

LECH RYSZKOWSKI, ANDRZEJ KĘDZIORA,
STANISŁAW BAŁAZY

Przewidywane zmiany globalne klimatu a lasy i zadrzewienia krajobrazu rolniczego

The Predicted Effect of Global Changes on Mid-field Forests
and Shelterbelts in Agricultural Landscape

Wstęp

Postępy w badaniach nad procesami regulującymi bilans cieplny Ziemi umożliwiły rozpoznanie wpływu działalności gospodarczej człowieka na zmiany globalne klimatu. Uwalniane do atmosfery tzw. "gazy szklarniowe" (CO₂, N₂O, CH₄, freony i inne) zwiększają pochłanianie długofalowego promieniowania Ziemi, a przez reemisję ciepła w tzw. promieniowaniu zwrotnym przyczyniają się do wzrostu temperatury powierzchni Ziemi. Podstawy fizyczne tego zjawiska są bardzo dobrze rozpoznane. Stwierdzony wzrost koncentracji gazów szklarniowych w atmosferze skorelowany jest z udokumentowanym wzrostem temperatury powierzchni Ziemi o 0,5°C w ciągu ostatniego stulecia (3, 4, 25). Narastająca częstotliwość występowania zjawisk ekstremalnych (susze, huragany, pożary itp.) interpretowana jest również jako świadectwo zachodzących zmian globalnych klimatu Ziemi. Nic więc dziwnego, że problematyka zmian globalnych stała się ostatnio przedmiotem nie tylko dużego międzynarodowego programu (IGBP), ale znalazła się również w centrum uwagi opinii społecznej.

Należy jednakże podkreślić, że pomimo nie budzącej wątpliwości wiedzy na temat wpływu gazów szklarniowych na bilans cieplny Ziemi, prognozy przemian klimatu są bardzo niepewne. Wiąże się to z dużymi brakami wiedzy na temat powiązań pomiędzy różnymi procesami określającymi całokształt zjawisk klimatycznych. Tak np., niezbyt dokładnie poznane są powiązania pomiędzy zmianami temperatury a intensywnością opadów, zachmurzeniem czy przemieszczaniem się mas powietrza itp. Powoduje to, że prognozy

*Referat wygłoszony na seminarium pt. "Ekosystemy leśne w obliczu globalnych zmian klimatu", Białowieża, grudzień 1993 r.

przedstawione są jako konsekwencje przyjmowanych wariantowo parametrów w postaci scenariuszy o różnym prawdopodobieństwie ich realizacji.

Pod koniec lat osiemdziesiątych Zakład Badań Środowiska Rolniczego i Leśnego PAN wraz z Katedrą Meteorologii Akademii Rolniczej w Poznaniu podjęły współpracę z Międzynarodowym Instytutem Stosowanych Analiz Systemowych (IIASA) w Austrii, celem określenia konsekwencji ekologicznych zmian globalnych klimatu dla rolnictwa według kilku możliwych scenariuszy (18, 28). W następnych latach badania te zostały znacznie rozwinięte w kierunku przewidywanych zmian bilansów cieplnych, zasobów wodnych oraz warunków produkcji rolnej w różnych regionach fizjograficznych kraju. Podjęto również próbę oceny przekształceń układów biocenotycznych krajobrazu rolniczego wywołanych przez zmiany globalne (16, 29, 30).

Czynniki kształtujące bilans cieplny regionu

Bilans cieplny w skali globalnej jest kształtowany głównie przez strumień energii słonecznej dopływającej do Ziemi, wartość albedo planetarnego i wielkość strumienia energii wypromieniowanego w kosmos. Pierwszy z tych czynników nie ulega zmianom w ciągu wieków, drugi zależy od właściwości fizycznych atmosfery (rodzaj i rozmieszczenie chmur) i od zdolności powierzchni Ziemi do pochłaniania energii słonecznej (wzrost powierzchni lodowców i czap śnieżnych jak również zmniejszanie obszarów pokrytych lasami prowadzą do zmniejszenia albedo). Trzeci z wymienionych już czynników zależy głównie od zawartości pary wodnej i gazów szklarniowych w atmosferze. Wzrost koncentracji tych składników powoduje zwiększone magazynowanie ciepła w atmosferze (efekt szklarniowy) i zmniejszenie długofalowego wypromieniowania w kosmos.

