XX wieku podgrzaliśmy planetę o kolejne $0,5^\circ\text{C}$. I to pomimo faktu, że jednocześnie emitując pyły zmieniające właściwości chmur, wyci-

nając lasy i zmieniając powierzchnię Ziemi, przykręciliśmy zawór „na wejściu”, zwiększając albedo planety tak, że do systemu klimatycznego wpływa nieco mniej energii słonecznej niż 200 lat temu.

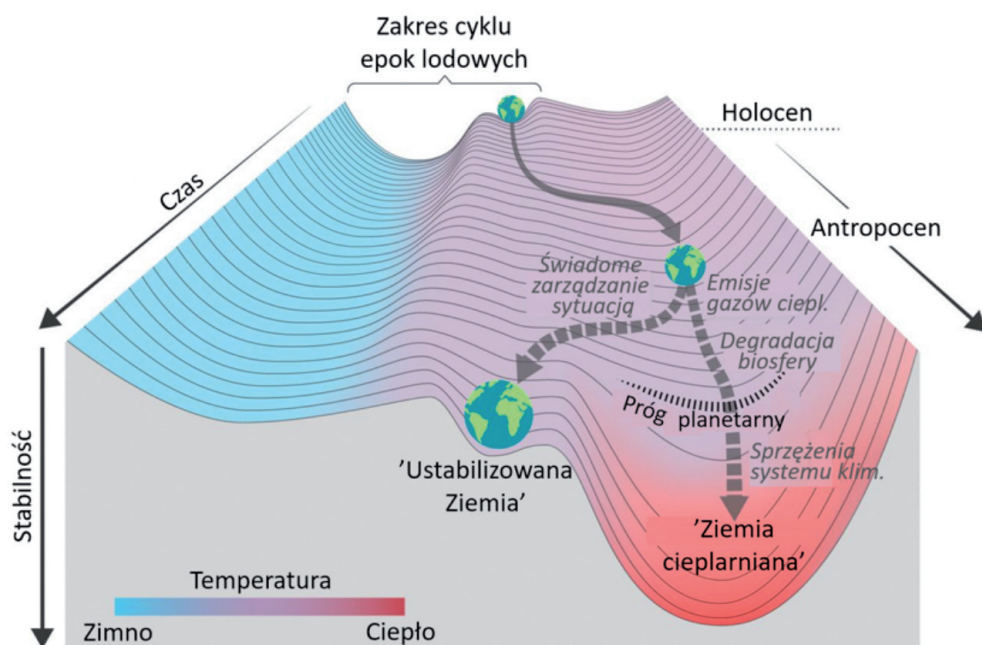
Spalając zasoby paliw kopalnych, możemy wywołać wzrost temperatury w granicach 8-12°C. Działamy szybko, coraz szybciej. Emisje gazów cieplarnianych rosną w błyskawicznym tempie. W ciągu ostatniego trzydziestolecia (a dokładniej rzecz biorąc w latach 1991-2018) zużyliśmy tyle paliw kopalnych, co w latach 1750-1990. Ta reguła, podwojenie w ilości zużywanych paliw co ok. 25-30 lat, działa od początku epoki przemysłowej. System klimatyczny nie nadąża za zmianami, nierównowaga energetyczna narasta, zmiany przyspieszają. Gdybyśmy jakimś cudem dziś wyzerowali emisje gazów cieplarnianych, Ziemia i tak ogrzewałaby się nadal, potrzebując kilkudziesięciu lat na powrót do równowagi radiacyjnej. Ale to nierealny scenariusz: wpompowujemy do systemu klimatycznego węgiel usunięty z niego w przeszłości geologicznej, w tempie przekraczającym setki tysięcy razy tempo jego naturalnego usuwania.

W najbliższych latach i dziesięcioleciach czeka nas poważna zmiana klimatu. Kontynuując dotychczasowy trend wzrostu emisji, prowadzimy jedyny w swoim rodzaju eksperyment planetarny: w ciągu najbliższego stulecia możemy „przerzucić” klimat Ziemi do stanu przypominającego ten z czasów dinozaurów (rysunek 4).



Rysunek 4. Oszacowania zmian średniej temperatury powierzchni Ziemi w czasie ostatnich 540 mln lat względem okresu bazowego 1961-1990 (średnia temp. Ziemi ok. 14°C). UWAGA: Skala pozioma liniowa w ramach każdego segmentu jest inna – im bliżej teraźniejszości, tym wyższa rozdzielczość czasowa. Granice między segmentami związane są ze znaczącymi zmianami geologiczno-matycznymi: 65 mln lat temu granica między mezozoikiem i kenozoikiem (wymarcie dinozaurów); 5,3 mln lat temu granica miocen – pliocen; 1 mln lat temu rozpoczęcie trwających ok. 100 tys. lat cykli zlodowaceń na półkuli północnej; 20 tys. lat temu – maksimum ostatniego zlodowacenia. Niebieskie linie oznaczają epizody zlodowaceń, pola jasnoniebieskie pokazują częściowe zlodowacenie, pola ciemnoniebieskie – trwałe. 34 mln lat temu powstał lądolód Antarktydy (okresowo malejąc lub wręcz znikając na przełomie oligocenu i miocenu), lądolód w Arktyce liczy sobie zaledwie kilka milionów lat (za: Popkiewicz, Kardaś, Malinowski, „Nauka o klimacie”, Wydawnictwo Nieoczywiste 2018).

Błyskawicznie wracamy do przeszłości sprzed dziesiątków milionów lat. Czy przyroda wytrzyma narzucone tempo? Czy my je wytrzymamy? A co będzie, jeśli przekroczymy próg wzrostu temperatury, za którym uwolnione zostaną uśpione na razie, rosnące przez sen zimowy epok lodowcowych potężne sprzężenia zwrotne, które zwrócą atmosferze jeszcze więcej węgla w postaci CO_2 i metanu więzionych w materii organicznej zamrożonej wieczną zmarzliną i w klatratach na dnie oceanu (rysunek 5)?



Rysunek 5. Dwa możliwe scenariusze przyszłości naszej planety: 'Ustabilizowana Ziemia' i 'Ziemia cieplarniana' naniesione na powierzchnię obrazującą stany ziemskiego systemu klimatycznego. Przemieszczamy Ziemię ze stabilnego stanu holocenu w kierunku cieplejszego klimatu, wykraczającego poza cykl epok lodowcowych. Rozwidlenie na drodze między scenariuszami 'Stabilnej Ziemi' i 'Ziemi cieplarnianej' jest zobrazowane jako dwie rozbiegające się trajektorie stanu klimatu w przyszłości (przerwane strzałki). Aktualnie ziemski system klimatyczny, wyprowadzany z dotychczasowego stanu przez nasze emisje gazów cieplarnianych, znajduje się na drodze do przekroczenia progu planetarnego, za którym system klimatyczny w wyniku działania sprzężeń zwrotnych znajdzie się na nieodwracalnej drodze do przejścia w stan 'Ziemi cieplarnianej'. Aby temu zapobiec, konieczne będzie podjęcie przez nas aktywnych działań pozwalających na obniżenie temperatury i ustabilizowanie klimatu Ziemi w stanie zbliżonym do obecnego (Steffen i in. 2018); za: <https://naukaoklimacie.pl/aktualnosci/ziemia-stabilna-czy-cieplarniana-309>.

Na pytanie, jaki próg ocieplenia trzeba przekroczyć, żeby uruchomiły się sprzężenia prowadzące do scenariuszy „Ziemi cieplarnianej”, zupełnie innej niż dziś, nieprzyjaznej dzisiejszej przyrodzie i nam, nauka na razie nie potrafi dać jednoznacznych odpowiedzi. Słońce świeci dziś nieco mocniej niż 55 czy 250 milionów lat temu. Wydaje nam się, że w tych warunkach w miarę bezpieczną granicą jest ocieplenie się naszej planety o 2°C powyżej stanu sprzed epoki przemysłowej. Poziom ten można utrzymać, jeśli większość paliw kopalnych zostawimy w głębi Ziemi. Jednak jesteśmy od tych paliw uzależnieni, a spalając je w obecnym rytmie, bezpieczną granicę 2°C przekroczymy w ciągu kilkunastu lat...

W słynnej pracy naukowej z 1957 roku, pokazującej jednoznacznie, że dwutlenku węgla w atmosferze przybywa wskutek spalania paliw kopalnych, jej autorzy Roger Revelle i Hans Suess pisali:

I tak ludzkość prowadzi teraz jedyny w swoim rodzaju eksperyment geofizyczny, który nie wydarzył się nigdy w przeszłości, ani nie będzie mógł być w przyszłości powtórzony. W ciągu kilku stuleci zwracamy atmosferze i oceanowi węgiel odłożony przez naturę w skałach osadowych w procesie, który trwał setki milionów lat.

Dokąd nas ten eksperyment zaprowadzi? Czy będziemy potrafili go przerwać, czy dokończy się sam?

PROBLEMATYKA WODNA W ŚWIECIE ZMIAN KLIMATU

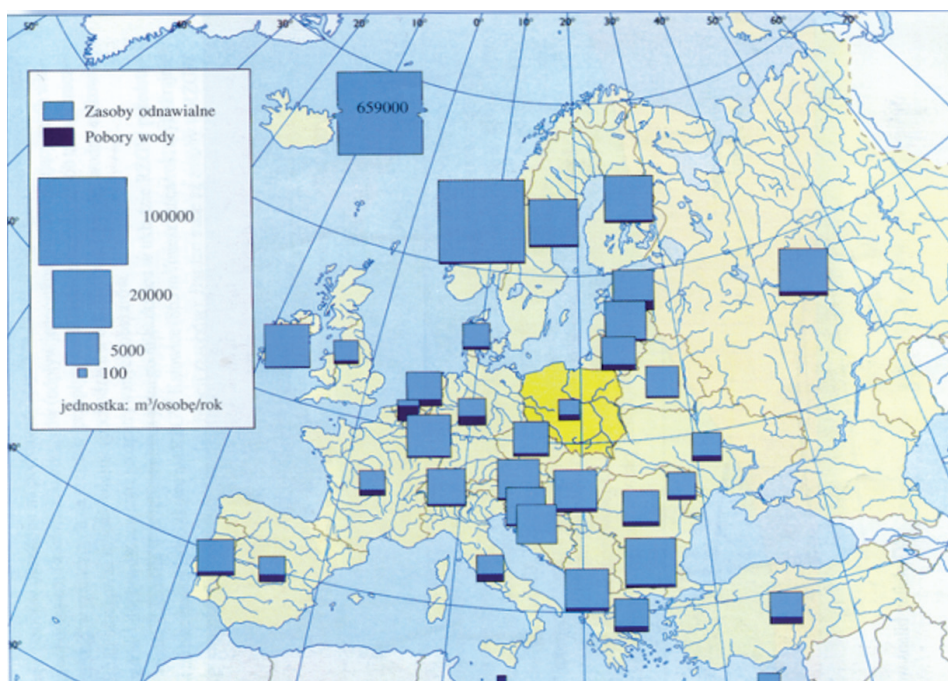
KAZIMIERZ BANASIK, TOMASZ OKRUSZKO

SZKOŁA GŁÓWNA GOSPODARSTWA WIEJSKIEGO W WARSZAWIE
INSTYTUT INŻYNIERII ŚRODOWISKA

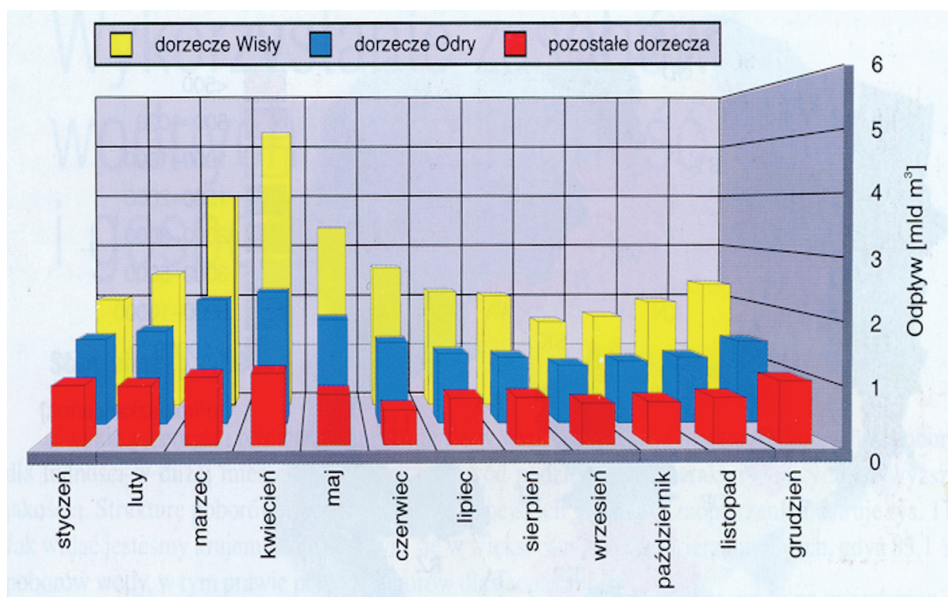
Zasoby odnawialne – stan wyjściowy

Woda jest jednym z zasobów naturalnych determinujących rozwój społeczno-gospodarczy regionów, krajów i kontynentów. Ilość zasobów wodnych dostępnych dla ludności, związana z obiegiem wody w przyrodzie, jest mocno zróżnicowana obszarowo i czasowo i silnie uzależniona od czynników klimatycznych. Odnawialne zasoby wód powierzchniowych (tj. średni roczny odpływ z powierzchni lądu do mórz i oceanów) wynoszą ok. 40 tys. km³ (EEA 1995; IMGW 1996). Przy obecnej liczbie ludności świata ok. 7,8 mld (UN 2019) w przeliczeniu na mieszkańca globu daje to ok. 5100 m³ w ciągu roku. Wskaźnik ten dla Europy jest niższy i wynosi ok 4400 m³, a dla Polski 1600 m³ wody na mieszkańca w ciągu roku, co czyni nasz kraj jednym z najuboższych w możliwości korzystania z wód powierzchniowych w skali europejskiej (rys. 1).

Podane liczby obrazują zasoby uśrednione z wielu lat. Zasoby wodne nie są jednak wielkością statyczną, zmieniają się w czasie i w przestrzeni, a ich zmienność związana jest ze zmiennością parametrów klimatycznych. Rozkład czasowy odpływu średniego z obszaru Polski, przedstawiony na rysunku 2, wskazuje, iż w miesiącu najbardziej zasobnym, którym jest marzec, mamy 2,6 razy więcej wody niż we wrześniu, który z kolei jest miesiącem o najniższych zasobach odnawialnych. Duża zmienność występuje także pomiędzy poszczególnymi latami. I tak, dla przykładu średnie roczne zasoby odnawialne w dorzeczu Wisły, mierzone przepływem w Tczewie, w 1975 roku (najbardziej mokrym w okresie 1951-1990) były 1,5 razy większe niż w roku przeciętnym i 2,4 razy większe niż w roku najmniej zasobnym w wodę, jakim był rok 1952 (IMGW 1997). Reasumując, skromne zasoby



Rysunek 1. Zasoby wodne Europy (IMGW 1996)



Rysunek 2. Rozkład czasowy odpływu średniego z obszaru Polski (IMGW 1996)

odnawialne i ich duża zmienność powodują, że okresowo występują problemy w zaspokojeniu potrzeb użytkowników. Obecnie zdarza się to w upalne lata, kiedy zwiększone zapotrzebowanie na energię elektryczną (potrzebną m.in. do pracy klimatyzatorów i lodówek) wymusza konieczność zwiększenia poboru wody przez głównego użytkownika ‘przemysłowego’ – elektrownie ciepłne – do chłodzenia turbin. W najbliższej przyszłości spodziewać się należy z jednej strony zwiększenia zapotrzebowania na wodę do produkcji rolniczej, z drugiej zaś zwiększonej fluktuacji przepływów (dostępnych zasobów), w tym głębszych niżówek, spowodowanych zmianami klimatycznymi. Średnioroczne zapotrzebowanie na wodę (w km³) przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Zapotrzebowanie na wodę poszczególnych gałęzi gospodarki w Polsce średnio w roku w km³ (za: Mioduszewski 2009)

Użytkownik	Pobór całkowity	Zużycie
Przemysł	8,5	0,8
Nawodnienia	0,3	0,3
Stawy rybne	0,8	0,2
Wodociągi	2,1	0,4
Razem	11,7	1,7
Zrzut	10	

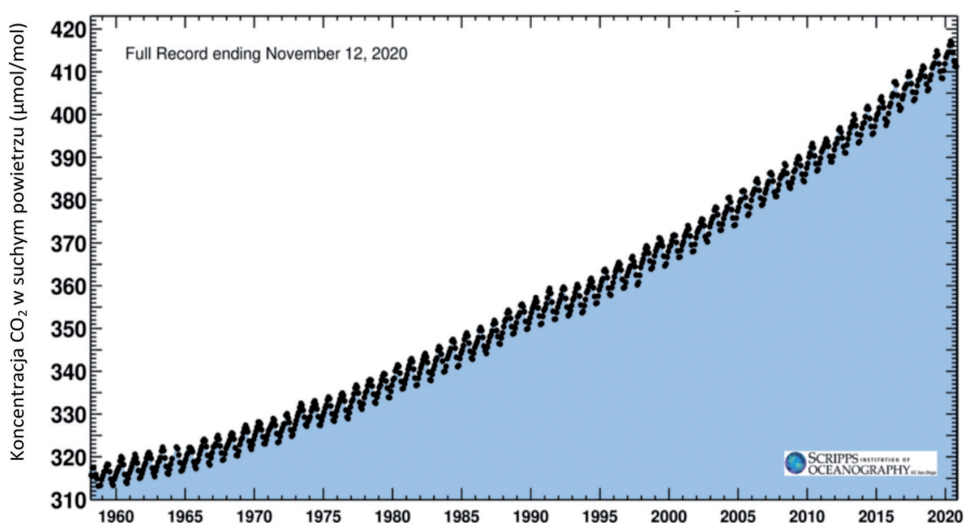
Zmienności odnawialnych zasobów wodnych (przepływów) są dużo większe, kiedy rozpatruje się krótsze okresy i zlewnie rzeczne o mniejszej powierzchni. Również w małych zlewniach bardziej widoczne są zmiany w zasobach odnawialnych wywołane zmianami parametrów klimatycznych i czynnikami antropogenicznymi. Dlatego też, po krótkim przeglądzie niektórych badań i prognoz dotyczących skali ponadlokalnej, przedstawione będą wyniki własne monitoringu wybranych parametrów hydrologicznych w małej zlewni badawczej położonej w południowej części Mazowsza.

Problemy wodne w świetle zmian klimatycznych to kwestie zmian zasobów wodnych oraz sytuacji ekstremalnych, czyli przepływów okresów niżówkowych i powodziowych.

Monitoring i prognozy globalne

Jednym z podstawowych wskaźników zanieczyszczenia atmosfery, skutkującego ociepleniem klimatu bądź ogólniej zmianami klimatycznymi, jest zawartość w atmosferze dwutlenku węgla. Pomiary zawartości CO₂, prowadzone przez liczne instytucje, potwierdzają gwałtowny wzrost stężenia tego wskaźnika. Wykres pokazany na rysunku 3, znany powszechnie jako ‘krzywa Keelinga’, przedstawiający wyniki

monitoringu zawartości CO₂ w suchym powietrzu, prowadzonego w obserwatorium NOAA (Amerykańskiej Narodowej Służby Oceanicznej i Meteorologicznej) Mauna Loa na Hawajach od 1958 roku, wskazuje na 32-procentowy wzrost stężenia tego związku, tj. z 315 ppm w 1958 roku do 417 ppm w maju 2020 roku (NOAA 2020). Przykład ten jest istotny także z tego powodu, że w podobnym terminie, bo cztery lata później – w lipcu 1962 roku, w ramach badań hydrologicznych ówczesnej Katedry Budownictwa Wodnego SGGW – prowadzonych w sposób nieprzerwany do chwili obecnej – rozpoczęto obserwacje hydrologiczne w profilu Płachty Stare na Zagożdżoncu na obrzeżach Puszczy Kozienickiej (Dębski i in. 1963).

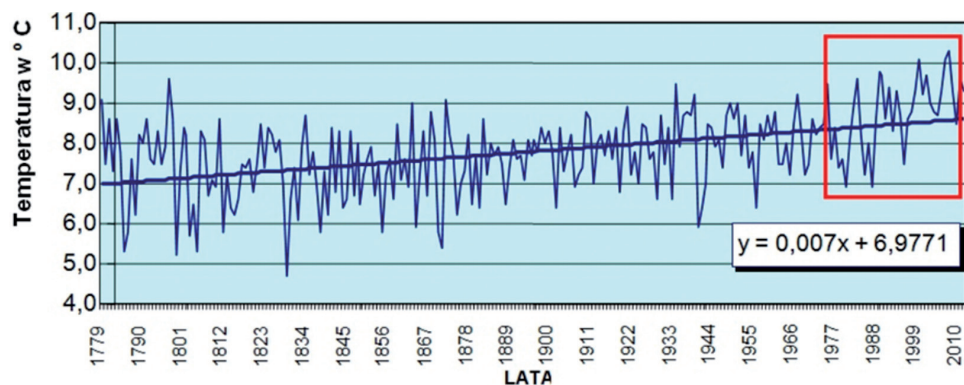


Rysunek 3. Wyniki badań średnich miesięcznych koncentracji CO₂ w okresie 1958-2020 w obserwatorium NOAA Mauna Loa na Hawajach (NOAA 2020)

Zmiana temperatury powietrza wynikająca ze zmian klimatu ma zasadniczy wpływ na obieg wody w przyrodzie, a tym samym na zmienność elementów bilansu wodnego. Wyższa temperatura zwiększa parowanie, wpływa na terminy i intensywności roztopów – wpływa na zmianę rodzaju opadów. Ocieplenie atmosfery w skali globalnej zwiększa jej pojemność wodną, co skutkuje zmianami czasowymi i obszarowymi występowania opadów.

Analiza obserwacji temperatury w Warszawie z okresu ponad dwustuletniego (1779-2012) przeprowadzonych w ramach projektu KLIMADA (MOS 2013) wskazuje na trend rosnący temperatury o 0,7°C/100 lat (rys. 4). Jednakże dwa ostatnie dziesięciolecia XX wieku i pierwsza dekada XXI wieku były najcieplejszymi w 230-letniej historii obserwacji meteorologicznych w Warszawie, ze średnimi rocznymi wartościami temperatury, odpowiednio dla kolejnych dziesięcioleci: +8,7,

+8,9 i +9,2°C. Najcieplejszymi, w porównaniu do średniej 7,7°C z okresu 1779-2000, były z kolei lata: 2008 – ze średnią roczną 10,2°C, 2000 – (10,0°C) i 2007 (10,0°C).



Rysunek 4. Średnie roczne temperatury powietrza w °C w Warszawie-Observatorium w okresie 1779-2012 (MOS 2013)

Analiza opadów przeprowadzona w ramach tego projektu nie wykazała jednokierunkowych tendencji. Zmieniła się natomiast struktura opadów, głównie w cieplej porze roku; opady są bardziej gwałtowne, krótkotrwałe, niszczycielskie, powodujące coraz częściej gwałtowne powodzie. Jednocześnie zanikają opady poniżej 1 mm/dobę (MOS 2013).

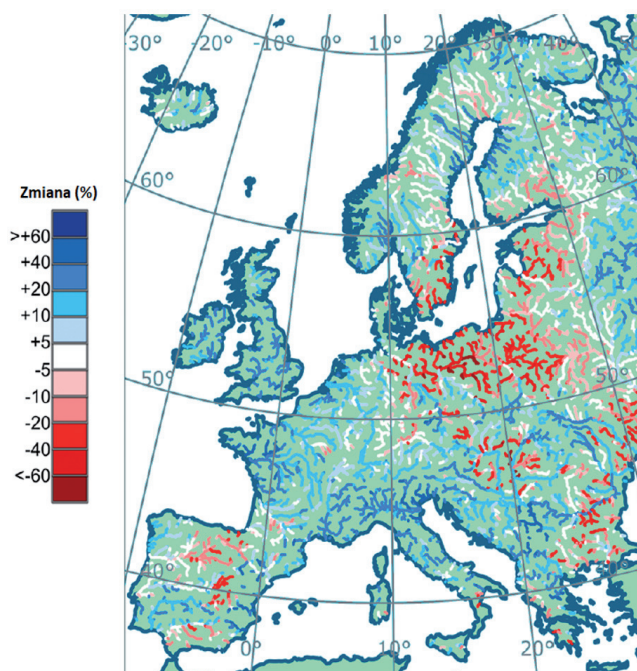
Analizy dobowych wartości przepływów maksymalnych rocznych w dużych i średnich rzekach europejskich z okresu 1960-2010 (EEA 2013) wykazała, że przepływy o tej charakterystyce malały w rzekach na zdecydowanej większości obszaru naszego kraju. Jednakże znaczący wzrost maksymalnego rocznego przepływu odnotowano na odcinku górnej Wisły i jej prawobrzeżnych dopływów (do 9% na dekadę), z tym że nieco mniejszy wzrost odnotowano w potokach tatrzańskich i w Beskidach (do 6% na dekadę). Maksymalne roczne przepływy wzrastały także w rozpatrywanym okresie w rzekach sudeckich oraz na rzekach Przymorza (miejscami do 6% na dekadę). Przedstawione zmiany maksymalnych przepływów rocznych dużych i średnich rzek są wynikiem wezbrań wywołanych deszczami o długim czasie trwania lub roztopami. Duże wezbrania w małych rzekach są wynikiem deszczy konwekcyjnych – krótkotrwałych o dużym natężeniu. Wezbrania w małych zlewniach, rozpatrując długookresowo, zmieniać się będą wraz ze zmieniającą się charakterystyką opadów maksymalnych, a także wraz ze zmianami w użytkowaniu zlewni (Banasik 2010).

W omawianym powyżej opracowaniu (EEA 2013) przedstawiono także możliwe zmiany w przepływach maksymalnych o okresie powtarzalności 100 lat (tj. o prawdopodobieństwie przewyższenia $p = 1\%$; $WQ_{1\%}$) przy dwóch założeniach

wzrostu temperatury do 2100 roku, tj. o 1,5 i 3,0°C. Prognozy te wykazują znaczący wzrost przepływów o tej charakterystyce na większości rzek naszego kraju. Przepływy $WQ_{1\%}$ nie wzrosną jedynie w dorzeczach Narwi, Wieprza i górnej części dorzecza Noteci. Wzrost przepływów powodziowych prognozuje się na pozostałych większych i średnich rzekach Polski, z tym że przy projekcji wzrostu temperatury o 3°C wzrosty te są bardziej znaczące i osiągają wartości – w zlewni górnej Wisły i odcinkach środkowej Wisły i górnej Odry – do 30% większe w stosunku do tej wielkości ustalonej dla okresu bazowego (1981-2010).

Przepływy $WQ_{1\%}$ i przepływy o zbliżonym prawdopodobieństwie przewyższenia to przepływy projektowe (miarodajne, kontrolne), wykorzystywane przy wymiarowaniu obiektów komunikacyjnych (mosty, przepusty) i hydrotechnicznych (jazy, zapory). Zmiany klimatyczne wymuszają ‘już dzisiaj’ konieczność prowadzenia badań, analiz i obliczeń sprawdzających, aby zdążyć z adaptacji tych obiektów przed katastrofą.

Innym przykładem przedstawiającym możliwe zmiany przepływów $WQ_{1\%}$ (rys. 5) jest opracowanie Rojasa i in. (2012), podane za Hallem i in. (2014). Istniejące między opracowaniami różnice w zmianach przepływu $WQ_{1\%}$ mogą wynikać także z innego okresu odniesienia (tu: 1961-1990).



Rysunek 5. Przykładowa ocena zmian przepływów maksymalnych 100-letnich (o prawdopodobieństwie przewyższenia $p = 1\%$) dla dużych i średnich rzek Europy w latach 2071-2100 w odniesieniu do okresu 1961-1990 (wg Rojasa i in. 2012, za: Hallem i in. 2014)

Badania modelowe w Polsce, przeprowadzone w ostatnich latach w Katedrze Inżynierii Wodnej SGGW, dotyczyły następujących zlewni: Narwi (Piniewski i in. 2014), Marcinkowski i in. 2017), Pilicy powyżej zbiornika (projekt LIFE+EkoRob), Redy (Piniewski i in. 2014) oraz Wisły i Odry (Piniewski i in. 2017). W badaniach wykorzystano model SWAT (Arnold i in. 2008) oraz zespół projekcji klimatycznych, m.in. CPLFD-GDPT5, skalowane dla obszaru Polski (Berezowski i in. 2016). Analizując wyniki badań modelowych, można zauważyć następujące prawidłowości: (1) najsilniejszy efekty w zakresie zmian odpływu wbadanych zlewniach daje czynnik klimatyczny, (2) zmiana użytkowania terenu, przez zwiększenie obszaru użytków ornych bądź zurbanizowanych, daje efekt lokalny i znacząco mniejszy od wywołanego czynnikami klimatycznymi, (3) zwiększenie odpływu i nawożenia (przy zachowaniu lekko kwaśnych warunków w glebie) daje silny efekt w postaci zwiększenia ładunku związków azotu i fosforu w rzekach, (4) zmiana reżimu hydrologicznego może być szczególnie istotna dla ichtiofauny i siedlisk bagiennych terenów zalewowych (O'Keefe i in. 2018; O'Keefe i in. 2019).

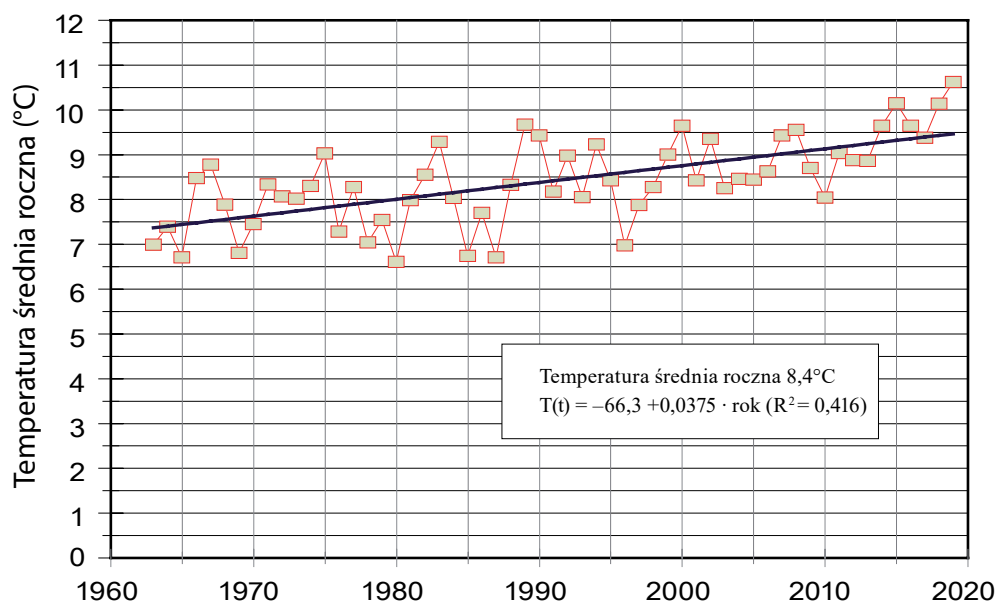
Monitoring lokalny – przepływy w małej zlewni na Mazowszu na tle zmian parametrów klimatycznych

Zlewnia Zagożdżonki położona jest w południowej części Niziny Mazowieckiej, należącej do najbardziej posusznych regionów kraju, charakteryzowanej średnim odpływem jednostkowym (oznaczanym przez S_q), na przeważającej części obszaru, w granicach od 3 do 4 l/s/km², przy średniej krajowej 5,2 l/s/km² i średniej europejskiej 9,5 l/s/km² (Bartnik, Jokiel 2012; Baran-Gargul 2020). Zagożdżonka jest lewostronnym dopływem Wisły, z ujściem między Radomką a Zwoleńką, w okolicach Koziennic. Badanie w profilu pomiarowym Płachty Stare (N: 51°26'43.8"; E: 21°27'35.6") na Zagożdżonce, zamykającym zlewnię o powierzchni 82,4 km², z ok. 60-procentowym udziałem użytków rolnych i ok. 40-procentowym powierzchni leśnych, zainicjowane zostały w lipcu 1962 roku (Dębski i in. 1963) w celu określenia możliwości zaspokojenia potrzeb wodnych rozwijających się wówczas Zakładów Chemicznych „Pronit” w Pionkach koło Radomia. Z czasem, wraz ze wzrostem znaczenia badań środowiskowych, w tym szczególnie oddziaływania zmian klimatu i użytkowania terenu na zmienność i jakość odnawialnych zasobów wodnych, badania hydrologiczne w zlewni zostały znacznie rozszerzone i zintensyfikowane (Banasik 1994; Ciepielowski i in. 1995; Byczkowski i in. 2001; Hejduk, Igras 2011; Banasik i in., 2013; Hejduk i in. 2018; Kaznowska, Banasik 2020).

Precyzyjny, prowadzony przez Katedrę Inżynierii Wodnej i Geologii Stosowanej SGGW monitoring przepływów dobowych od roku hydrologicznego 1963 oraz ustalone dla badanej zlewni, także z wykorzystaniem danych IMGW, informacje

o opadach i temperaturach pozwalają zanalizować wieloletnią zmienność charakterystyk hydrologicznych na tle charakterystyk klimatycznych (Kaznowska i in. 2019; Krajewski i in. 2019). Analiza danych z lat 1963-2019 wskazuje m.in. na zmniejszanie się zasobów odnawialnych, przedstawionych dalej przez dwie miary względne odpływu, tj. warstwę odpływu H (wyrażoną w mm/rok) i średni odpływ jednostkowy S_q ($l/s/km^2$), oraz na zmniejszanie się przepływów mniejszych od średniego, przedstawionych dalej na przykładzie średniego niżówkowego przepływu 14-dniowego – Nq_{14} ($l/s/km^2$).

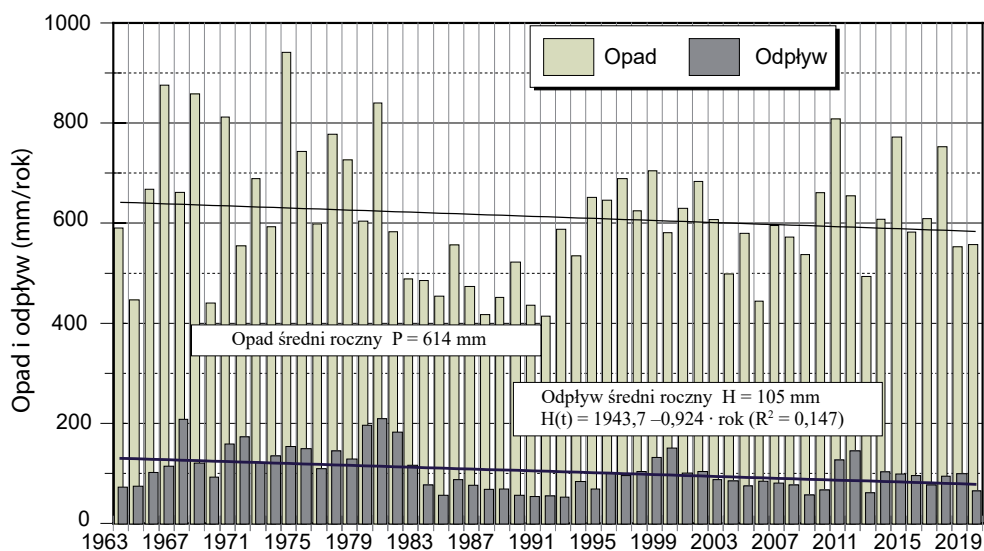
Średnie roczne temperatury powietrza ze stacji IMGW Puławy, znajdującej się w pobliżu rozpatrywanej zlewni, przedstawiono na rysunku 6, natomiast roczne warstwy opadu i odpływu dla zlewni Zagożdżonki po profil Płachty Stare na rysunku 7.



Rysunek 6. Średnie roczne temperatury powietrza w Puławach dla okresu 1963-2019 (trend rosnący)

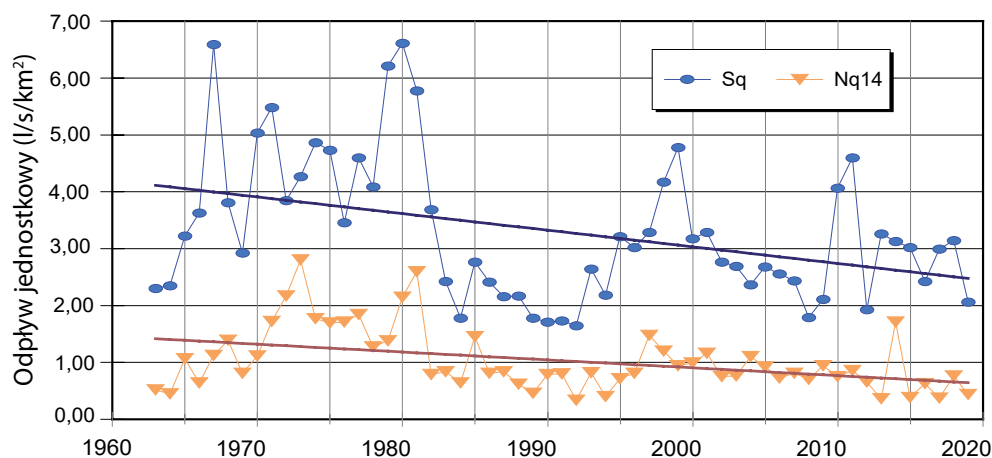
W analizowanym okresie średnia roczna temperatura powietrza wynosiła $8,4^{\circ}C$, a w poszczególnych latach zmieniała się w zakresie od $6,61^{\circ}C$ w 1980 roku do $10,63^{\circ}C$ w 2019 roku. Znamienna jest tendencja wzrostowa temperatury wynosząca ok. $0,037^{\circ}C/rok$. Podobną tendencję wzrostową temperatury dla wielolecia 1952-2018 dla województwa zachodniopomorskiego przedstawiono w pracy Świątek i Walczykiewicza (2019). Średnie roczne warstwy opadu i odpływu dla badanego obszaru wynoszą odpowiednio 614 i 105 mm. Największy opad roczny (wynoszący 941 mm) zarejestrowano w 1974 roku, a najmniejszy (wynoszący 414 mm)

w 1991 roku). Największy odpływ roczny (wynoszący 209 mm) zarejestrowano w 1980 roku, a najmniejszy (wynoszący 52 mm) w 1992 roku. Zarówno opady, jak i odpływy wykazują tendencję spadkową w analizowanym wieloleciu (rys. 7). Wieloletnią zmienność odpływów jednostkowych – średniego rocznego (S_q) i niżówki 14-dniowej (N_{q14}) – przedstawiono na rysunku 8. Jak wspomniano, Nizina Mazowiecka należy do obszarów ubogich w wodę. Wyznaczona dla Zagożdżonki średnia z wielolecia wartość odpływu jednostkowego wynosi $3,30 \text{ l/s/km}^2$ (przy średniej dla Polski $5,2 \text{ l/s/km}^2$). Odpływy jednostkowe podlegają także zmienności w ciągu roku, a wartości najniższe występują zwykle w miesiącach letnich, kiedy woda z rzeki przydałaby się do nawodnień. Dla porównania średnia wartość z niżówek 14-dniowych w zlewni Zagożdżonki wynosi $1,03 \text{ l/s/km}^2$, co stanowi 31,6% wartości S_q .