W skali lokalnej bilans cieplny kształtowany jest, poza promieniowaniem słonecznym, głównie przez strukturę przestrzenną pokrywy roślinnej, która określa zarówno albedo powierzchni Ziemi, jak i warunki mikroklimatyczne przygruntowych warstw powietrza. Przykładowo albedo lasów świerkowych wynosi około 10%, podczas gdy albedo pola uprawnego waha się w granicach 19–26% (26). W rejonie Turwi (woj. leszczyńskie) na 1 m² powierzchni Ziemi dochodzi w okresie wegetacyjnym średnio 3500 MJ energii. Z tej wartości las świerkowy zdolny jest pochłoniąć 3150 MJ, a pole uprawne — 2700 MJ. Różnica 450 MJ/m² jest równoważna energii potrzebnej na wyparowanie 180 mm warstwy wody.

Struktura przestrzenna pokrywy roślinnej wpływa w bardzo istotnym stopniu na strukturę bilansu cieplnego. Powierzchnie leśne i zadrzewienia wyparowują więcej wody niż pola uprawne (26), przez co zwiększają strumień ciepła utajonego (transportowanego przez parę wodną), kosztem strumienia ciepła jawnego, którego efektem jest wzrost temperatury.

Istotne znaczenie w kształtowaniu struktury bilansu cieplnego w skali regionalnej czy lokalnej mają warunki wilgotnościowe. Przy większej wilgotności danego obszaru zmniejszają się różnice w strukturze bilansu cieplnego różnych ekosystemów, gdyż parowanie w takich warunkach jest bardziej zbliżone niż na obszarach suchych. To z kolei prowadzi do zbieżności w wielkościach strumieni ciepła utajonego. Również roczny przebieg opadów w sposób istotny kształtuje strukturę bilansu cieplnego w skali lokalnej. Większa suma

opadów i ich równomierne rozmieszczenie powodują, że roślinność o płytkich systemach korzeniowych jest dobrze zaopatrzona w wodę, w związku z czym zużywa na parowanie więcej energii niż na obszarach o niskich, nierównomiernych opadach.

Tak więc przekształcenie struktury krajobrazu przez człowieka wywiera wpływ na zmianę struktury bilansu cieplnego tego krajobrazu głównie przez zmiany albedo i warunków mikroklimatycznych przypowierzchniowych warstw atmosfery. Pionowe gradienty temperatury, wilgotności i prędkości wiatru determinują pionowe strumienie pary wodnej i ciepła płynącego od powierzchni czynnej do atmosfery. Wycięcie lasów powoduje zmniejszenie strumienia utajonego ciepła parowania, a zwiększenie strumienia ciepła jawnego, co prowadzi do silnej turbulencji w atmosferze i zmiany struktury zachmurzenia. Mniej jest chmur warstwowych, a tworzy się więcej chmur o budowie pionowej, dających opady o charakterze ulew, w mniejszym stopniu wykorzystane przez roślinność niż opady słabe lecz długotrwałe. Zmienia to warunki uwilgotnienia siedlisk, co z kolei — jak już wykazano — wpływa na strukturę bilansu cieplnego danego obszaru.

Przekształcenia struktury krajobrazu wpływają nie tylko na zmiany wielkości pionowych strumieni energii i wilgoci, ale także na wielkości tych strumieni, które przepływają poziomo pomiędzy poszczególnymi elementami krajobrazu. Tak więc reakcja całego krajobrazu na zmianę jego struktury nie jest prostą sumą reakcji poszczególnych ekosystemów, ale ma charakter kompleksowy, wykazując zjawiska synergizmu i konwergencji.