Rysunek 7. Roczne warstwy opadów i odpływów, w zlewni rzeki Zagożdżonki po profil Płachty Stare w latach 1963-2019 (trend malejący odpływu i tendencja malejąca opadu)

Ocenę tendencji zmian przedstawianych charakterystyk oparto na analizie istotności statystycznej trendu za pomocą nieparametrycznego testu Manna-Kendalla (Banasik i in. 2013). Badania wykazały trend rosnący temperatury powietrza ($0,37^\circ\text{C/dekade}$) oraz trend malejący zasobów odnawialnych (odpowiednio warstwy odpływu i średniego odpływu jednostkowego), a także przepływów niższych od średniego, co w odniesieniu do średniego niżówkowego przepływu 14-dniowego pokazano na rysunku 8.



Rysunek 8. Średnie roczne odpływy jednostkowy (Sq), oraz średnie odpływy niżówkowe 14-dniowe (Nq14) w zlewni Zagożdżonki po profil Płachty Stare w okresie 1963-2019 (trendy malejące)

Trend malejący zasobów odnawialnych, objawiający się obniżaniem warstwy odpływu o 0,924 mm/rok (rys. 7), co odpowiada zmniejszaniu się średniego odpływu jednostkowego 0,029 l/s/km²/rok (rys. 8), jak i odpływów mniejszych od średniego, jest głównie przypisywany czynnikom klimatycznym, jednakże nie bez znaczenia może być także zmiana użytkowania zlewni w ostatnich 30 latach, tj. wzrost ilości terenów zalesionych o ok. 20% powierzchni zlewni kosztem użytków rolnych (Wasilewicz i in. 2018; Krajewski i in. 2019).

Literatura

- Arnold J.G., Srinivasan R., Muttiah R.S., Williams J.R. 1998. Large area hydrologic modeling and assessment, part I: Model development. *Journal of the American Water Resources Association* 34: 73 <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1998.tb05961.x>.
- Banasik K. 1994. Model sedimentogramu wezbrania opadowego w małej zlewni rolniczej. *Rozprawy Naukowe i Monografie. SGGW*, 191, 120 s.
- Banasik K 2010. Powódzie – rosnące zagrożenie. [w:] Centrum Wodne SGGW – laboratoria przyszłości, s. 31-36. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Banasik K., Hejduk L., Hejduk A., Kaznowska E., Banasik J., Byczkowski A. 2013. Long-term variability of runoff from a small catchment in the region of the Kozienice Forest. *Sylvan*, 157 (8): 578-586.
- Baran-Gurgul K. 2020. Niżówki maksymalne w prawobrzeżnej części zlewni Górnej Wisły. Praca doktorska, maszynopis, Politechnika Krakowska.
- Bartnik A., Jokiel P. 2012. Geografia wezbrań i powodzi rzecznych. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.

- Berezowski T., Szczęśniak M., Kardel I., Michałowski R., Okruszko T., Mezghani A., Piniewski M. 2016. CPLFD-GDPT5: high-resolution gridded daily precipitation and temperature data set for two largest Polish river basins. *Earth System Science Data*, 8, 127-139, 2016, doi: 10.5194/essd-8-127-2016 (<http://www.earth-syst-sci-data.net/8/127/2016/>).
- Byczkowski A., Banasik K., Hejduk L., Mandes B. 2001. Wieloletnie tendencje zmian procesów opadu i odpływu w małych zlewniach nizinnych (na przykładzie rzeki Zagożdżonki). [w:] *Dynamika obiegu wody w zlewniach rzecznych*, pod red. J. Jaworskiego i J. Sekutnickiego. Polskie Towarzystwo Geofizyczne.
- Ciepielowski A. (red.) 1995. *Metodyka zagospodarowania zasobów wodnych w małych zlewniach rzecznych*. Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 152 s.
- Dębski K., Byczkowski A., Kiciński T., Wajcovich R., Weirauch J. 1963. *Studia hydrologiczne w dorzeczu rzeki Zagożdżonki*. Maszynopis – praca na zlecenie Z.Ch. „Pronit” w Pionkach.
- EEA 1995. European Environmental Agency. “Europe’s Environment”.
- EEA 2017. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/river-floods-3/assessment> (dostęp 10.XI.2020).
- Hejduk L., Igras J. (red.) 2011. *Dobre praktyki ochrony zlewni rzecznych w świetle Dyrektywy Azotanowej i innych standardów Unii Europejskiej*. Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 124 s.
- Hejduk A., Kaznowska E., Hejduk L., Gładecki J. 2018. Reżim opadów i przepływów w zlewni rzeki Zagożdżonki po profile Płachty Stare i Czarna. *Woda – Środowisko – Obszary Wiejskie*, 18 (1): 37-55.
- IMGW 1996. Stan i wykorzystanie zasobów Wód powierzchniowych Polski (red. Zieliński J., Słota H., Madej P., Korol L., Konieczny R., Grela J.). *Materiały Badawcze*, 20.
- IMGW 1997. Przepływy charakterystyczne głównych rzek polskich w latach 1951-1990 (red. Fal B., Bogdanowicz E., Czernuszenko W., Dobrzyńska I., Koczyńska A.). *Materiały Badawcze*, 21.
- Hall J., Arheimer B., Borga M., Brázdil R., Claps P., Kiss A., Kjeldsen T.R., Kriauciuniene J., Kundzewicz Z.W., Lang M., Llasat M.C., Macdonald N., McIntyre N., Mediero L., Merz B., Merz R., Molnar P., Montanari A., Neuhold C., Parajka J., Perdigão R.A.P., Plavcová L., Rogger M., Salinas J.L., Sauquet E., Schär C., Szolgay J., Viglione A., Blöschl G. 2014. Understanding flood regime changes in Europe: a state-of-the-art assessment. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 18, 2735–2772, www.hydrol-earth-syst-sci.net/18/2735/2014/, doi: 10.5194/hess-18-2735-2014 (dostęp 10.11.2020).
- Kaznowska E., Banasik K. 2020. Susze – rosnące zagrożenie: wieloletnie obserwacje w zlewni badawczej rzeki Zagożdżonki. *Agricola*, 108: 22-23.
- Kaznowska E., Banasik K., Hejduk A., Krajewski A., Wasilewicz M., Hejduk L., Gładecki J. 2019. Charakterystyki hydrologiczne małej zlewni południowego Mazowsza od połowy XX wieku. [w:] *Współczesne problemy klimatu Polski* (pod redakcją L. Chojnackiej-Ożgi i H. Lorenc), s. 135-146. IMGW-PIB.

- Krajewski A., Sikorska-Senoner A., Ranz R., Banasik K. 2019. Long-term changes of hydrological variables in a small lowland watershed in central Poland. *Water* 11 (3). doi: 10.3390/w11030564.
- Marcinkowski P., Piniewski M., Kardel I., Szcześniak M., Benestad R., Srinivasan R., Ignar S., Okruszko T. 2017. Effect of Climate Change on Hydrology, Sediment and Nutrient Losses in Two Lowland Catchments in Poland. *Water*, Volume: 9, Issue: 3, doi: 10.3390/w9030156.
- Mioduszewski W. 2009. Water for agriculture and natural environment. *Journal of Water and Land Development* No 13b: 123-132.
- MOS 2015. <http://klimada.mos.gov.pl/zmiany-klimatu-w-polsce/tendencje-zmian-klimatu/> (dostęp 10.11.2020).
- NOAA 2020. <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/> (dostęp 10.11.2020).
- O'Keeffe J., Marcinkowski P., Utratna M., Piniewski M., Kardel I., Kundzewicz Z.W., Okruszko T. 2019. Modelling Climate Change's Impact on the Hydrology of Natura 2000 Wetland Habitats in the Vistula and Odra River Basins in Poland. *Water* 11, 2191, doi: 10.3390/w1102191.
- O'Keeffe J., Piniewski M., Szcześniak M., Ogłęcki P., Parasiewicz P., Okruszko T. 2018. Index-based analysis of climate change impact on streamflow conditions important for Northern Pike, Chub and Atlantic salmon. *Fisheries Management and Ecology*, 2018, doi 10.1111/fme.12316.
- Piniewski M., Laizé C.L.R., Acreman M.C., T. Okruszko T., Schneider C. 2014. Effect of climate change on environmental flow indicators in the Narew basin, Poland. *Journal of Environmental Quality*, 43: 155–167, doi: 10.2134/jeq2011.0386.
- Piniewski M., Okruszko T., Acreman M.C. 2014. Environmental water quantity projections under market-driven and sustainability-driven future scenarios in the Narew basin, Poland. *Hydrological Sciences Journal*, 59 (3–4): 1–19.
- Piniewski M., Kardel I., Giełczewski M., Marcinkowski P., Okruszko T. 2014. Climate change and agricultural development: adapting Polish agriculture to reduce future nutrient loads in a coastal watershed. *Ambio*, 43 (5): 644–660, doi: 10.1007/s13280-013-0461-z.
- Piniewski M., Szcześniak M., Kardel I., Berezowski T., Okruszko T., Srinivasan R., Schuler D.V., Kudzewicz Z.W. 2017. Hydrological modelling of the Vistula and Odra river basins using SWAT. *Hydrological Sciences Journal-Journal Des Sciences Hydrologiques*, Volume: 62 Issue: 8: 1266-1289, doi: 10.1080/02626667.2017.1321842.
- Rojas R., Feyen L., Bianchi A., Dosio A. 2012. Assessment of future flood hazard in Europe using a large ensemble of biascorrected regional climate simulations. *J. Geophys. Res.-Atmos.*, 117, D17109, doi: 10.1029/2012JD017461.
- Świątek M., Walczykiwicz S. 2019. Wyjątkowość hydrometeorologiczna lat 2017 i 2018 na tle zmieniającego się klimatu. [w:] *Współczesne problemy klimatu Polski* (pod redakcją L. Chojnackiej-Ożgi i H. Lorenc), 147-160. IMGW-PIB.
- UN 2019. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. *World Population Prospects 2019*, Online Edition. Rev. 1.

Wasilewicz M., Hejduk A., Kaznowska E., Glegoła M. 2018. Zmiany użytkowania małej zlewni nizinnej w ostatnich 45 latach w kontekście obserwowanych wieloletnich zmian odpływu. II Krajowy Kongres Hydrologiczny, SGGW, Warszawa, 21 września 2018 r.

ZMIANY KLIMATU I ICH NASTĘPSTWA DLA EKOSYSTEMÓW LEŚNYCH

BOGDAN BRZEZIECKI

SZKOŁA GŁÓWNA GOSPODARSTWA WIEJSKIEGO W WARSZAWIE
INSTYTUT NAUK LEŚNYCH

Uwagi wstępne

Już od długiego czasu wiodącym tematem międzynarodowej dyskusji dotyczącej środowiska są różnego rodzaju **zmiany o charakterze globalnym** (*global change*) i ich konsekwencje dla przyrody i człowieka. Przyjmuje się, że w skali całej Ziemi w przypadku ekosystemów lądowych największe znaczenie ma pięć czynników (w podanej niżej kolejności): 1) zmiany form użytkowania ziemi (w tym m.in. wylesienia) (*land-use change*); 2) antropogeniczne zmiany klimatu (*climate change*); 3) depozycja związków azotowych (*nitrogen deposition*); 4) inwazje biologiczne (*biotic exchange, biological invasions*); 5) zwiększona koncentracja CO₂ w atmosferze (*elevated carbon dioxide concentrations*) (Sala i in. 2000). Czynniki te nie są niezależne, lecz w wielu przypadkach warunkują się wzajemnie, np. wylesienia wpływają na wielkość stężenia CO₂ w atmosferze, a globalne zmiany klimatyczne oraz zmiany form użytkowania ziemi sprzyjają rozprzestrzenianiu się obcych gatunków o charakterze inwazyjnym.

Coraz większą liczbę zwolenników zdobywa koncepcja **antropocenu**, jako nowej epoki geologicznej, w której dominującą rolę odgrywa działalność człowieka. Przejawami tej działalności są takie zjawiska, jak intensywne procesy urbanizacyjne, szybkie wyczerpywanie paliw kopalnych gromadzonych w naturze przez setki milionów lat, powszechne zanieczyszczenie środowiska (powietrza, wód i gleb), czy też emisja gazów cieplarnianych. Według niektórych autorów antropocen zastąpił holocen już 200 lat temu, inni umiejscawiają jego początek bliżej, tj. ok. 50 lat temu (Zalasiewicz i in. 2015).

Świadomość problemów, jakie rodzą wspomniane wyżej czynniki i procesy, doprowadziła do powstania wielu inicjatyw i konwencji międzynarodowych (np. Konwencja klimatyczna, Konwencja o bioróżnorodności i inne), stawiających sobie za cel jeśli nie powstrzymanie, to przynajmniej osłabienie (mitygację) negatywnych skutków tych wszystkich zjawisk dla przyrody i dla człowieka. W wielu wiodących ośrodkach badań naukowych na świecie opracowano scenariusze dotyczące przyszłych zmian w zakresie np. stężenia gazów szklarniowych w atmosferze, przyszłych zmian klimatycznych, zmian w zakresie form użytkowania ziemi i zmian w funkcjonowaniu biocenoz oraz ich konsekwencji dla globalnej bioróżnorodności (Sala i in. 2010). Zjawiska i procesy, o których tu mowa, były i są też przedmiotem licznych kongresów, konferencji i sympozjów naukowych, motywem przewodnim wielu projektów badawczych o międzynarodowym i krajowym zasięgu¹ oraz wiodącym tematem niezliczonych publikacji zarówno ściśle naukowych, jak i o bardziej popularnym czy nawet publicystycznym charakterze.

Pośród wszystkich czynników składających się na zmiany o charakterze globalnym największą uwagę i zainteresowanie, nie tylko specjalistów reprezentujących różne dziedziny nauki i gospodarki, ale również polityków i szerokich kręgów społecznych, wzbudza dzisiaj problem zmian klimatu zachodzących pod wpływem działalności człowieka (spowodowanych intensywną emisją tzw. gazów cieplarnianych do atmosfery, pochodzących przede wszystkim ze spalania paliw kopalnych, tj. węgla, ropy i gazu) (Malmheimer i in. 2008). Przyczynił się do tego m.in. obserwowany w ostatnich dziesięcioleciach wzrost częstości różnego rodzaju anomalii pogodowych, takich jak huragany, powodzie, intensywne i długotrwałe susze, a także takich zjawisk, jak zanik lodowców i pokrywy śnieżnej w górach oraz na biegunach, czy też wysychanie oraz kurczenie się jezior i rzek (Glick, Montaigne i Morell 2004). Przekonanie, że antropogeniczne zmiany klimatu są jednym z głównych czynników zagrażających człowiekowi i przyrodzie w skali globalnej jest dzisiaj bardzo szeroko rozpowszechnione. Systematycznie rośnie też świadomość, że ludzkość musi jak najszybciej podjąć odpowiednie działania, których celem byłoby jeśli nie zahamowanie, to przynajmniej osłabienie negatywnych następstw zmian klimatu i ograniczenie ich zakresu.

1 Przykładem jest projekt CARE4C – *Carbon smart forestry under climate change*, realizowany obecnie (lata 2018-2021) w ramach programu HORYZONT 2020. Nadrzędnym celem tego projektu jest wypracowywanie rozwiązań, dzięki którym zwiększy się zdolność lasów zagospodarowanych do pochłaniania CO₂ z atmosfery i do jego (względnie) trwałego związania w ekosystemach leśnych oraz w produktach z drewna. W realizacji tego projektu uczestniczą także przedstawiciele Instytutu Nauk Leśnych SGGW w Warszawie.

Zmiany o charakterze globalnym a lasy

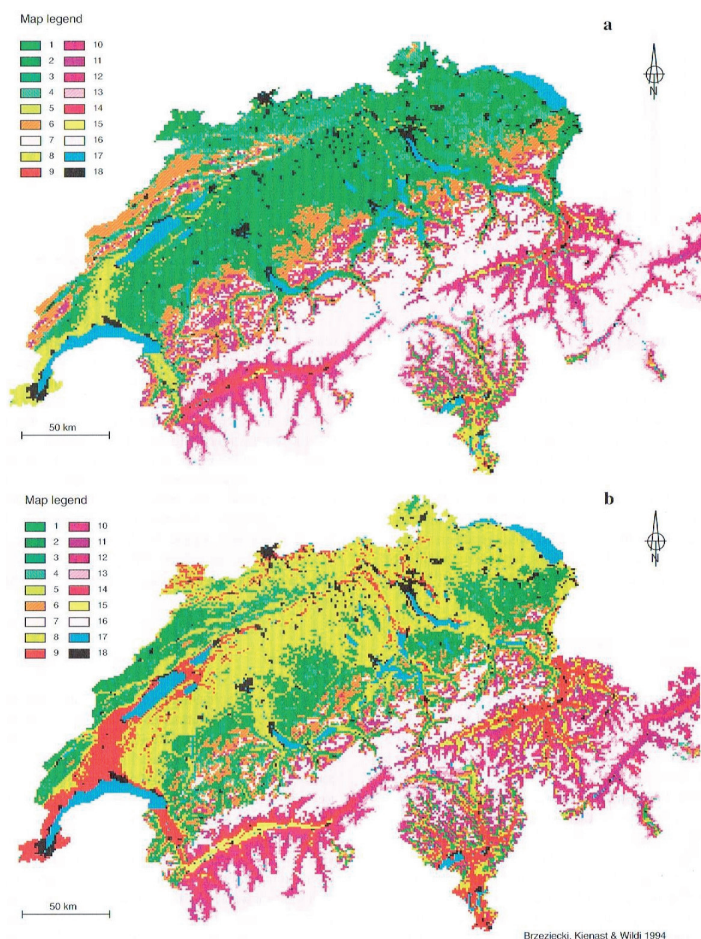
Zagadnienie wpływu już zachodzących i przewidywanych w przyszłości zmian o charakterze globalnym, ze szczególnym uwzględnieniem wieloletnich trendów klimatycznych, na ekosystemy leśne było i jest przedmiotem wielu analiz i badań na poziomie krajowym i międzynarodowym. Również w naszym kraju temat ten był często podejmowany, i to już przynajmniej od początku lat 90. ubiegłego stulecia (Brzeziecki 1991, 1994, 2007, 2008a, 2008b; Kowalski 1993; Bernadzki 1994b, 1995; Galiński 1995; Rykowski 1999, 2006).

Obecnie tematyka zmian klimatu i ich wpływu na ekosystemy leśne staje się coraz bardziej aktualna i paląca, szczególnie w świetle coraz to liczniejszych i coraz bardziej uciążliwych i wywołujących coraz większe szkody zdarzeń o charakterze klęskowym i katastroficznym, dotyczących nie tylko polskie lasy, ale również lasy w innych krajach europejskich i pozaeuropejskich. Jak podają np. Bellasen i Luyssaert (2014), tylko w okresie 2004-2014 huraganowe wiatry w lasach europejskich zniszczyły drzewostany o łącznej miąższości wynoszącej 410 mln m³, ekstremalne susze w latach 2005 i 2010 spowodowały uwolnienie z lasów Amazonii takiej ilości dwutlenku węgla, jaka jest w nich akumulowana w okresie 10 lat, rekordowa fala upałów w 2010 roku doprowadziła do tego, że spłonęły lasy w Rosji na obszarze 23 tys. km², gradacja korników trwająca od 2004 roku w Kolumbii Brytyjskiej (Kanada) doprowadziła do zamierania drzewostanów na powierzchni 130 tys. km² i do obumarcia drzew o łącznej miąższości wynoszącej 435 mln m³.

Podobna sytuacja ma miejsce także w naszym kraju. Według danych Generalnej Dyrekcji Lasów Państwowych, tylko w latach 2015-2018 łączna powierzchnia drzewostanów osłabionych/uszkodzonych przez czynniki abiotyczne wyniosła 340 tys. ha (w tym: powierzchnia drzewostanów uszkodzonych przez suszę – 183 tys. ha, powierzchnia drzewostanów uszkodzonych przez huragany – 152 tys. ha), powierzchnia występowania szkodliwych owadów (tzw. szkodniki pierwotne) wyniosła 1 mln ha (powierzchnia, na której przeprowadzono zabiegi ochronne – 450 tys. ha), natomiast powierzchnia występowania patogenów grzybowych (opieńka, huba korzeni) wyniosła 718 tys. ha. W sumie w okresie tym pozyskano ogółem 32 mln m³ drewna w postaci posuszu oraz wywrotów.

Według wielu badaczy istnieje bardzo silny związek tego typu zdarzeń i zjawisk ze zmianami zachodzącymi w środowisku, w tym zwłaszcza ze zmianami klimatycznymi. Z tego względu już od początku lat 90. opracowywane są, z wykorzystaniem różnego rodzaju modeli, symulacje i prognozy dotyczące wpływu prognozowanych zmian podstawowych parametrów klimatycznych (temperatura, opady) na wybrane aspekty funkcjonowania lasów w Europie, w tym na zasięgi geograficzne, zdolność konkurencyjną czy też na szeroko rozumianą rolę lasotwórczą podstawowych gatunków drzew.

Jako przykład można podać projekt zrealizowany na początku lat 90. w Szwajcarii, którego celem było oszacowanie wpływu potencjalnych zmian klimatycznych na przestrzenne rozmieszczenie głównych typów lasów występujących w tym kraju (Brzeziecki, Kienast i Wildi 1994). Efektem tego projektu było zbudowanie modelu pozwalającego symulować prawdopodobieństwo wystąpienia poszczególnych typów lasów w zależności od układu najważniejszych czynników środowiskowych, w tym głównych parametrów klimatycznych (temperatura i opady). Model ten wykorzystano do symulowania przestrzennego rozmieszczenia lasów dla aktualnych i prognozowanych warunków klimatycznych. Uzyskane wyniki jednoznacznie wskazywały na dużą wrażliwość istniejących lasów na prognozowane zmiany klimatu (rysunek 1).



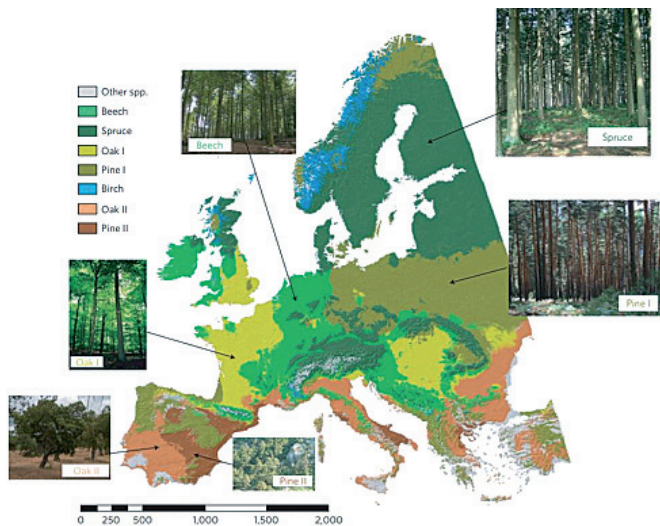
Rysunek 1. Wyniki symulacji przestrzennego rozmieszczenia głównych typów lasów występujących w Szwajcarii, otrzymane dla (a) aktualnych i (b) prognozowanych warunków klimatycznych (Brzeziecki, Kienast i Wildi 1994)

Inny przykład to praca, w której wykorzystano m.in. bioklimatyczny model STASH do oceny wpływu zmian klimatycznych spowodowanych wzrostem ilości CO₂ w atmosferze na potencjalne zasięgi występowania głównych gatunków drzew występujących w Europie Środkowej i Północnej (Sykes i Prentice 1996). We wspomnianym modelu uwzględniono trzy parametry bioklimatyczne: efektywną liczbę tzw. stopniodni (*degree days*) w sezonie wegetacyjnym (z uwzględnieniem okresu chłodu), temperaturę najzimniejszego miesiąca oraz indeks zaopatrzenia drzew w wodę (indeks suszy). Na podstawie tych trzech parametrów cytowani autorzy byli w stanie symulować z dużą dokładnością granice zasięgów występowania kilku podstawowych gatunków drzew (sosna, świerk, buk, brzoza brodawkowata, dąb szypułkowy, dąb bezszypułkowy), odpowiadające dotychczasowym warunkom klimatycznym. W następnym kroku ten sam model został wykorzystany do symulacji przyszłych granic zasięgów występowania tych gatunków, przy założeniu, że warunki klimatyczne zmieniają się zgodnie z zakładanymi w tym czasie scenariuszami, opracowanymi za pomocą tzw. globalnych modeli cyrkulacyjnych (*general circulation models*, GCM). Modele te przyjmowały, że nastąpi podwojenie stężenia CO₂ w atmosferze, co spowoduje odpowiednie zmiany parametrów klimatycznych (przede wszystkim wzrost temperatury). Uwzględniono dwa scenariusze klimatyczne: jeden bardziej umiarkowany, drugi bardziej radykalny. Bez względu na to, który scenariusz był wzięty pod uwagę, wyniki przeprowadzonych symulacji wskazywały na istotne przesunięcia aktualnych granic zasięgów rozpatrywanych gatunków (w tym zwłaszcza świerka, sosny, buka i dębu bezszypułkowego), w generalnym kierunku z południowego zachodu na północny wschód. Według autorów, głównym czynnikiem powodującym te przesunięcia miałyby być wzrost temperatury w okresie zimowym. W odniesieniu do powierzchni naszego kraju uzyskane w ramach wspomnianych badań wyniki sugerowały daleko idące ograniczenie roli lasotwórczej świerka i sosny (w teorii całkowite wycofanie się tych gatunków z terenu naszego kraju) oraz wyraźne zwiększenie roli buka i dębu bezszypułkowego.

Reprezentatywnym przykładem współczesnych prognoz dotyczących wpływu antycypowanych zmian klimatycznych na przyszły stan i potencjał produkcyjny lasów w Europie jest praca, której autorami są Hanewinkel i in. (2013). Autorzy skonstruowali modele geograficznych zasięgów głównych typów lasów występujących w Europie i wykorzystali je do prognozowania wpływu zmian klimatu na ich przyszłe rozmieszczenie (rysunki 2a i 2b). Liczbowe wartości parametrów modeli zostały określone na podstawie danych z ponad 6000 powierzchni obserwacyjnych (monitoringowych) założonych w ramach programu ICP Forest na obszarze całej Europy, w sieci 16 × 16 km, obejmującej powierzchnię ponad 2 mln km². Do skonstruowania profili (obwiedni) klimatycznych (*climate envelopes*) głównych gatunków drzew wykorzystano zmienne uzyskane z bazy danych klimatycznych World-Clim. W celu określenia przyszłych zmian zasięgów wykorzystano mapy

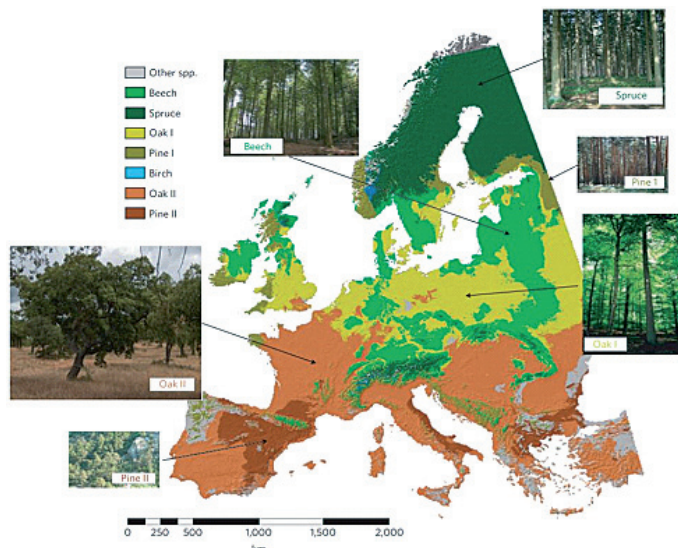
klimatyczne reprezentujące trzy scenariusze opracowane przez IPCC: A1F1 (zmiany silne); A1B (zmiany umiarkowane) i B2 (zmiany słabe). Uwzględniono trzy okresy: 2011-2040; 2041-2070 i 2071-2100. Mapy zasięgów odpowiadające tym trzem okresom zostały porównane ze sobą w celu określenia wielkości wskaźników redukcji/ekspansji symulowanych zasięgów oraz stopnia pokrywania się ich z aktualnymi zasięgami. Zbadano także konsekwencje ekonomiczne prognozowanych zmian, wykorzystując do tego celu model EFISCAN. W badaniach uwzględniono 7 głównych typów lasu: lasy świerkowe (gatunek iglasty o bardzo dużych walorach produkcyjnych), lasy bukowe (gatunek o umiarkowanej wartości produkcyjnej), lasy sosnowe I (gatunki sosen o umiarkowanej wartości produkcyjnej, takie jak sosna zwyczajna), lasy dębowe I (gatunki dębów o umiarkowanej wartości produkcyjnej, takie jak dąb bezszypułkowy), lasy sosnowe II (śródlądowe gatunki sosen o niskiej produktywności, takie jak *Pinus halepensis*), lasy dębowe II (śródlądowe gatunki dębów o niskiej i bardzo niskiej produktywności, np. *Quercus cerris*) i lasy brzożowe (niska produktywność, *Betula* spp.).

Przestrzenne rozmieszczenie tych głównych typów roślinności leśnej w Europie, odpowiadające ‘normalnym’ warunkom klimatycznym, określonym dla okresu 1950-2000, przedstawiono na rysunku 2a.



Rysunek 2a. Symulowane (potencjalne) rozmieszczenie głównych typów lasów w Europie dla normalnych warunków klimatycznych (lata 1950-2000). Wielkość zdjęć przedstawiających reprezentatywną strukturę poszczególnych typów lasów (bez brzozy < 3%) jest proporcjonalna do ich powierzchni (Hanewinkel i in. 2013). Legenda: Spruce – świerk; Beech – buk; Pine I – sosna zwyczajna; Oak I – dąb szypułkowy i bezszypułkowy; Birch – brzoza; Pine II – gatunki sosen związane z klimatem śródziemnomorskim; Oak II – gatunki dębów związane z klimatem śródziemnomorskim; Other spp. – inne gatunki drzew

Na podstawie uzyskanych wyników, zróżnicowanych w zależności od przyjętego scenariusza zmian klimatycznych, autorzy cytowanego opracowania wysnuwają generalny wniosek, że w przyszłych warunkach klimatycznych zmieni się przestrzenne rozmieszczenie głównych typów lasów europejskich. Stwierdzają także, że już obecnie wpływ zmian klimatycznych na lasy w Europie jest wyraźnie widoczny. W przypadku wszystkich trzech scenariuszy klimatycznych uwzględnionych w badaniach świerk, będący gatunkiem o największym znaczeniu produkcyjnym w Europie, ustępuje z zachodnich, południowych i centralnych obszarów swojego aktualnego zasięgu i przesuwa się na północ (północna Szwecja, Finlandia i Norwegia). Podobnie w przypadku gatunków liściastych, takich jak dąb i buk, wyniki symulacji wskazują na istotne przesunięcia zasięgów i ustępowanie tych gatunków z terenów, gdzie dominują one obecnie (Francja, Holandia, Niemcy, niziny centralnej i wschodniej Europy) oraz sugerują ich ekspansję w środkowej, północnej i północno-wschodniej Europie. Generalnie autorzy spodziewają się, że głównym ‘przegranym’ prognozowanych zmian będzie grupa gatunków iglastych (świerk pospolity, sosna zwyczajna) o dużym znaczeniu produkcyjnym, która straci od 40 do 60% swego obecnego areалу, natomiast głównym ‘wygranym’ będą drzewostany złożone z śródziemnomorskich, niskoprodukcyjnych gatunków dębów (rysunek 2b). W zależności



Rysunek 2b. Symulowane (potencjalne) rozmieszczenie głównych typów lasów w Europie dla przyszłych warunków klimatycznych (lata 2070-2100). Wyniki uzyskane dla umiarkowanego scenariusza ICCP (A1B, CLM/ECHAM5). Wielkość zdjęć przedstawiających reprezentatywną strukturę poszczególnych typów lasów (bez brzozy < 3%) jest proporcjonalna do ich powierzchni (Hanewinkel i in. 2013). Legenda jak w podpisie rysunku 2a

od przyjętego scenariusza klimatycznego, w perspektywie 2100 roku, od 21 do 60% (średnio 34%) powierzchni lasów w Europie będzie nadawało się do hodowli tylko takich, mało produkcyjnych drzewostanów. Hanewinkel i in. (2013) podkreślają, że efektem spodziewanych zmian w składzie gatunkowym lasów (a tym samym zmian ich produktywności) będzie spadek oczekiwanej wartości gruntu leśnego (*Land Expected Value*) w lasach europejskich o wielkość ok. 930 euro/ha. Uwzględniając, że powierzchnia lasów w Europie to ok. 206 mln ha (bez Rosji), oznaczałoby to obniżenie sumarycznej wartości lasów w Europie o ponad 190 mld euro.

Na początku lat 90. ukazały się także pierwsze prace w polskiej literaturze leśnej, których autorzy przedstawiali próby ilościowego oszacowania oddziaływania zmian wybranych parametrów bioklimatycznych na wzrost drzew. Przykładowo, Brzeziecki (1991) oszacował, że zwiększenie sumy ciepła w sezonie wegetacyjnym w warunkach Białowieży o 20% w stosunku do wcześniejszych warunków powoduje w przypadku sosny spadek wskaźnika wpływu temperatury od 0,8 do 0,4, a w przypadku świerka od 0,9 do 0,4 (wskaźnik ten został tak wyskalowany, że może przyjmować wartości od 0 do 1, gdzie 0 oznacza brak możliwości wzrostu, a 1 – warunki optymalne). W przypadku takich gatunków jak dąb i grab efekt był odwrotny, tj. wzrost odpowiednio od 0,7 do 0,9 dla dębu i od 0,5 do 0,8 dla grabu.

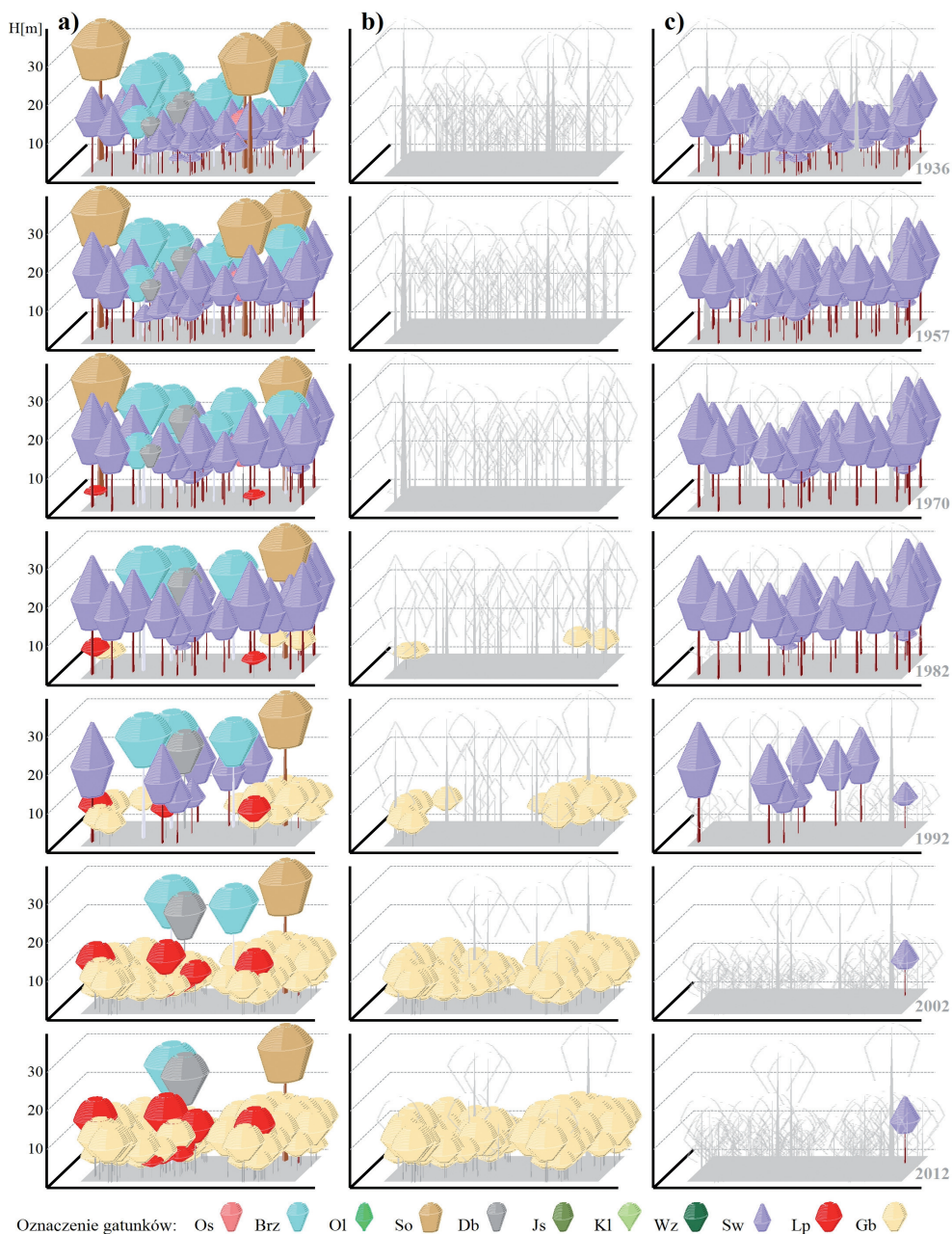
W kolejnej pracy z tego zakresu ten sam autor zbadał wpływ wzrostu sumy temperatury efektywnej (stanowiącej miarę ilości ciepła w sezonie wegetacyjnym) na wartości względnego wskaźnika zdolności konkurencyjnej głównych gatunków drzew występujących w naszych lasach, z uwzględnieniem dwóch różniących się regionów geograficznych: Wyżyn Dolnośląskich i Pojezierza Mazurskiego (Brzeziecki 1994). Wyniki sugerowały, że w warunkach Wyżyn Dolnośląskich nawet umiarkowany (do 20%) wzrost temperatury efektywnej powoduje silny spadek zdolności konkurencyjnej i żywotności takich gatunków, jak np. świerk. Podobny efekt, chociaż nie tak mocny, wystąpił także dla sosny. W warunkach Pojezierza Mazurskiego zmiany nie były tak silne, ale przebiegały w podobnym kierunku. Rosło natomiast, w miarę wzrostu sumy ciepła, znaczenie takich gatunków, jak oba gatunki dębów, lipa drobnolistna, grab i buk.