Prawdopodobne scenariusze zmian klimatycznych w Polsce i ich przewidywane skutki

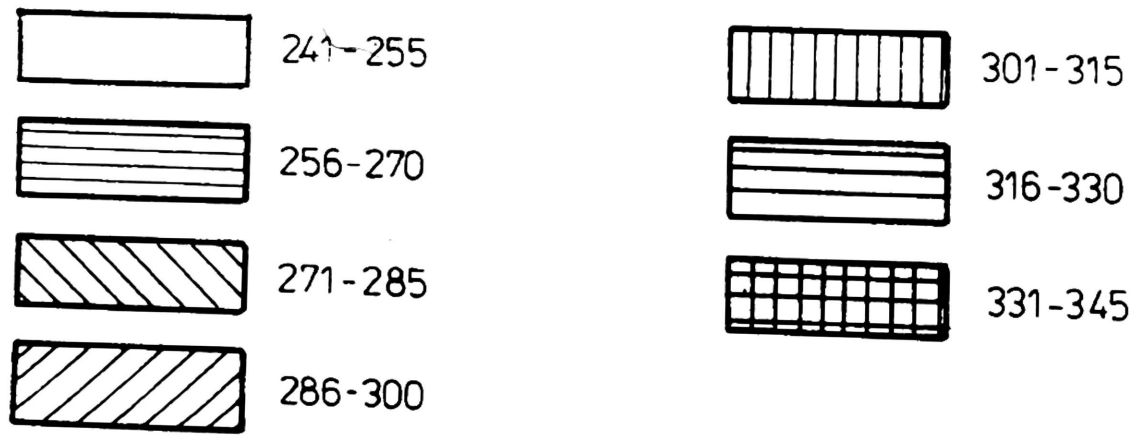
Jak wykazały analizy przeprowadzone przez Kędzioreę i współpracowników (18) oraz Ryszkowskiego i Kędzioreę (28), próby weryfikacji wyników uzyskanych z modelu ogólnej cyrkulacji atmosfery (GCM) przez porównanie ich z rzeczywistymi sumami opadów w Europie za okres 30 lat (1931–1960) wykazywały ich znaczne odchylenia szczególnie dla Polski i północnych Niemiec (23). W tej sytuacji dla poszczególnych regionów Polski — przyjętych zasadniczo za Romerem (24) — do oceny prawdopodobnych zmian klimatycznych w rezultacie efektu szklarniowego przy podwojonej wartości koncentracji CO₂ w atmosferze założono — według opracowanego w IIASA modelu Jägera (13, 14) — możliwość wzrostu opadów o 23%, oraz ich spadku o 20%. Ponieważ, stan lesistości terenu wywiera duży wpływ na strukturę bilansu cieplnego, dla każdej z tych klas zmian ilości opadów wyróżniono po 3 hipotetyczne sytuacje, mianowicie:

- wzrost powierzchni zalesionej o 10% w stosunku do stanu obecnego,
- spadek powierzchni zalesionej o 50%,
- całkowite wylesienie (jako wariant wyłącznie teoretyczny).

Wzrost temperatur w okresie podwojenia się koncentracji CO₂ w atmosferze (przewidywany około roku 2075) przyjęto z modelu Jägera (15) — dla okresu ciepłego (IV–IX) 1–2°C, dla okresu zimowego (X–III) 5–6°C. Szacowany dla naszego kraju wzrost temperatury w wymienionych zakresach spowodowałby wydłużenie okresu wegetacyjnego o średnich dziennych temperaturach powyżej 5°C w Polsce północno-wschodniej o ponad 2 miesiące, oraz o około 3 miesiące w regionach centralnych i południowo-zachodnich, a na

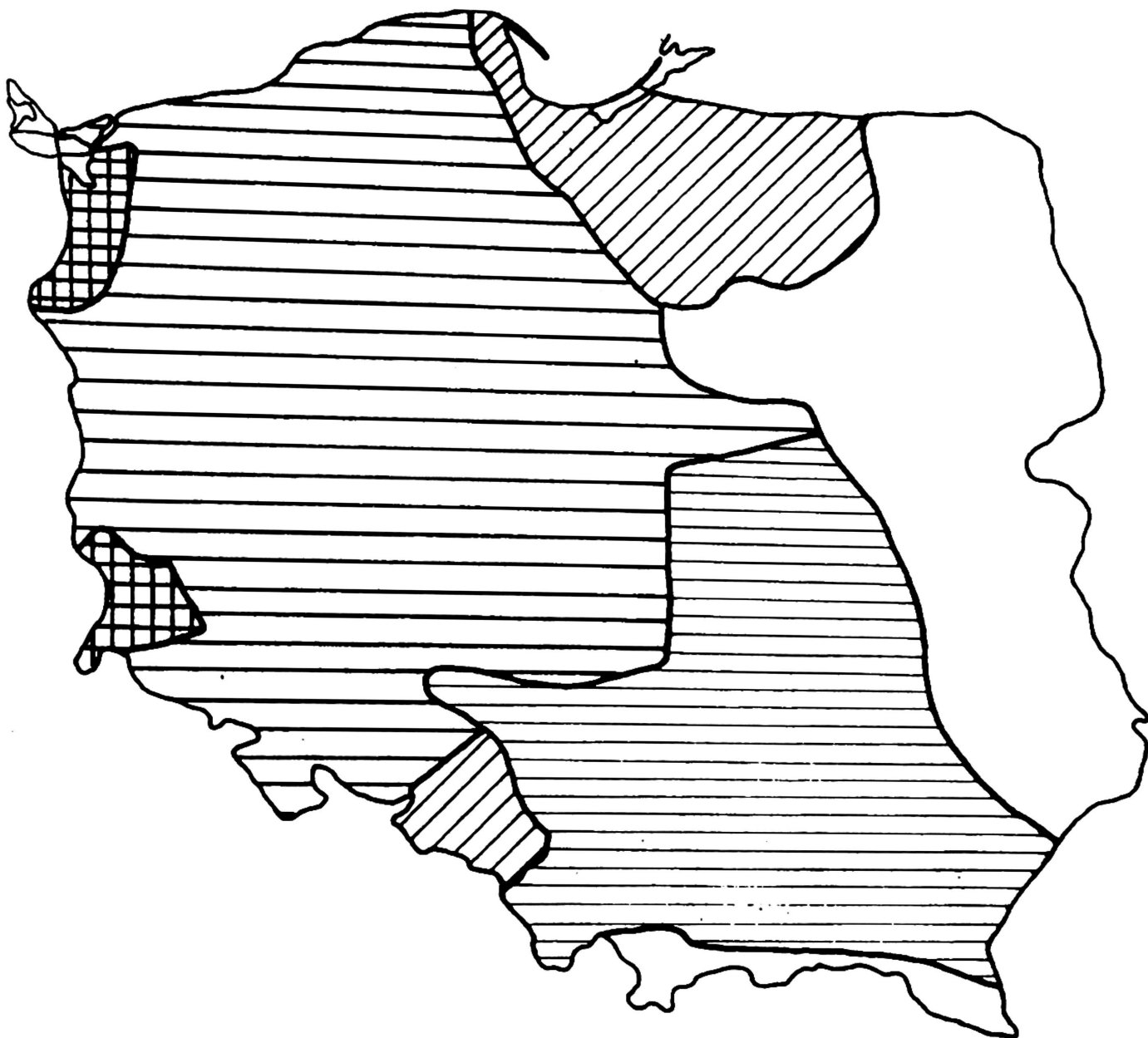


LEGENDA Długość okresu w dniach około roku 2075:

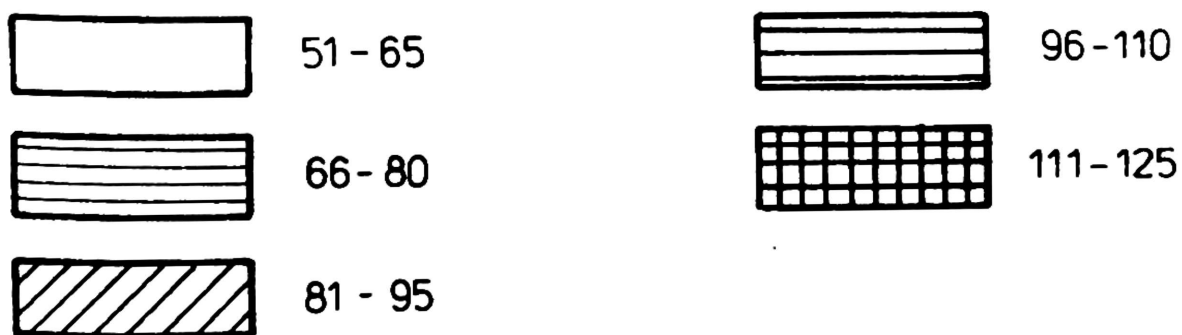


Okres wegetacyjny $t > 5$ stopni C

RYC. 1. Przewidywany czas trwania sezonu wegetacyjnego w poszczególnych regionach Polski po podwojeniu się koncentracji CO₂ w atmosferze



LEGENDA : Przyrost czasu trwania okresu wegetacyjnego w dniach:



RYC. 2. Przewidywany przyrost czasu trwania sezonu wegetacyjnego w poszczególnych regionach Polski po podwojeniu się koncentracji CO₂ w atmosferze

krańcach północno- i południowo-zachodnich nawet o 4 miesiące (ryc. 1, 2). Konsekwencją takiego wzrostu temperatury stałoby się zwiększenie parowania o około 40 mm w okresie półrocza ciepłego.