Bardziej aktualny przykład dotyczący rozpatrywanej tu tematyki stanowi praca Zajączkowskiego i in. (2013). Autorzy uwzględnili sześć różnych lokalizacji geograficznych w Polsce, reprezentujących sześć nizinnych krain przyrodniczo-leśnych. Dla lokalizacji tych określono podstawowe parametry klimatyczne, takie jak średnia temperatura roku, amplituda roczna temperatury (na podstawie śred-

nich dobowych), opady, suma temperatury efektywnej, wskaźnik suszy (obliczany na podstawie ewapotranspiracji potencjalnej i rzeczywistej). Uwzględniono dwie wartości tych parametrów: jedną odpowiadającą okresowi 1951-1970, drugą zaś, zgodną z umiarkowaną prognozą zmian klimatycznych, opracowaną przez IPCC, zakładającą wzrost temperatury maksymalnej w miesiącach wiosennych (IV-VI) o 3°C i o 4°C w pozostałych miesiącach, podobny wzrost temperatury minimalnej oraz wzrost opadów o 10% jesienią i zimą, przy zbliżonym spadku w pozostałych miesiącach. Dla tak przyjętych dwóch scenariuszy klimatycznych obliczono różnice pomiędzy wartościami wskaźników wpływu temperatury efektywnej i dostępności wody na wzrost i żywotność drzew. Główny wniosek był taki, że wzrost temperatury sam w sobie ma raczej pozytywny wpływ na wszystkie rozpatrywane gatunki we wszystkich nizinnych krainach przyrodniczo-leśnych. Odwrotny efekt uzyskano natomiast w przypadku wskaźnika dostępności wody. Tutaj wyniki jednoznacznie wskazywały, że przyszłe warunki klimatyczne, prognozowane przez IPCC, spowodują znaczące pogorszenie stopnia zaopatrzenia gatunków drzew leśnych w wodę na praktycznie całym obszarze naszego kraju. Problem ten dotyczył wszystkich uwzględnionych w cytowanej pracy gatunków, jakkolwiek w różnym stopniu. Do najbardziej zagrożonych należały świerk, jodła, buk, olsza czarna i jesion. Stosunkowo mniej dotknięte tym problemem były brzoza brodawkowata, sosna zwyczajna i dąb szypułkowy.

Podobnych przykładów badań z Europy i ze świata (ze szczególnym uwzględnieniem Ameryki Północnej), przewidujących zmiany składu gatunkowego, struktury i produktywności lasów w wyniku już zachodzących i prognozowanych zmian środowiskowych, w literaturze przedmiotu można znaleźć bardzo dużo.

O tym, że już obecnie mamy do czynienia z daleko idącymi zmianami roli lasotwórczej wielu gatunków drzew, świadczą także wyniki badań w obiektach wyłączonych z normalnych działań gospodarczych, w których wpływ zmian zachodzących w środowisku na ekosystemy leśne nie jest maskowany bezpośrednią działalnością człowieka. Dobrym przykładem w tym zakresie mogą być przemiany zachodzące w drzewostanach Rezerwatu Ścisłego Białowieskiego Parku Narodowego, których rozwój monitorowany jest już od ok. 80 lat. W okresie tym miało miejsce m.in. silne ograniczenie roli świerka (gatunku związanego z klimatem chłodnym i wilgotnym) w tych drzewostanach oraz wydatne zwiększenie roli lipy, a zwłaszcza grabu (czyli gatunków związanych z klimatem cieplejszym i bardziej odpornych na suszę) – rysunek 3.



Rysunek 3. Ustępowanie świerka (jako gatunku związanego z klimatem chłodnym i wilgotnym) oraz ekspansja grabu (gatunku związanego z klimatem cieplejszym i bardziej odpornego na suszę) w drzewostanach Rezerwatu Ścisłego Białowieskiego Parku Narodowego na przykładzie fragmentu stałej powierzchni badawczej Katedry Hodowli Lasu SGGW (dz. 284/37, 40 × 20 m). Opracowanie graficzne: dr J. Zajączkowski

Uwagi końcowe

Człowiek od dawna przekształca na różne sposoby środowisko, w którym żyje. Wiele obserwowanych współcześnie zjawisk i procesów wskazuje, że suma tych wpływów przekroczyła jakiś czas temu masę krytyczną oraz że problemy związane z oddziaływaniem społeczeństw ludzkich na środowisko kuli ziemskiej osiągnęły wymiar globalny. Taki globalny charakter ma również obserwowany już od dłuższego czasu wzrost zawartości CO₂ (oraz innych gazów szklarniowych) w atmosferze, będący przede wszystkim wynikiem spalania paliw kopalnych oraz wylesienia znacznych obszarów Ziemi.

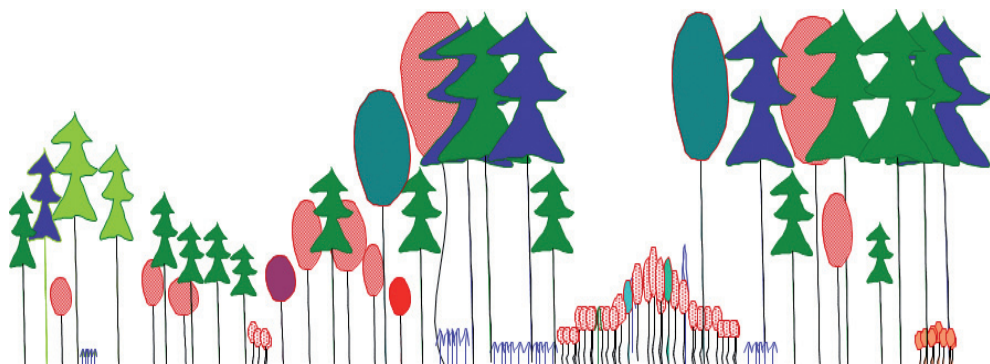
Zjawisko wzrostu zawartości CO₂ w atmosferze ma doniosłe skutki, zarówno bezpośrednie (wpływ na tempo fotosyntezy), jak i pośrednie (wzrost temperatury powietrza) dla funkcjonowania ekosystemów leśnych. Zwłaszcza ten drugi aspekt jest bardzo istotny. Temperatura, jako jeden z najważniejszych czynników ekologicznych, wpływa – bezpośrednio i pośrednio – na wiele istotnych procesów życiowych, przebiegających w ekosystemach leśnych. Należą tu m.in.: fotosynteza, oddychanie (respiracja), gospodarka wodna i dystrybucja asymilatów, przyrost drzew i drzewostanów, odnowienie naturalne (kiełkowanie nasion, wzrost nalotów i podrostów), zjawiska fenologiczne (kwitnienie i owocowanie drzew, przerwanie spoczynku pąków, rozpoczęcie i zakończenie wzrostu pędów, rozwój i starzenie ulistnienia), procesy glebowe (tempo rozkładu ściółki, mineralizacja materii organicznej, nityfikacja, rozwój pasożytów i fitofagów), ekstrema klimatyczne (huraganowe wiatry, okresy suszy, przymrozki wczesne i późne).

Jedną z najważniejszych cech określających specyfikę produkcji leśnej jest znaczna długość cykli produkcyjnych, trwających często 100 lat i dłużej. **Ustalając perspektywiczne cele gospodarki leśnej (np. w postaci typów drzewostanów), jeszcze do niedawna można było zakładać, że warunki środowiskowe, w tym warunki klimatyczne, są mniej lub bardziej stale i podlegają co najwyżej niewielkim oscylacjom czy też fluktuacjom. Obecnie wszystko wskazuje na to, że założenie to przestało już być aktualne.** Zarówno z prowadzonych obserwacji, jak i z opracowanych prognoz i symulacji komputerowych wynika jednoznacznie, że mamy do czynienia z postępującą zmianą klimatu, której konkretnym wyrazem są takie zjawiska, jak kierunkowe zmiany temperatury powietrza, zmiany dostępności wody, wzrost intensywności takich ekstremalnych zdarzeń, jak huraganowe wiatry, czy też wzrost stopnia zagrożenia pożarowego. Wyższe temperatury skracają też okresy rozwoju organizmów pasożytniczych i szkodliwych, a także ułatwiają ich ekspansję równoleżnikową i wysokościową (Brang i in. 2014). Dowodów na to, że istnieje bezpośredni związek między wzrostem występowania szkodliwych organizmów spowodowanym zmianami klimatycznymi a zwiększoną śmiertelnością drzew jest coraz więcej (Sturrock i in. 2011, za Brang i in. 2014).

Na ten moment nic nie wskazuje na to, aby tego rodzaju zjawiska miały w najbliższym czasie osłabnąć lub też zaniknąć. Odwrotnie, należy się spodziewać, że w kolejnych latach nastąpi dalsze pogorszenie sytuacji. **Jak dotychczas zrealizowała się bowiem tylko stosunkowo niewielka część opracowanych scenariuszy i prognoz.** Dlatego prawdopodobieństwo, że stan zdrowotny lasów będzie się stale pogarszał, jest wysokie. Nie należy też zapominać, że na zmiany klimatyczne nakłada się oddziaływanie innych czynników, jak np. utrzymująca się wysoka depozycja związków azotowych, co ma ogromne znaczenie z punktu widzenia procesów zachodzących w glebach leśnych, a pośrednio – dla całej biocenozy lasu.

Biorąc to wszystko pod uwagę, niezbędne jest pilne podjęcie działań idących w dwóch zasadniczych kierunkach: **po pierwsze, działań mających na celu osłabienie (mitygację) skutków tych wszystkich niekorzystnych zjawisk, z którymi już obecnie mamy do czynienia i które z dużym prawdopodobieństwem będą się nasilały w najbliższej przyszłości (strategia pasywna), po drugie zaś działań mających na celu lepsze przystosowanie (adaptację) ekosystemów leśnych do różnego rodzaju zagrożeń, które przed nimi stoją obecnie, ale będą stały również w bardziej odległej przyszłości (strategia aktywna)** (Brang i in. 2014; O'Hara 2014). Uważa się dzisiaj, że szczególną rolę miałyby do odegrania takie działania, jak: 1. Zwiększanie różnorodności gatunkowej drzewostanów. 2. Zwiększanie różnorodności strukturalnej drzewostanów. 3. Zachowanie i zwiększanie wewnątrzgatunkowej zmienności genetycznej. 4. Zwiększanie odporności poszczególnych osobników na stresy o charakterze biotycznym i abiotycznym. 5. Przebudowa drzewostanów odznaczających się wysokim poziomem ryzyka powstania różnego rodzaju szkód. 6. Niedopuszczanie do nadmiernego wzrostu zasobności drzewostanów (por. Brang i in. 2014).

Krótko mówiąc, chodziłoby o to, żeby w jak najszerszym zakresie wykorzystywać takie sposoby i metody hodowlane, które prowadzą do kształtowania lasów o możliwie zróżnicowanej strukturze (genetycznej, gatunkowej, wiekowej, przestrzennej), w możliwie jak najmniejszej skali przestrzennej (w praktyce: w skali pojedynczego drzewostanu) – por. rysunek 4. Postulat kształtowania takich drzewostanów pojawiał się w gospodarce leśnej od dawna, nawet w czasach dominacji funkcji produkcyjnej opartej na zasadzie kształtowania drzewostanów o uproszczonej strukturze gatunkowej i pionowej oraz złożonych z ograniczonej liczby gatunków o największych walorach produkcyjnych. Obecnie, w świetle wyraźnej intensyfikacji różnego rodzaju zagrożeń ze strony czynników abiotycznych i biotycznych stojących przed lasami, ten tak ogólnie ujęty postulat w pełni zachowuje swoją aktualność i znaczenie (Bernadzki 1988, 1994a, b, 1995a, b, c, 1997, 2000; Brzeziecki 2005; Brzeziecki i in. 2013). Z tego względu jak najszersza jego realizacja w praktyce byłaby bardzo pożądana i potrzebna.



Rysunek 4. Kształtowanie drzewostanów o zróżnicowanej strukturze gatunkowej i wysokościowej jako podstawa strategii zwiększania zdolności adaptacyjnych ekosystemów leśnych względem antycypowanych zmian klimatycznych (Źródło: opracowanie własne)

Trzeba się jednak też liczyć z tym, że działania mieszczące się jakoś w ramach dotychczas obowiązujących zasad i instrukcji mogą niebawem okazać się niewystarczające i pojawi się potrzeba podjęcia działań o znacznie bardziej radykalnym i jeszcze dalej idącym charakterze.

Podziękowania

Praca została częściowo zrealizowana w ramach projektu H2020-MSCA-RISE-2017 CARE4C (Nr 778322) oraz ze środków finansowych na naukę (MNiSW) w latach 2018-2021 przyznanych na realizację projektu międzynarodowego współfinansowanego (Nr W117/H2020/2018).

Literatura

- Bellasen V., Luyssaert S. 2014. Managing forests in uncertain times. *Nature*, 506: 153–155.
- Bernadzki E. 1988. Zasady trwałej gospodarki leśnej a hodowla lasu. [w:] *Trwały i zrównoważony rozwój lasów*. Wydawnictwo IBL, Warszawa, 13–26.
- Bernadzki E. 1994a. Półnaturalna hodowla lasu jest nadal aktualna. *Las Polski*, nr 4: 7–10.
- Bernadzki E. 1994b. Lasy wobec zmian klimatu. *Echa Leśne*, 1: 5–7.
- Bernadzki E. 1995a. Półnaturalna hodowla lasu. [w:] *Ochrona różnorodności biologicznej w zrównoważonej gospodarce leśnej*. PTL i IBL, Warszawa.
- Bernadzki E. 1995b. Hodowla lasu w kompleksowej ochronie zasobów leśnych. Problemy realizacji proekologicznego modelu leśnictwa metodami aktywnej gospodarki leśnej. Rogów – Warszawa, 29–42.
- Bernadzki E. 1995c. Gospodarka leśna w obliczu zmian klimatu. *Sylvan*, 139: 19–32.

- Bernadzki E. 1997. Cele hodowli lasu wczoraj i dziś. *Sylwan*, 4: 23–31.
- Bernadzki E. 2000. Półnaturalna hodowla lasu. Biblioteczka Leśniczego. SITLiD i DGLP. Wydawnictwo Świat. Warszawa, Zeszyt 129.
- Brang P., Spathelf J., Larsen B., Bauhus J., Bončina A., Chauvin Ch., Drössler L., García-Güemes C., Heiri C., Kerr G., Lexer M.J., Mason B., Mohren F., Mühlethaler U., Nocentini S., Svoboda M. 2014. Suitability of close-to-nature silviculture for adapting temperate European forests to climate change. *Forestry*, 87: 492–503.
- Brzeziecki B. 1991. Ekologiczny model wzrostu lasu: niektóre problemy metodyczne i kalibracyjne. *Sylwan*, 9: 5–16.
- Brzeziecki B. 1994. Rola matematycznego modelowania w prognozowaniu wpływu potencjalnych zmian klimatu na ekosystemy leśne. *Sylwan*, 10: 5–21.
- Brzeziecki B. 2005. Struktura drzewostanu i jej znaczenie ekologiczno-hodowlane. Biblioteczka Leśniczego. SITLiD i DGLP. Wydawnictwo Świat, Warszawa, Zeszyt 224: 1–12.
- Brzeziecki B. 2007. Zmiany klimatu, węgiel i lasy. *Postępy Techniki w Leśnictwie*, 98: 21–29.
- Brzeziecki B. 2008a. Wpływ wybranych metod zagospodarowania lasu i sposobów wykonywania operacji leśnych na bilans węgla w ekosystemach leśnych. [w:] *Udział leśnictwa w łagodzeniu zmian klimatycznych wywołanych efektem cieplarnianym*. Konferencja ZG SITLiD. Warszawa, 21–28.
- Brzeziecki B. 2008b. Działania dodatkowe zwiększające pochłanianie CO₂ w ekosystemach leśnych. Biblioteczka Leśniczego. SITLiD i DGLP. Wydawnictwo Świat, Warszawa, Zeszyt 272: 1–14.
- Brzeziecki B., Drozdowski S., Bielak K., Buraczyk W., Gawron L. 2013. Kształtowanie zróżnicowanej struktury drzewostanów w warunkach nizinnych. *Sylwan*, 157 (8): 597–606.
- Brzeziecki B., Kienast F., Wildi O. 1995. Modeling potential impacts of climate change on the spatial distribution of zonal forest communities in Switzerland. *Journal of Vegetation Science*, 6: 257–268.
- Galiński W. 1995. Wpływ globalnego ocieplenia klimatu Ziemi i efektu cieplarnianego na lasy strefy klimatu umiarkowanego. *Las Polski*, 9: 4–8.
- Glick D., Montaigne F., Morell V. 2004. Signs from Earth. *National Geographic*, 8: 12–75.
- Hanewinkel M., Cullmann D.A., Schelhaas M.-T., Nabuurs G.-J., Zimmermann N.E. 2013. Climate change may cause severe loss in the economic value of European forest land. *Nature Climate Change*, 3: 203–207.
- Kowalski M. 1993. Skład gatunkowy lasów na tle zmian klimatu. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa*, 15: 210–220.
- Malmsheimer R.W., Heffernan P., Brink S., Crandall D., Deneke F., Galik Ch., Gee E., Helms J., McClure N., Mortimer M., Ruddell S., Smith M., Stewart J. 2008. Forest management solutions for mitigating climate change in United States. *Journal of Forestry*, 10: 115–173.
- O'Hara K. 2014. Multiaged silviculture. *Managing for Complex Forest Stand Structures*. Oxford University Press. Oxford.