W przypadku realizacji najbardziej optymistycznego scenariusza wzrostu opadów oraz zwiększenia powierzchni leśnej o 10%, tj. do 31% lesistości w skali kraju, zarówno w okresie letnim jak i w ciągu całego roku zniknęłoby zjawisko deficytu wody, a zasoby wodne uległyby zwiększeniu nawet w najuboższych dzisiaj pod tym względem rejonach Wielkopolski (z 2,5 m³/dobę do 3 m³/dobę na 1 mieszkańca (29)). Nie nasiliłyby się przy tym zbytnio procesy erozyjne, a korzystnym zmianom uległyby warunki agrometeorologiczne zarówno dla produkcji rolnej jak i leśnej.

Według wielu autorów prawdopodobny wydaje się być zakładany wzrost temperatury i opadów, przy znaczącym zmniejszeniu arealu powierzchni zalesionych. W takim przypadku nastąpiłby dwu- do czterokrotny wzrost rocznego odpływu (ponad 200 mm) i to głównie w okresie zimowym, co spowodowałoby duże nasilenie procesów erozyjnych na obszarach rolniczych.

Spełnienie się scenariuszy zakładających wzrost temperatury, spadek opadów i zwiększenie powierzchni zalesionej wywołałoby tak duże niedobory wody, że istnienie zarówno gospodarki rolnej jak i lasów w postaci zwartych drzewostanów stałoby się niemożliwe. Spadek opadów w sezonie letnim o 70 mm przy wzroście parowania o 40 mm spowodowałby wzrost deficytu wody z obecnych 17 mm do 128 mm; nawet jednakże w sezonie zimowym utrzymywałyby się deficyty wody rzędu 10 mm. W warunkach takiej kontyentalizacji klimatu, połączonej z przyspieszonymi procesami przesuszenia i stepowienia, utrzymanie wielkoarealowych lasów w rejonach środkowej Polski może okazać się bardzo trudne lub wręcz niemożliwe. Stałaby się konieczna całkowita zmiana strategii rozwoju gospodarki narodowej, zwłaszcza zaś rolnictwa, z powodu braku dyspozycyjnych zasobów wody (29).

Tak więc oczekiwać można, że efekty globalnych zmian klimatu będą bardzo zróżnicowane. Większe jest prawdopodobieństwo spełnienia się opracowanych dzisiaj prognoz w stosunku do dużych obszarów. W różnych częściach Polski mogą też wystąpić modyfikacje regionalnie zróżnicowane, zarówno w kierunku humidyfikacji jak i kseryfikacji siedlisk.

Konsekwencje zmian klimatu dla zbiorowisk roślinności drzewiastej

Rozważania te przeprowadzone były głównie w celu określenia możliwych konsekwencji zmian dla warunków rozwoju rolnictwa, trudno jednakże byłoby wyobrazić sobie kształtowanie właściwych warunków agrometeorologicznych w naszym kraju bez zachowania w odpowiednich proporcjach obszarów zalesionych lub zadrzewionych wśród pól uprawnych.

Przy założeniu realizacji scenariusza optymistycznego zmiany klimatu nie powinny wpłynąć na pogorszenie warunków egzystencji i rozwoju lasów i innych zbiorowisk roślinności drzewiastej. Wzrost koncentracji CO₂ w atmosferze może wpłynąć na zwiększenie produkcji pierwotnej, ale w naturalnych warunkach różne czynniki zewnętrzne w bardzo istotnym stopniu modyfikują efektywność fotosyntezy. Rozpoznania tych zagadnień dla zbiorowisk

rowisk leśnych są — jak dotychczas — bardzo fragmentaryczne (20). Wzrost produkcji pierwotnej w wyniku wydłużenia się okresu wegetacyjnego zależy w dużym stopniu od adaptacji poszczególnych gatunków i całych zbiorowisk do zmienionych warunków klimatu. Przeprowadzone przez Huntley'a analizy retrospektywne o charakterze paleobotanicznym wskazują, że adaptacja roślin do zmian klimatycznych w ostatnich 160 tysiącach lat miała małe znaczenie dla występowania roślin. Główną formą przeżycia gatunków była migracja. Zmieniały się zasięgi poszczególnych gatunków, natomiast zespoły roślinne ulegały bardzo głębokim przeobrażeniom. Tempo naturalnych migracji roślin drzewiastych jest jednakże bardzo powolne — dla ciężkonasiennych gatunków drzew wynosi ono od poniżej 100 m do około 1000 m na rok, dla lekkonasiennych też rzadko przekracza 1 km.