- Rykowski K. 2006. O wpływie zmian klimatycznych na lasy i leśnictwo. Biblioteczka Leśniczego. SITLiD i DGLP. Wydawnictwo Świat, Warszawa, Zeszyt 244.
- Rykowski K. 2012. Czynniki środowiska przyrodniczego determinujące produkcję drewna. [w:] Przyrodnicze i gospodarcze aspekty produkcji oraz wykorzystania drewna – stan obecny i prognoza. Zimowa Szkoła Leśna przy Instytucie Badawczym Leśnictwa. IV Sesja. Sękocin Stary. 20–22 marca 2012 r., 47–63.
- Sala O.E., Chapin F.S. III, Armesto J.J., Berlow R., Bloomfield J., Dirzo R., Huber-Sanwald E., Huenneke L.F., Jackson R.B., Kinzig A., Leemans R., Lodge D., Mooney H.A., Oesterheld M., Poff N.L., Sykes M.T., Walker B.H., Walker M., Wall D.H. 2000. Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, 287: 1770–1774.
- Sykes M.T., Prentice I.C. 1996. Climate change, tree species distributions and forest dynamics: a case study in the mixed conifer/northern hardwoods zone of Northern Europe. *Climatic Change*, 34: 161–177.
- Zajączkowski J., Brzezicki B., Perzanowski K., Kozak I. 2013. Wpływ potencjalnych zmian klimatycznych na zdolność konkurencyjną głównych gatunków drzew w Polsce. *Sylwan*, 157 (4): 253–261.
- Zalasiewicz J., Waters C.N., Williams M., Barnosky A.D. et al. 2015. When did the Anthropocene begin? A mid-twentieth century boundary level is stratigraphically optimal. *Quaternary International*, 833: 196–203.

NASTĘPSTWA ZMIANY KLIMATU W POLSKIM ROLNICTWIE I DZIAŁANIA ADAPTACYJNE¹

JERZY KOZYRA

INSTYTUT UPRAWY, NAWOŻENIA I GLEBOZNAWSTWA – PAŃSTWOWY INSTYTUT
BADAWCZY W PUŁAWACH
ZAKŁAD BIOGOSPODARKI I ANALIZ SYSTEMOWYCH

Wstęp

Problem zmiany klimatu Ziemi wskazywany jest jako zagrożenie nie tylko dla środowiska, ale również dla gospodarki (Kundzewicz i in. 2018), przede wszystkim rolnictwa (Schneider i in. 2011). Wnioski klimatologów dotyczące obserwowanej zmiany sprowadzają się do ważnych dla rolnictwa stwierdzeń, że temperatura globalna atmosfery wzrasta w tempie dotychczas nienotowanym w historii Ziemi, stopniowo podnosi się poziom oceanów, częściej notowane są zjawiska ekstremalne, takie jak fale upałów, gwałtowne opady i huragany (IPCC 2018).

Wobec konsekwencji zmiany klimatu konieczne jest dostosowanie rolnictwa do nowych warunków. Wskazuje się, że brak dostosowania zagrazi możliwości zapewnienia bezpieczeństwa żywnościowego dla prognozowanej 9-miliardowej populacji ludzi na Ziemi w 2050 roku. Procesy intensyfikacji w rolnictwie, jakie nastąpiły w drugiej połowie XX wieku, doprowadziły już do 250-procentowego wzrostu potencjału produkcji rolnej. Wzrost ten wynika z globalnego wzrostu powierzchni upraw o 8%, zwiększenia ilości zużywanych środków produkcji, takich jak nawozy azotowe (wzrost siedmiokrotny) i nawozy fosforowe (wzrost trzykrotny), a także ze wzrostu zużycia wody do nawodnień (wzrost dwukrotny). Dalsze oczekiwane zwiększenie możliwości produkcyjnych rolnictwa, które ma nastąpić w niestabil-

¹ Opracowano w ramach Programu wieloletniego IUNG-PIB na lata 2016-2020, zadanie 1.7: Opracowanie i doskonalenie metod oceny oraz prognozowania (modelowania) skutków środowiskowych i produkcyjno-ekonomicznych WPR i zmian klimatu.

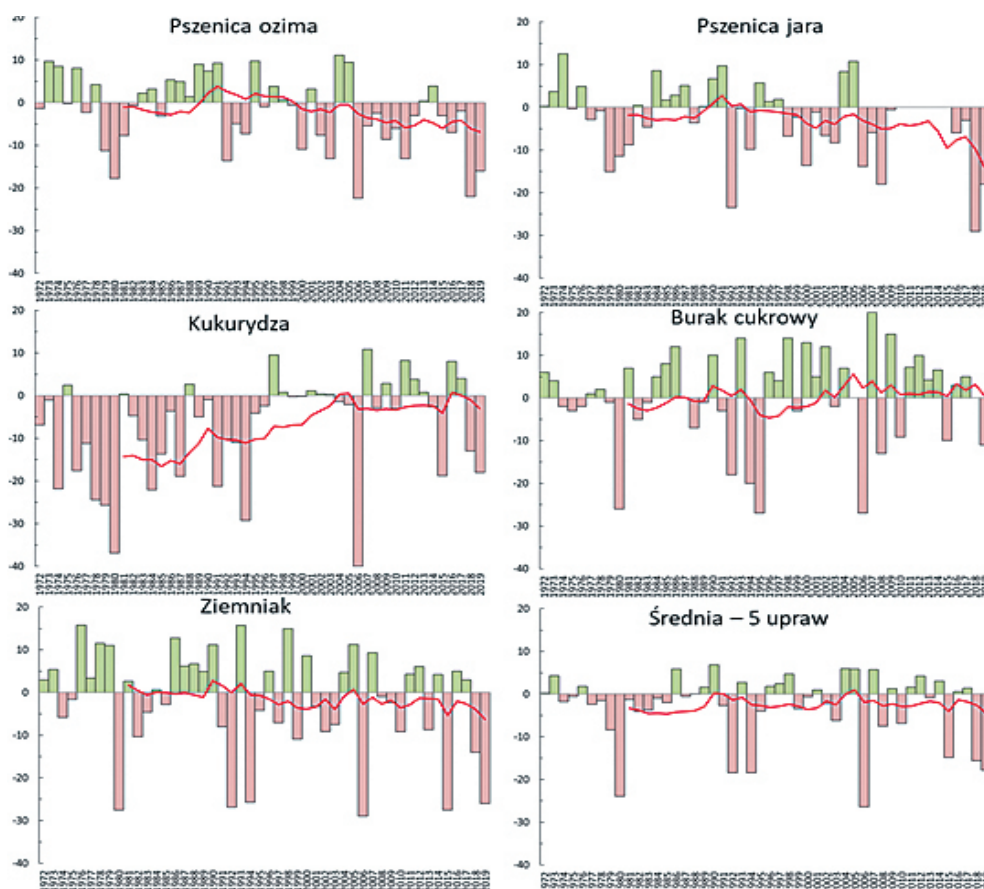
nych warunkach klimatycznych, ma odbyć się już z uwzględnieniem zasad zrównoważonego rozwoju, bez zwiększania presji na środowisko, co stanowi bardzo duże wyzwanie (Burney i in. 2010). Wobec tych uwarunkowań nie można zastosować dotychczasowych metod intensyfikacji produkcji, a należy poszukiwać nowych rozwiązań, adekwatnych do obecnych potrzeb, biorących pod uwagę fakt, że rolnictwo funkcjonuje w środowisku, od którego jest zależne i na które bardzo mocno oddziałuje. Dalszy rozwój rolnictwa ma pełniej uwzględniać koncepcję agroekologii (Méndez i in. 2013) oraz ogólne założenia zrównoważonej biogospodarki (OECD 2018). Celem tego rozdziału jest wskazanie głównych następstw zmiany klimatu dla rolnictwa w Polsce oraz potencjalnych kierunków dostosowania rolnictwa do zmian zachodzących w klimacie.

Czynniki decydujące o produktywności w rolnictwie a zmiana klimatu

W przypadku lokalnego wzrostu temperatury o 2°C powyżej poziomu z końca XX wieku w zależności od upraw i regionu oraz scenariuszy adaptacyjnych (dostosowywania rolnictwa) prognozowane skutki tej zmiany znacząco się różnią. Wskazano, że ok. 10% prognoz na lata 2030-2049 wykazuje wzrost potencjału plonowania upraw o ponad 10% w porównaniu z końcem XX wieku, a ok. 10% prognoz wskazuje na zwiększenie się częstości lat ze znaczącymi stratami w plonach (większymi niż 25%). Jednocześnie wykazano, że po 2050 roku wzrośnie znacząco ryzyko poważniejszych spadków produktywności, co zwiększy wahania plonów z roku na rok (Porter i in. 2015).

W Polsce obserwuje się wzrost intensywności rolnictwa, spowodowany głównie znaczącym zwiększeniem zużycia nawozów mineralnych (NPK/ha UR), które w latach 2002-2004 wynosiło 95 kg/ha UR, a w latach 2007-2009 osiągnęło 129 kg/ha UR. Wzrostowi temu towarzyszy jednak adekwatny wzrost plonowania (Kopiński i in. 2011). Analiza wskaźników pogodowych plonowania (IPO) dla wybranych upraw w Polsce wskazuje, że znacząco zwiększa się częstość lat niekorzystnych dla pszenicy ozimej, pszenicy jarej i ziemniaka, na co wpływa pogarszanie się warunków klimatycznych do uprawy tych roślin (rysunek 1) (Górski i in. 2008). Ogólny potencjał plonowania poprawia się natomiast dla kukurydzy i buraka cukrowego, jednak w dalszym ciągu w Polsce te uprawy cechują się największą zmiennością plonowania.

Częściej występujące w ostatnich latach straty w plonach roślin uprawnych w Polsce są spowodowane bardziej intensywnymi suszami. Jak wynika z szacowania obszarów zagrożonych suszą w Systemie Monitoringu Suszy Rolniczej (www.susza.iung.pulawy.pl), w ostatnich latach susza ograniczająca plonowanie upraw występuje na coraz większym obszarze kraju.



Rysunek 1. Odchylenie wskaźnika pogodowego plonów krajowych (%) dla pszenicy ozimej, pszenicy jarej, kukurydzy, buraka cukrowego, ziemniaków oraz średniej dla analizowanych pięciu upraw w latach 1972-2019. Na wykresach zaznaczono tendencję opisaną średnią ruchomą 10-letnią. Wartości procentowe należy interpretować jako odchylenie wpływu warunków przebiegu pogody na plony krajowe – wartości dodatnie to wpływ korzystny, wartości ujemne to wpływ niekorzystny

W wyniku wzrostu temperatury w północno-zachodniej Polsce w latach 2001-2009 w porównaniu z okresem 1971-2000 stwierdzono wydłużenie się okresu wegetacyjnego o ok. 10 dni, w okolicach Koszalina i Ustki o 16 dni, a średnio w Polsce o 8 dni. W perspektywie 2030 roku okres wegetacyjny w środkowej Polsce ma być dłuższy o 10–14 dni niż w latach 1971-2000, a w 2050 roku – o 18–27 dni. W Polsce południowo-zachodniej długość okresu wegetacyjnego w perspektywie 2030 roku wydłuży się o 11–17 dni, a w perspektywie 2050 roku o 22–30 dni (Nieróbca i in. 2013). Wyższa temperatura w lecie jest korzystniejsza dla rozwoju chwastów ciepłolubnych i chorób roślin, co jest negatywnym efektem obserwowanych tendencji

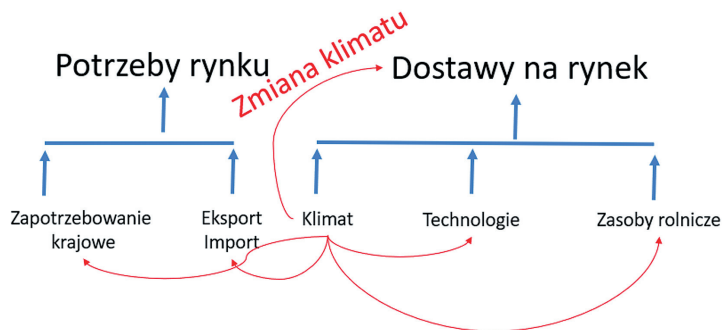
klimatycznych dla rolnictwa (Kundzewicz i Kozyra 2011). Analizy przeprowadzone w ramach projektu KLIMADA wykazały, że typowe w okresie letnim w Polsce opady atmosferyczne w postaci burz stały się bardziej gwałtowne i potencjalnie wyrządzają większe szkody niż wcześniej. Niedostatki wilgoci w glebie z powodu większej częstości okresów bezopadowych są potęgowane przez fale upałów, które stanowią dodatkowy czynnik ograniczający plonowanie upraw (<http://klimada.mos.gov.pl/>). Wcześniej ruszająca wegetacja zwiększa ryzyko uszkodzeń spowodowanych wiosennymi przymrozkami.

Adaptacja wobec zmiany klimatu w rolnictwie

Adaptacja wobec zmiany klimatu ma zmniejszać jej negatywne lub zwiększać pozytywne skutki, stabilizując w ten sposób plonowanie upraw (Lobell 2014). Dotychczas zalecenia adaptacyjne dotyczyły przede wszystkim odpowiedniego doboru odmian roślin uprawnych do nowych warunków klimatycznych (bardziej odpornych na suszę), potrzeby wdrożenia nowych praktyk ochrony roślin (skutecznych przy większym nasileniu chorób i szkodników), jak również wprowadzania do rolnictwa na większą skalę nawodnień. Obecnie problem adaptacji rolnictwa postrzega się bardziej kompleksowo. Wskazuje się, że jeśli zmienia się bardzo znacząco „norma klimatyczna”, to zmianie powinny ulec również główne założenia (normy) dla przyjętych obecnie w rolnictwie technologii produkcji. Jednocześnie należy ograniczać potencjalne skutki zmiany klimatu przez zmniejszenie **narażenia** na niekorzystny przebieg pogody i unikanie ryzyka oraz ograniczać **podatność** na niekorzystne czynniki (np. przez zwiększanie zasobności gleb w substancję organiczną). Jednocześnie należy budować **potencjał adaptacyjny** rolnictwa (potencjał do wdrażania innowacji), aby odpowiednio zareagować na prognozowane potencjalne skutki zmiany klimatu w przyszłości.

Problem możliwości dostosowania rolnictwa do zmiany klimatu należy postrzegać również w kontekście dwóch podstawowych czynników ekonomicznych: potrzeb rynku i dostaw na rynek. Potrzeby rynku reguluje zapotrzebowanie krajowe i eksport oraz import produktów żywnościowych. Zmiana klimatu ma nie tylko wpływ na dostawy na rynek spowodowane wpływem na produktywność upraw, ponieważ ma wpływ na zasoby rolnicze, ale również na technologie możliwe do wykorzystania w produkcji przy zmienionych zasobach rolniczych. Zmiana klimatu będzie kształtowała zarówno możliwość zaspokajania krajowych potrzeb żywnościowych, jak i eksport oraz import produktów rolnych (rysunek 2). Należy tutaj wskazać rolę konsumentów w procesie adaptacji rolnictwa, których preferencje się zmieniają, a rolnictwo stara się zaspokajać ich potrzeby zarówno co do jakości, jak i ilości produktów. Zmiany nawyków konsumenckich, odpowiedni wybór diety,

również w aspekcie zrównoważonego rozwoju i reakcji na problemy związane ze zmianą klimatu, zadecydują o potrzebach adaptacyjnych rolnictwa oraz możliwościach zaspokajania potrzeb żywnościowych (Cole i in. 2018).



Rysunek 2. Rola klimatu w funkcjonowaniu rynków rolnych

Adaptacja gospodarstw wobec zmiany klimatu

Skuteczna adaptacja w rolnictwie wykracza poza typowe dla jego funkcjonowania praktyki w gospodarstwach. Większe ryzyko powstawania strat w rolnictwie wymaga włączenia się rolników w monitoring zagrożeń, co ułatwiają dostępne obecnie metody komunikacji. Zwraca się uwagę na potrzebę uwzględnienia aspektów zdrowotnych związanych z wykonywaniem pracy w wysokiej temperaturze oraz włączenie się rolnictwa w działania na rzecz środowiska w celu zwiększenia odporności agroekosystemów (tabela 1).

O metodach produkcji w rolnictwie zadecyduje konieczność ochrony zasobów węgla znajdującego się w glebach. Gleby stanowią drugi po oceanach zasób węgla na Ziemi, a intensywne użytkowanie gleb prowadzi do jego strat. Obserwowane zmiany klimatu oznaczają zwiększone ryzyko erozji gleb na skutek częstszych intensywnych opadów, ale również ryzyko degradacji materii organicznej w glebach w trakcie długotrwałych susz i okresowo wysokiej temperatury. W kontekście adaptacji rolnictwa wobec zmian klimatu należy podkreślać, że ilość materii organicznej decyduje o funkcjach gleby, wpływając na jej strukturę, możliwości zatrzymywania wody i zasobność w składniki odżywcze dla roślin. Wagę ochrony węgla organicznego w glebach pokazują szacunki jego zasobów w skali globalnej. Gleby zawierają czterokrotnie więcej węgla organicznego niż wynosi zasób tego pierwiastka w biomasie. Wskazuje się, że przy globalnym wzroście temperatury atmosfery znaczna część węgla zostanie utracona z wierzchnich warstw gleby ze względu na szybszą mineralizację. Proporcjonalnie więcej węgla z gleby zostanie

utracone przy wzroście temperatury atmosfery o 2°C. Jeśli prognozy te się urzeczywistnią a węgiel organiczny z gleb wejdzie do puli węgla atmosferycznego, to zawartość CO₂ w atmosferze wzrośnie o ok. 25 ppm w najbliższych 35 latach.

Na podstawie dotychczasowych badań wykazano, że niekorzystne w kontekście utraty glebowej materii organicznej są zmiany użytkowania gruntów związane z przekształcaniem lasów w uprawy rolne (–42%), ale również pastwisk w uprawy (–59%). Niekorzystne jest również przekształcanie pastwisk w plantacje wieloletnie (–10%). Korzystne natomiast z punktu widzenia sekwestracji węgla w glebach są przekształcenia upraw jednorocznych w pastwiska (+19%) czy upraw jednorocznych w uprawy

Tabela 1. Działania na rzecz ograniczenia niekorzystnego wpływu zmian klimatycznych w rolnictwie na poziomie gospodarstwa (według FAO, modyfikacja autora)

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. Zmiana praktyk 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. Zastosowanie nawodnień lub zmiana praktyk nawadniania 3. Wdrożenie praktyk rolniczych zatrzymujących wodę w glebie 4. Wdrożenie praktyki zatrzymywania wody w środowisku – mała retencja 5. 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
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 wskutek znacznych wahań 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

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 glebie (Crowther et al. 2016). Proponowanych jest wiele praktyk rolniczych, które mają na celu wzbogacanie gleb w materię organiczną (tabela 2). Wśród tych praktyk wymienia się: ograniczenie orki, siew bezpośredni, pozostawianie resztek poźniwnych jako mulcz na polu, uprawy 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 gleb (FAO 2004).

Tabela 2. Praktyki rolnicze stabilizujące produktywność i zwiększające ilość węgla organicznego w glebach (FAO 2004)

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
Rolnictwo bez nawodnień	Zarządzanie wodą/ochrona zasobów; racjonalne nawadnianie
Pełne wykorzystanie przestrzeni	Pozostawienie gruntów marginalnych jako ostoje bioróżnorodności
Monokultury	Zróżnicowanie zmianowania
Odwadnianie obszarów podmokłych	Odnawianie obszarów podmokłych

W raporcie opracowywanym przez Europejską Agencję Środowiska (EEA 2019) zdefiniowano zestaw praktyk adaptacyjnych do wdrożenia wobec zmiany klimatu. Poniżej praktyki te wymieniono wraz z krótką charakterystyką.

Dostosowanie terminów agrotechnicznych

W zmienionym klimacie zmienić należy podejście do planowania zabiegów uprawowych. Cieplesza jesień umożliwia opóźnienie siewu roślin ozimych, natomiast wcześniejsza wiosna wcześniejszy siew. Charakterystyczna dla obserwowanej zmiany klimatu jest większa zmienność warunków pogodowych, co nie sprzyja stosowaniu stałych terminów agrotechnicznych. Widoczny jest wpływ ocieplenia na rozwój roślin, dlatego należy zakładać wcześniejsze terminy zbiorów roślin uprawnych. Na modyfikację terminów zabiegów agrotechnicznych wpływać będą również częstsze niekorzystne zjawiska pogodowe, często uniemożliwiające przeprowadzenie zabiegów agrotechnicznych lub sprawiające, że zabiegi te nie będą

ekonomicznie uzasadnione. W wyniku możliwego nasilenia chorób i szkodników należy zakładać potrzebę modyfikacji dawek i liczby zabiegów z wykorzystaniem środków ochrony roślin lub zmiany w nawożeniu roślin.

Uprawa roślin (odmian) odpowiednich do nowych warunków klimatycznych

Wskazuje się na potrzebę wykorzystania w uprawie roślin o mniejszej wrażliwości na niekorzystne warunki klimatyczne, np. na przymrozki czy suszę, jak również choroby i szkodniki roślin uprawnych.

Dywersyfikacja upraw i zmianowanie

W warunkach większego zagrożenia utratą dochodów gospodarstwa rekomenduje się wprowadzenie do uprawy roślin o zróżnicowanej podatności na niekorzystne warunki pogodowe. Osiągnąć to można przez dywersyfikację produkcji (stosowanie różnych kierunków produkcji w gospodarstwie) oraz stosowanie rozbudowanego zmianowania upraw. Dywersyfikacja upraw ma uchronić od powstawania strat w gospodarstwie jako całości. Poprzez rozbudowanie zmianowania korzystnie można ograniczyć potrzeby nawozowe (ograniczyć emisję gazów cieplarnianych), zwiększyć bioróżnorodność w glebach oraz wpłynąć na polepszenie właściwości gleby (zwiększyć sekwestrację węgla w glebie).

Stosowanie roślin okrywowych

Utrzymywanie stałej okrywy roślinnej na polu lub mulczowanie pól (również przez materiały pochodzące z recyklingu – np. agrotkaniny) pozwala zmniejszyć ekspozycję gleby na wysoką temperaturę i zabezpieczyć glebę przed erozją i utratą glebowej materii organicznej. Zastosowanie roślin okrywowych w postaci poplonów wiążących azot z atmosfery pozwala również ograniczyć nawożenie roślin następnych, co jest korzystne z punktu widzenia zmniejszenia śladu węglowego rolnictwa oraz oddziaływania rolnictwa na zasoby wodne. Rośliny okrywowe ograniczają również ryzyko wystąpienia erozji.

Systemy uprawy ograniczające orkę – ograniczenie orki i rolnictwo konserwujące

Brak orki lub uprawa minimalna skutkuje pozytywnymi zmianami właściwości gleby, co ma znaczący wpływ na wzrost wilgotności gleby podczas sezonu wegeta-

cyjnego. Ograniczenie uprawy wpływa na zwiększenie zawartości węgla w górnej warstwie gleby. Stosowanie tej praktyki zależy w dużej mierze od rodzaju gleby i jakości terenu, niektóre gleby nie reagują dobrze na brak orki lub uprawę minimalną (np. ciężka glina). Ograniczenie orki może prowadzić również do rosnącej potrzeby stosowania pestycydów lub alternatywnych metod zwalczania szkodników. Rozwiązaniem w tej sytuacji jest stosowanie zintegrowanej ochrony przed szkodnikami w ramach systemów wspomagania decyzji.

Systemy uprawy ograniczające orkę mają być wprowadzane w ramach koncepcji tzw. rolnictwa konserwującego. Według definicji Organizacji Narodów Zjednoczonych ds. Wyżywienia i Rolnictwa (<http://www.fao.org/conservation-agriculture/en/>), 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 stosowanie trzech zasad:

- 1) minimalnej mechanicznej ingerencji w glebę (siew bezpośredni, uprawa pasowa, siew w mulcz), pozwalającej zachować jej funkcje akumulacji materii organicznej i poprawić stosunki wodne;
- 2) stałej okrywy roślinnej przez międzyplony, poplony czy mulczowanie;
- 3) płodozmianu bogatego gatunkowo, redukującego rozwój chwastów, chorób i szkodników oraz wprowadzenie do zmianowania roślin motylkowatych lub ich mieszanek z trawami.

W rolnictwie konserwującym szczególną uwagę zwraca się na znaczenie zasobności gleb w materię organiczną, która wpływa na poprawę właściwości wodnych gleb.

Rolnictwo precyzyjne

Zwiększenie efektywności stosowania środków produkcji umożliwiają narzędzia do ich precyzyjnej aplikacji (wysiew nasion, siew nawozów, stosowanie środków ochrony roślin, zbiór). Rolnictwo precyzyjne wykorzystuje informacje o przestrzennej zmienności żyzności gleby (cyfrowe mapy gleb), zróżnicowaniu roślinności w obrębie pola (wskaźniki roślinności pozyskane zdalnie – teledetekcja niskopułapowa i satelitarna), czujniki rozmieszczone na polu, np. do pomiaru wilgotności gleby.

Rolnictwo ekologiczne

Wykorzystanie w rolnictwie ekologicznych nawozów organicznych pozytywnie wpływa na zasoby węgla w glebie. Zwiększa to pojemność wodną gleb, przez co zmniejsza podatność roślin na suszę. System rolnictwa ekologicznego wpisuje się w koncepcje rozwiązań adaptacyjnych bazujących na zasobach naturalnych.

Zwiększenie efektywności nawodnień

Rolnictwo jest głównym użytkownikiem wody na Ziemi, dlatego racjonalne korzystanie z tego zasobu i ochrona wyznaczają możliwości jego rozwoju. W wielu regionach produkcji rolnej pogłębiają się problemy z niedoborem wody, głównie za sprawą wzrastających potrzeb całej gospodarki, i ograniczeniami w dostępie do jej zasobów. Przewiduje się, że prognozowana wyższa temperatura atmosfery zwiększy znacząco parowanie, a zmiany cyrkulacji atmosferycznej wpłyną niekorzystnie na rozkład i charakter opadów. W wielu regionach produkcji rolnej brak zasilania rzek wodami z topnienia lodu i śniegu może dodatkowo ograniczyć dostępne dla rolnictwa zasoby wody, a tylko racjonalne, bardziej efektywne jej wykorzystanie w rolnictwie zadecyduje o jej dostępności (de Fraiture i Wichelns 2010). Większą efektywność nawodnień można osiągnąć przez odpowiedni dobór systemu nawodnieniowego do uprawy oraz dopasowanie terminów i dawek nawodnieniowych do potrzeb roślin, jak i do warunków glebowych.

Hodowla zwierząt

Większa częstość fal upałów wymaga wykorzystania w hodowli zwierząt bardziej odpornych na ciepło i zapewnienia im odpowiednich pomieszczeń czy instalacji obniżających temperaturę (zacienienie, systemy wentylacyjne) i dostęp do wody.

Agroekologia i biogospodarka – ramy działania dla adaptacji wobec zmiany klimatu

Główną zasadą prowadzenia badań w ramach koncepcji agroekologii jest współpraca z rolnikami, konsumentami żywności, społecznościami tworzącymi politykę w ukierunkowaniu tematyki badawczej i innowacji w rolnictwie. Jest to odejście od koncepcji „powiedz rolnikom, co mają robić”, a przyjęcie koncepcji „rozwiązuj problemy rolnika wspólnie z nim” z wykorzystaniem najlepszych narzędzi badawczych, uwzględniając warunki środowiska, w których rolnictwo funkcjonuje, oraz długoterminowe korzyści środowiskowe (Méndez i in. 2013).

Globalne ocieplenie i obserwowane zmiany klimatu wymuszają inwestowanie w nowy model gospodarki nazwany biogospodarką. Biogospodarka najogólniej ujmując jest sposobem gospodarowania, który dąży do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych, powodujących globalne ocieplenie atmosfery Ziemi. Komisja Europejska (2012) w strategii dla rozwoju biogospodarki wskazała, że ten model gospodarowania obejmuje produkcję na bazie odnawialnych zasobów biologicznych i ich przekształcanie w żywność, pasze, produkty biologiczne i bioenergię.

Do biogospodarki zaliczono rolnictwo, leśnictwo, rybołówstwo, produkcję żywności, celulozy i papieru, a także części przemysłu chemicznego, biotechnologicznego i energetycznego bazujące na biomase i surowcach odnawialnych. Z punktu widzenia przemysłu biogospodarka dąży do zmian w sposobach wytwarzania energii, polegających na odejściu od wykorzystywania surowców nieodnawialnych, takich jak węgiel i ropa naftowa, oraz wytwarzania produktów na bazie innych niż surowce kopalne – biologicznych substytutów (np. torby plastikowe ze skrobi kukurydzianej). Podkreśla się potrzebę zrównoważonego wykorzystania odpadów i ograniczania negatywnego wpływu gospodarki na środowisko. Pierwszą siłą napędową biogospodarki jest potrzeba stworzenia systemu energetycznego wykorzystującego źródła odnawialne energii, takie jak Słońce, woda i wiatr oraz biomasa. Drugą jest obawa związana ze zmianami klimatu dotycząca zmniejszenia produktywności w rolnictwie na skutek negatywnych oddziaływań klimatycznych i zwiększenia ryzyka produkcji. Biogospodarce przypisuje się cel zrównoważonego gospodarowania zasobami, który to cel jest od samego początku przypisany modelowi rolnictwa zrównoważonego. Rola rolnictwa w modelu gospodarki opartej na zasadach zrównoważonego rozwoju ma polegać na zapewnieniu bezpieczeństwa żywnościowego, do czego potrzebny jest proces adaptacji wobec obserwowanej zmiany klimatu.

Podsumowanie

Najbardziej pożądane efekty działań na rzecz rolnictwa wobec zmiany klimatu to przede wszystkim zrozumienie wymiaru czasowego i efektów zachodzących zmian. W pierwszej kolejności istnieje potrzeba działania w zakresie zorientowania polityki rolnej na realizację celów klimatycznych, co ma być wdrożone w ramach Wspólnej Polityki Rolnej UE po 2021 roku. Równolegle powinien nastąpić proces zorientowania kluczowych programów badań, by wspierać wdrożenie potrzebnych lokalnie innowacji, zarówno w zakresie nowej koncepcji rolnictwa, jak i wdrożenia technologii odpowiednich do nowych warunków klimatycznych. Możliwości wdrożenia wymienionych powyżej praktyk adaptacyjnych w celu minimalizacji zagrożeń są uzależnione od inwestycji w nowe technologie i infrastrukturę. Część z niezbędnych inwestycji zostanie najprawdopodobniej sfinansowana przez samych rolników, a także inne podmioty uczestniczące w cyklu produkcji żywności. Niemniej jednak zakres wyzwań, jakie stawia przed sektorem rolno-spożywczym zmiana klimatu, jest znaczący i wymaga wsparcia poprzez lokalne, regionalne i krajowe programy adaptacji sektora rolno-spożywczego do skutków zmiany klimatu.

Opracowano w ramach Programu wieloletniego IUNG-PIB na lata 2016-2020, zadanie 1.7: Opracowanie i doskonalenie metod oceny oraz prognozowania (modelowania) skutków środowiskowych i produkcyjno-ekonomicznych WPR i zmian klimatu.

Literatura

- Burney J.A., Davis S.J., Lobell D.B. 2010. Greenhouse gas mitigation by agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107, 12052–12057.
- Cole M.B., Augustin M.A., Robertson M.J., Manners J.M. 2018. The science of food security. *Science of Food*, 2, 1–8.
- COM/TAD/CA/ENV/EPOC (2018)15 2018. Bio-economy and the sustainability of the agriculture and food system: oportunities and policy challenges. 1–12 pp.
- Crowther T.W., Todd-Brown K.E.O., Rowe C.W. et al. 2016. Quantifying global soil carbon losses in response to warming. *Nature*, 540, 104–110.
- European Environment Agency 2019. Climate change adaptation in the agriculture sector in Europe. EEA Report, 112.
- FAO 2004. Carbon sequestration in dryland soils. *World Soil Resources Reports* 102. Rome. 129 pp.
- de Fraiture C., Wichelns D. 2010. Satisfying future water demands for agriculture. *Agricultural Water Management*, 97, 502–511.
- Górski T., Kozyra J., Doroszewski A. 2008. Field crop losses in Poland due to extreme weather conditions – case studies. [w:] Liszewski S. (red.) *The Influence of Extreme Phenomena on the Natural Environment and Human Living Conditions*. Łódzkie Towarzystwo Naukowe, Łódź.
- 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., 630 pp.
- Kopiński J. 2011. Tendencje zmian intensywności produkcji rolniczej w Polsce w aspekcie potencjalnych oddziaływań środowiskowych. *Zeszyty Naukowe SGGW w Warszawie. Problemy Rolnictwa Światowego*, 11(26), z. 1, 95–104.
- Kundzewicz Z.W., Piniewski M., Mezghani A. et al. 2018. Assessment of climate change and associated impact on selected sectors in Poland. *Acta Geophysica*, 66, 1509–1523.
- Lobell D.B. 2014. Climate change adaptation in crop production: Beware of illusions. *Global Food Security*, 3, 72–76.
- Méndez E.V., Bacon C.M., Cohen R. 2013. Agroecology as a transdisciplinary, participatory, and action-oriented approach. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 37, 3–18.

- Porter J.R., Xie L., Challinor A.J. et al. 2015. Food security and food production systems. *Climate Change 2014 Impacts, Adaptation and Vulnerability: Part A: Global and Sectoral Aspects*, 485–534.
- Schneider S., Azar C., Baethgen W. et al. 2011. Overview of Impacts, Adaptation and Vulnerability to Climate Change. *Impacts, adaptation and vulnerability*, 75–103.

UWAGI I PRZEMYŚLENIA DOTYCZĄCE ZMIAN KLIMATU I ICH NASTĘPSTW

NATASZA GAJDA

UNIwersytet Warszawski
Wydział Fizyki

Szanowni Państwo!

Z ogromną przyjemnością skorzystałam z Państwa zaproszenia do wzięcia udziału w tak wyjątkowym wydarzeniu, jakim była konferencja zatytułowana „Zmiany klimatu i ich następstwa” z dnia 26 listopada 2019 roku. Ponieważ podczas podsumowania obrad prosili Państwo o przesyłanie ewentualnych uwag czy przemyśleń przez wszystkich uczestników, postanowiłam i ja dołączyć do dyskusji swój głos.

Jestem pracownikiem Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, gdzie już wcześniej, podczas wykładu inauguracyjnego, miałam okazję wysłuchać referatu pana profesora Szymona Malinowskiego. Mechanizmy globalnego ocieplenia oraz przewidywane skutki tego procesu są mi dobrze znane, także dzięki panu profesorowi. Za to dużo nowej wiedzy dostarczyły mi pozostałe trzy referaty.

Chciałabym w tym miejscu skupić się na słowie wstępnym, wygłoszonym przez pana profesora Andrzeja Eliasza. Profesor Eliaz wspomniał o kulturze rozmytych racji, która powoduje, że ludzie wykształceni ulegają opiniom laików, mieniających samych siebie ekspertami. Wskazał również na przyczyny tego stanu rzeczy, takie jak niewykształcone umiejętności odrzucania fałszywych doniesień. Zauważył, że prawdziwi eksperci często posługują się skomplikowanym językiem, podczas gdy aspirujący do takiej pozycji laicy mówią w sposób uproszczony, przez co łatwiej trafiają do szerszych mas. Całkowicie zgadzam się także z panem profesorem, że nie należy zaniedbywać wiedzy humanistycznej, bo do walki z globalnym ociepleniem,

która powiedzie się wyłącznie wtedy, kiedy uda się zaangażować całe społeczeństwa, nie wystarczy wiedza ekspercka z zakresu nauk przyrodniczych.

Na konferencję nie zaproszono klimatycznych negacjonistów, zakładając, że dyskusja z nimi byłaby jałowa. Zgadzam się z taką decyzją: próby merytorycznej dyskusji z negacjonistami nie mają sensu.

Ze swojej strony chciałabym zaproponować pewne kroki, które wydają mi się być niezbędne właśnie w kontekście humanistycznego podejścia do zmian klimatu, nastawionego na dotarcie do jak najszerszych grup społeczeństwa. Bo choć szkoda czasu na rozmowy z negacjonistami, nie możemy tkwić jedynie we własnym sosie osób już świadomych postępującego zagrożenia. A wydaje mi się, że w dużej mierze tak właśnie wygląda obecna sytuacja. Dyskutujemy pomiędzy sobą na takich czy innych spotkaniach jak wspomniana wyżej konferencja. Tymczasem pilną sprawą jest trafienie z tym tematem do szerszej publiczności. Nie możemy liczyć tylko na takie inicjatywy jak film pt. „Lód płonie” – którego producentem jest znany z ogromnego zaangażowania w działalność na rzecz ratowania Ziemi Leonardo di Caprio, bo już nie ma czasu na zwłokę. A bez wsparcia ze strony szerokich mas społeczeństwa nie przebijemy się na poziom decyzji rządu, który ucieka od tematu choćby ze względu na kontekst węgla.

Negacjonistów oraz osoby podważające globalne ocieplenie znaleźć można także w środowiskach akademickich. Ich działania są bardzo szkodliwe, ponieważ rozmawiają oni na temat klimatu i jego przemian z ludźmi, którzy wiedząc, gdzie te osoby pracują, mogą odbierać ich głosy jako reprezentatywne dla całego środowiska, które samo nie jest pewne co do słuszności zdecydowanego podejścia do zagrożenia. Dlatego pierwszą propozycją, jaka przychodzi mi do głowy, jest rozpoczęcie zmian od samych siebie i zejście do podstaw. Sugeruję rozważenie zorganizowania wykładu, który można byłoby zaliczyć w poczet obowiązkowego szkolenia dla pracowników wszystkich szkół wyższych, poczynając od serwisu sprzątającego. Dobrze byłoby, gdyby takie szkolenie trwało godzinę, maksymalnie półtorej, i aby było współprowadzone przez co najmniej dwóch, a najlepiej trzech czy nawet czterech ekspertów, każdy po 15-20 minut, ponieważ większa liczba osób zajmujących to samo stanowisko zdecydowanie silniej przekonuje słuchacza do swoich racji. W razie trudności z zapewnieniem obecności aż tylu prowadzących wypowiedzi jednego czy dwóch ekspertów mógłby zastąpić film z ich udziałem. Program takiego szkolenia mógłby być zbliżony do skrótu konferencji, do której się odnoszę. Tyle że podczas takich szkoleń, które można byłoby zorganizować na poszczególnych kampusach, grupujących blisko położone wydziały, koniecznie należałoby odnieść się do insynuacji wtłaczanych ludziom do głów przez negacjonistów i zdecydowanie je zdyskredytować.