Według Davisa (7), tempo polodowcowej migracji północnoamerykańskich gatunków drzew wynosiło, zależnie od gatunku, 10–45 km w ciągu stulecia, średnio ok. 300 m rocznie. Ozenda i Borel (22) konkludują, że ocieplenie o 2–3°C spowoduje przesunięcie granicy lasu o około 450–650 km ku północy. Opanowanie tej strefy przez roślinność drzewiastą w ciągu 100 lat wymagałoby zupełnie nierealnego tempa migracji roślin w granicach 4–6 km rocznie. Dlatego rola człowieka w przemieszczaniu poszczególnych gatunków i kształtowaniu składu zbiorowisk drzewiastych będzie najprawdopodobniej najważniejszym czynnikiem dostosowania drzewostanów do zmieniających się warunków klimatycznych.

Jeszcze wolniejsze jest kształtowanie genetycznego zróżnicowania populacji roślin wkraczających na nowe arealy, w kierunku selekcji cech wykazujących odpowiedni stopień adaptacji do zmiennych warunków środowiska (32). Przewidywane aktualnie zmiany temperatury będą od 10 do 100 razy szybsze niż w przeszłości i jeśli człowiek nie pokieruje rozprzestrzenianiem się gatunków drzewiastych, to zaistnieć może niebezpieczeństwo, iż wiele z nich nie zdoła się przystosować do tak szybkiego tempa zmian.

Na obszarze naszego kraju zaistnieć mogą warunki klimatyczne pozwalające na wzbogacenie składu gatunkowego roślin drzewiastych i to zarówno w wyniku ekspansji ciepłolubnych gatunków poza dotychczasowe granice ich naturalnych zasięgów (np. dąb burgundzki, kasztan jadalny, kolcolist, złotokap, buk) jak i przez znaczne zwiększenie możliwości introdukcji gatunków obcych z bardziej odległych, lecz zbliżonych pod względem klimatycznym arealów. Jak wykazały szerokie badania prowadzone przez zespół geobotaników ze środowiska poznańskiego, przemiany szaty roślinnej pod wpływem antropogenicznych czynników związanych z gospodarką rolną są najgłębsze i najbardziej trwałe na siedliskach żyznych i prowadzą one w naszych warunkach do zastępowania elementów o północnym typie zasięgu gatunkami migrującymi z rejonów południowych (3). Wzrost temperatury i wydłużenie się sezonu wegetacyjnego spotęguje prawdopodobnie migrację gatunków pontyjskich i śródziemnomorskich na obszar naszego kraju, poszerzając efekt merydionalizacji szaty roślinnej również na zbiorowiska roślinności drzewiastej.

Trzeba jednakże zdawać sobie sprawę z faktu, że podobnie jak rośliny, zareagują również na ocieplenie klimatu wszystkie inne gatunki. Każda więc ekspansja — naturalna czy sztuczna — roślin drzewiastych na tereny przez nie dotychczas nie zajmowane, pociągnie za sobą napływ komponentów powiązanych z nimi siecią zależności troficznych. Wzrośnie więc znaczenie południowo- i zachodnio-europejskich (a być może także subpontyjsko-mediteraneńskich) gatunków dendrofagów związanych zwłaszcza z dębem (*Cerambyx* medyteraneńskich) gatunków dendrofagów związanych zwłaszcza z dębem (*Cerambyx cerdo*, *Scolytus intricatus*, *Agrius* spp.). Ocieplenie klimatu spowodować może, że na dużej

części terytorium Polski — a zwłaszcza w jej południowych i wschodnich rejonach aż po Wielkopolskę, Mazowsze i Podlasie — wzrośnie również częstotliwość występowania gradacji foliofagów takich jak zwójka zieloneczka, brudnica nieparka, namiotniki oraz grup takich jak mszyce, czerwce, wciornastki i inne. Równolegle spodziewać się należy nasilenia inwazji zarówno ciepłolubnych ksylo- i kambiofagów związanych z drzewami iglastymi (głównie bogatkowate — *Phaenops*, *Chrysobothris*, *Anthaxia*, liczne ryjkowce i kózkowate), jak i zwiększenia liczby generacji wielopokoleniowych szkodników wtórnych, stwarzających już obecnie znaczne problemy ochronne w lasach i zadrzewieniach (głównie kornikowate). Ocieplenie klimatu połączone ze wzrostem wilgotności w środowiskach zwiększy także zagrożenie ze strony patogenicznych grzybów.