Podczas konferencji bardzo przekonujące było porównanie bilansu energii na powierzchni naszej planety do Księżyca, na którym nie ma ludzi ani spalania węgla. Dobrze byłoby uznać jako fakt to, o czym mówił profesor Szymon Malinowski, a co podnoszą negacjoniści, że w czasach dinozaurów w atmosferze było znacznie więcej dwutlenku węgla niż obecnie. Nie jest to jednak żaden argument, bo tak jak teraz, tak i w tamtym okresie warunki panujące na Ziemi kształtowało wiele powiązanych ze sobą czynników, których analizowanie bez odniesienia do pozostałych nie ma najmniejszego sensu. Ważną informacją jest też ta, przy jakim poziomie dwutlenku węgla wyewoluowały nasze mózgi, a jaki mamy obecnie.

Na takim szkoleniu należałoby zaprzeczyć wprost, jakoby Ziemia była w naturalnym cyklu ocieplenia oraz temu, że kilkudziesięciu noblistów (zdaje się, że negacjoniści podają ich liczbę jako 77) podpisało dokument podważający globalne ocieplenie, podkreślając, że eksperci mówią tu jednym głosem. Przyznać, że, owszem, plon potencjalny rośnie przy wyższym stężeniu dwutlenku węgla, ale tylko dopóki rośliny mają wodę i dopóki słońce nie spali im liści. Wyjaśnić, że okres kilku najbliższych lat, w którym w związku z globalnym ociepleniem Polska ma szanse na większe zbiory, skończy się bezpowrotnie, bo w tym rejonie geograficznym najszybciej zabraknie wody. Zwrócić także uwagę na to, że pojawi się problem z ubezpieczycielami i kosztami składek, skoro wzrośnie prawdopodobieństwo klęsk żywiołowych i utraty plonów.

Należałoby poza tym uświadomić ludziom, że gdy już z naszych lasów całkowicie znikną sosny, potem dęby, buki, świerki, brzozy... a wyrosną palmy, to nie znaczy zaraz, że będziemy tu popijać w ich cieniu mleczko kokosowe. I nie strasząc nadmiernie uchodźcami, powiedzieć, że w tym czasie w Afryce w pył obróćą się wszelkie obszary, na których jeszcze coś rośnie, zaprzeczając przy tym z pełną stanowczością temu, co twierdzą negacjoniści, czyli że Sahara się zazielenia.

Dobrze byłoby przyznać, że Greta Thunberg została w pewnym stopniu wykreowana przez rodziców, silnie angażujących się w walkę z globalnym ociepleniem, co jednak nie zmienia faktu, że sama także jest tej sprawie bardzo oddana i ma prawo przemawiać jako głos swojego pokolenia. Że nie ma znaczenia jej pokrewieństwo ze Svante Arrheniusem, noblistą z 1903 roku, który ocenił, że wytwarzanie dwutlenku węgla przez człowieka może spowodować nadmierny wzrost temperatury dopiero za kilkadziesiąt lat, i któremu wydawało się, że może to być zjawisko korzystne dla jego zimnej ojczyzny. Kimkolwiek był jeden z jej przodków, nie zmienia to faktu, że dziewczynka stała się symbolem młodzieży walczącej o to, by w ogóle miała szansę żyć, pomimo tak ogromnych zniszczeń dokonanych na planecie przez obecne oraz wcześniejsze pokolenia. Nie wolno zostawić dla negacjonistów miejsca, które mogliby wypełnić własnymi treściami. Należy zdyskredytować ich już na samym wstępie, stracić argumenty z języków. I zaznaczyć, że jeżeli opanujemy emisję dwu-

tlenku węgla – a jeszcze nie zostało przesądzone, że to się nie uda, jeszcze nie jest definitywnie za późno – to będziemy mieli szansę na zabranie się za rozwiązywanie kolejno całej reszty problemów zanieczyszczonego środowiska.

Proponowałabym także nawiązać do problemu dziury ozonowej, również często podnoszonego przez negacjonistów jako coś, co rzekomo było wyłącznie straszką w latach 80. XX wieku, tak jak obecnie globalne ocieplenie. Wyjaśnić, że ten problem został zahamowany właśnie dzięki kompleksowym i jednolitym działaniom przedsięwziętym przez 196 krajów, a także naciskom na takie kraje jak np. Chiny przez zdecydowaną większość świata.

Taką akcję szkoleniową należałoby następnie nagłośnić, aby do innych regionów Polski dotarła informacja, że warszawskie uczelnie edukują swoich pracowników na szeroką skalę, sięgając do samych podstaw. Być może doczekalibyśmy się podobnych działań w innych regionach, może nawet podjęte zostałyby one przez duże firmy jako jeden z elementów cyklicznych szkoleń.

Drugi etap to dotarcie do informacyjnie nośnych grup zawodowych, od których można by oczekiwać, że samoistnie przełożą dalej to, co usłyszą, gronu szerszemu niż własna rodzina. Poszukując osób lubiących posiadać własne zdanie, mających stały kontakt z coraz to nowymi ludźmi, z którymi nawiązują pewne krótkoterminowe relacje, nie sposób zapomnieć o taksówkarzach. Zwłaszcza w przypadku tych nastawionych głównie na obsługę lotniska dodanie tematu globalnego ocieplenia do rozmów z pasażerami na walizkach narzuca się wręcz samo.

Szkolenie dla taksówkarzy jest z pewnością trudniejsze organizacyjnie niż szkolenie na uczelniach dla własnego personelu. Trzeba byłoby to zrobić w porozumieniu z korporacjami oraz dostosować czas szkolenia (absolutnie nieprzekraczający 1,5 godziny wraz z ewentualną dyskusją) do godzin zniknięcia pasażerów (czyli 12.00-14.00). Pamiętać należy też, że ten, kto wybiera taki zawód, to niezależny przedsiębiorca, osoba, która niechętnie poświęci swój czas, nie mając z tego żadnych profitów. Trzeba byłoby więc o profitach pomyśleć. Pierwszy to próba przekonania korporacji, aby taksówkarze uczestniczący w szkoleniu w tym dniu (tygodniu?) mieli pierwszeństwo w otrzymywaniu zleceń. Druga to zorganizowanie darmowego ciepłego posiłku w miejscu, gdzie odbędzie się szkolenie – tylko dla tych jednak, którzy dotrwią do jego końca. No i absolutnie w tej grupie zawodowej nie wchodzi w grę przymus odbycia szkolenia – jeżeli wśród taksówkarzy trafi się negacjonista, powodzenie całego przedsięwzięcia zostanie obciążone ogromnym ryzykiem. Lepiej więc, aby w ogóle nie przychodził.

Trzeci pomysł to starania, aby dotrzeć do społeczeństwa poprzez informacje rozpowszechnione w serialach. Warto podjąć próbę przekonania reżyserów polskich seriali, a przynajmniej jednego z nich, do wplecenia tematu globalnego ocieplenia, np. dużego fragmentu opisanego wyżej szkolenia, a może nawet jego całości,

w filmową akcję i obudowania go serialowymi wydarzeniami. W ten sposób tylnymi drzwiami weszlibyśmy wprost do domów znacznej części polskiego społeczeństwa.

Licząc na to, że uda nam się wspólnie uratować tę planetę przed zagładą, a przynajmniej na pewien czas odsunąć ją, pozostaję z poważaniem.

PO CO MINISTERSTWO KLIMATU?

KRZYSZTOF HAMAN

UNIwersytet Warszawski

Instytut Geofizyki

Pomysł powołania Ministerstwa Klimatu nieco mnie zdumiał, ale też skłonił do zastanowienia się, jakie zadania stanęłyby przed taką instytucją, gdyby potraktować ją poważnie, a nie jako element rozgrywek politycznych.

Widziałbym tu trzy grupy problemów:

1. Włączanie Polski w globalną walkę o ograniczenie efektu cieplarnianego.
2. Opracowywanie strategii adaptacji do grożących nam zmian klimatu.
3. Ochronę klimatu lokalnego (lub raczej klimatów lokalnych) i ewentualną jego meliorację.
4. Upowszechnianie w społeczeństwie rzetelnej wiedzy o problemach związanych ze zmianami klimatu.

Punkt 1 ważny jest głównie ze względów politycznych jako wyraz solidarności międzynarodowej, gdyż polskie emisje gazów cieplarnianych są bardzo małą częścią emisji globalnych. Jego realizacja jest kwestią bardzo złożoną zarówno pod względem technicznym, jak i gospodarczo-społecznym i nie będę się tu nad nim szczegółowo zatrzymywał.

Punkt 2 uważam za chyba najważniejszy, bo dość pesymistycznie zapatruję się na szanse wielkiego sukcesu w ograniczaniu globalnego ocieplenia. Przede wszystkim należy tu wytypować najważniejsze zagrożenia. W chwili obecnej trudno wiarygodnie prognozować szczegółowe zmiany klimatu w skali tak małego obszaru jak Polska. Poza ogólnym ociepleniem i być może dalszym pogorszeniem stosunków wodnych, które mogą wymusić rozmaite zmiany w życiu społecznym, zwłaszcza w gospodarce rolnej i leśnej, można oczekiwać zwiększonej częstości zjawisk ekstremalnych i nad tym chciałbym się tu bardziej szczegółowo zatrzymać. Wśród nich jako najgroźniejsze widziałbym: a) wielotygodniowe okresy suszy, b) letnie

fale upałów. Mniej groźne w skali krajowej, choć lokalnie dotkliwe, wydają mi się nawalne opady czy wichury, których wzrostu częstości też można oczekiwać. Tu jedynym remedium wydaje się doskonalenie służb ratunkowych zarówno pod względem organizacyjnym, jak i sprzętowym.

W odniesieniu do pierwszego z tych zagrożeń jako główną reakcję widziałbym rozbudowę wszelkich form tzw. małej retencji na różnych szczeblach organizacyjnych, do poziomu poszczególnych gospodarstw domowych włącznie (np. zbieranie deszczówki). Lokalnie można by ją niekiedy łączyć z małą energetyką wodną. Warto by też podjąć próby przynajmniej częściowej odbudowy tego, co w tym zakresie zniszczono w czasach PRL, m.in. przez nie do końca przemyślane zabiegi melioracyjne. Ważne jest też przygotowanie służb ratunkowych na możliwe zwiększenie zagrożenia pożarowego, zwłaszcza w lasach. **Ze względu na konieczność szerokiego zaangażowania społeczeństwa w te działania niezbędna jest odpowiednia akcja edukacyjna i propagandowa.** W sprawie ewentualnych wielkich projektów hydrotechnicznych nie chcę się wypowiadać, ponieważ brak mi odpowiednich kompetencji, ale nie sądzę, by w polskich warunkach mogły one odegrać bardzo istotną rolę.

W przygotowaniach na fale upałów, groźne przede wszystkim ze względu na skutki zdrowotne, warto przyrzeć się rozwiązaniom stosowanym w krajach tropikalnych i subtropikalnych, gdzie temperatury zbliżone do maksymalnych, jakich możemy oczekiwać, są obecnie codziennością. Myślę tu przede wszystkim o powszechnym uwzględnieniu tego aspektu w budownictwie zarówno projektowanym, jak i modernizowanym istniejącym (osłony przeciwsłoneczne, izolacja cieplna, bezwładność cieplna, klimatyzacja itp.). Obecna moda na stosowanie w budynkach publicznych przeszklonych elewacji bez skutecznych osłon przeciwsłonecznych wydaje się ryzykowna. Należy też przewidzieć możliwość wprowadzania zmian w organizacji pracy w okresach upałów (np. sjeisty, dostęp do wody pitnej). **Niezwykle ważne wydaje się także upowszechnianie wiedzy o właściwym, bezpiecznym zachowaniu w warunkach nietypowo wysokich temperatur.**

W punkcie 3 na plan pierwszy wysuwa się uwzględnianie aspektów klimatycznych w planach miejscowych – unikanie nadmiernego zagęszczania zabudowy, niewłaściwej lokalizacji uciążliwych pod względem klimatycznym zakładów produkcyjnych itp., choć chwilowo najważniejsza wydaje się walka ze smogiem (można jednak oczekiwać, że wraz z postępem dekarbonizacji problem smogu będzie w naturalny sposób zanikał). Ważne jest też rozszerzanie zasięgu różnych form zieleni, zwłaszcza zadrzewienia, także w obszarach wiejskich (drogi, zadrzewienia śródpolne).

Punkt 4 jest na tyle oczywisty, że chyba nie wymaga obszerniejszych komentarzy.

Realizacja tych wszystkich zadań wymaga oczywiście współdziałania różnych podmiotów – zarówno państwowych, samorządowych, jak i prywatnych, a także szerokiego zaangażowania społeczeństwa. Ministerstwo Klimatu powinno odgrywać głównie rolę inspiratora i koordynatora odpowiednich działań, a przede wszystkim powinno dbać o prawodawstwo je ułatwiające, z czym, jak wiadomo, nie jest w naszym kraju najlepiej.

WYDAWNICTWA
INSTYTUTU PROBLEMÓW WSPÓŁCZESNEJ CYWILIZACJI
IM. MARKA DIETRICHA

Rok 1997

- I – Ochrona własności intelektualnej
- II – Etyka zawodowa
- III – Jakość kształcenia w szkołach wyższych
- IV – Akademicka Komisja Akredytacyjna. System oceny jakości kształcenia i akredytacji w szkolnictwie wyższym

Rok 1998

- V – Instrumenty rozwoju systemu kształcenia w Polsce
- VI – Bezpieczeństwo człowieka we współczesnym świecie
- VII – Misja uczelni
- VIII – Polska a integracja europejska w edukacji. Aspekty informatyczne

Rok 1999

- IX – Bezpieczeństwo człowieka we współczesnym świecie
- X – Problemy etyczne techniki
- XI – Koszty kształcenia w szkołach wyższych w Polsce. Model kalkulacyjnych kosztów kształcenia
- XII – Władza i obywatel w społeczeństwie informacyjnym

Rok 2000

- XIII – Kształcenie międzyuczelniane. Studium warszawskie
- XIV – Produkcja, konsumpcja i technika a ocieplenie klimatu
- XV – Czy kryzys demograficzny w Polsce?
- XVI – Ekonomiczne i społeczne efekty edukacji

Rok 2001

- XVII – Ekonomiczne i społeczne efekty edukacji
- XVIII – Wolność a bezpieczeństwo
- XIX – Ekonomiczne efekty edukacji w Polsce

Rok 2002

- XX – Pamięć i działanie
- XXI – Bezpieczeństwo człowieka we współczesnym świecie

- XXII – Problemy etyczne w nauce
- XXIII – Autorytet uczelni
- XXIV – Jakość kształcenia i akredytacja w szkolnictwie wyższym w Polsce

Rok 2003

- XXV – Zarządzanie bezpieczeństwem w sytuacjach kryzysowych
- XXVI – Kierunki kształcenia i standardy nauczania w polskim szkolnictwie wyższym

Rok 2004

- XXVII – Internet i techniki multimedialne w edukacji
- XXVIII – Uczelnie a innowacyjność gospodarki
- XXIX – Decyzje edukacyjne

Rok 2005

- XXX – Emigracja – zagrożenie czy szansa?
- XXXI – Zagadnienia bezpieczeństwa energetycznego
- XXXII – Polskie uczelnie XXI wieku
- XXXIII – Zagadnienia bezpieczeństwa wodnego

Rok 2006

- XXXIV – Humanizm i technika
- XXXV – Rola symboli
- XXXVI – Wizja polskich uczelni w społeczeństwie globalnym

Rok 2007

- XXXVII – Uczyć myśleć
- XXXVIII – Obraz postępu i zagrożeń cywilizacyjnych w mediach
- XXXIX – Czasopisma naukowe – zmierzch czy transformacja?

Rok 2008

- XL – Warszawa Akademicka – Seminarium
- XLI – Warszawa Akademicka
- XLII – Polscy uczniowie w świetle badań PISA
- XLIII – Prywatność – prawo czy produkt?

Rok 2009

- XLIV – Woda w obszarach nieurbanizowanych
- XLV – Społeczeństwo polskie wobec narodzin III Rzeczypospolitej (1988–1990)

Rok 2010

- XLVI – Wykłady inaugurujące rok akademicki 2009/2010
- XLVII – Podsumowanie dwunastolecia 1996–2008 – Marek Dietrich
- XLVIII – Współpraca szkół średnich i wyższych
- XLIX – Natura 2000. Szanse i zagrożenia

Rok 2011

- L – Strategia nauczania matematyki w Polsce – wdrożenie nowej podstawy programowej
- LI – Wykłady inaugurujące rok akademicki 2010/2011
- LII – Problemy nauczania fizyki w szkołach średnich i wyższych
- LIII – Problemy nauczania biologii w szkołach średnich i wyższych

Rok 2012

- LIV – Wykłady inaugurujące rok akademicki 2011/2012
- LV – Problemy nauczania chemii w szkołach średnich i wyższych

Rok 2013

- LVI – Wykłady inaugurujące rok akademicki 2012/2013
- LVII – Wykłady inaugurujące rok akademicki 2013/2014

Rok 2014

- LVIII – Rekrutacja na studia od roku akademickiego 2015/2016 w kontekście zmian w systemie oświaty. Informator dla szkół wyższych
- LIX – Badania PISA – przeszłość, teraźniejszość i przyszłość
- LX – Perspektywy rozwoju kształcenia zawodowego w Polsce

Rok 2015

- LXI – Wykłady inaugurujące rok akademicki 2014/2015
- LXII – Praktyczne aspekty rekrutacji na studia od roku akademickiego 2015/2016

Rok 2016

- LXIII – Miejsce nauk podstawowych w kształceniu wyższym
- LXIV – Wykłady inaugurujące rok akademicki 2015/2016

Rok 2017

- LXV – Student pierwszego roku
- LXVI – Wykłady inaugurujące rok akademicki 2016/2017
- LXVII – Autonomia uczelni i środowiska akademickiego – odpowiedzialność i etos akademicki
- LXVIII – Wykłady inaugurujące rok akademicki 2017/2018

Rok 2019

LXIX – Wykłady inaugurujące rok akademicki 2018/2019

LXX – Szanse i wyzwania dla polskich wydawnictw i czasopism naukowych

Rok 2020

LXXI – Wykłady inaugurujące rok akademicki 2019/2020

LXXII – Nauczanie po pandemii. Nowe pytania czy nowe odpowiedzi na stare pytania?

Rok 2021

LXXIII – Zmiany klimatu i ich następstwa

ISBN 978-83-89871-44-2