Zmiany klimatu i stosunków wodnych nie są jedyną kategorią całokształtu zachodzących obecnie przeobrażeń o charakterze globalnym. Zmiany użytkowania ziemi, poszukiwania dróg aktywizacji ekonomicznej regionów, napór rekreacyjny oraz procesy prywatyzacyjne i ich konsekwencje, wdrażanie mechanizmów wolnego rynku — stwarzają również wiele zagrożeń dla ekosystemów leśnych.

Zjawisko następstw skażeń atmosfery emisjami przemysłowymi nadal pozostaje jednym z najważniejszych zagrożeń lasów. W perspektywie najbliższych 20–30 lat mało prawdopodobna wydaje się być znacząca poprawa stanu zagrożeń środowiska przyrodniczego w Polsce, a tym samym poprawa zdrowotności naszych lasów. Konsekwencją zagrożeń generowanych przez przemysł, wzrostu naporu rekreacyjnego na środowisko leśne, rozwoju sieci elementów infrastruktury technicznej, zwłaszcza o charakterze linearnym (sieć autostrad i dróg, linii energetycznych, rurociągów itp.) będzie postępująca fragmentacja obszarów leśnych. Te same czynniki powodować będą obniżenie się wskaźników zwarcia drzewostanów i ich odporności względem biotycznych czynników szkodotwórczych. To z kolei prowadzić będzie do obniżenia średniego wieku drzewostanów i zmniejszenia zapasu drewna pozostającego na pniu. Akumulacja węgla w biomase roślin drzewiastych rozpatrywana jest jako jedna z możliwych dróg wycofywania tego pierwiastka z obiegu biologicznego, a tym samym ograniczania efektu szklarniowego. Według ocen Houghtona i współautorów (12), uwalnianie węgla w wyniku deforestacji i procesów mineralizacji materii organicznej było przynajmniej do roku 1960 większe niż uwalnianie ze spalania paliw kopalnych. Przytoczone w tej pracy ilości węgla zakumulowanego w ekosystemach leśnych są według wszelkiego prawdopodobieństwa zaniżone w wyniku uwzględnienia tylko masy drewna, nie zaś całej części depozytowej biomasy ekosystemu. Przyjmując — według danych (26) — wielkość produkcji pierwotnej ekosystemów leśnych naszej strefy klimatycznej w wysokości $\approx 1600 \text{ g/m}^2$ ilości wbudowanego rocznie w biomasę węgla stanowi $\approx 7,5 \text{ t/ha}$. Przy założeniu, że z ilości tej 40% ulega w każdym roku rozkładowi, akumulacja węgla w 40-letnim drzewostanie wynosiłaby 180 t/ha. Oznacza to, że na całkowitej powierzchni lasów Polski (8,7 mln ha) akumuluje się rocznie 39,1 mln ton węgla, co stanowi niemal 37% ilości węgla uwalnianego w wyniku spalania paliw dla celów ogrzewczych i technologicznych w skali kraju. Zalesienie 1 200 000 ha powierzchni zwiększyłoby tę ilość o 5,4 mln t rocznie. Pogarszanie się stanu zdrowotnego lasów oraz ich zamieranie prowadzi do wzrostu emisji węgla do atmosfery w wyniku przyspieszonego rozkładu zakumulowanej w glebach materii organicznej. Przy wzroście temperatury należy oczekiwać przyspieszenia tempa rozkładu materii organicznej zwłaszcza w lasach boreal-

nych w strefie klimatu umiarkowanego. Wzrost liczby pożarów będzie potęgował te procesy.

Trudne do określenia w chwili obecnej zmiany cyrkulacji mas powietrza wywołane efektem szklarniowym spowodują wzrost częstotliwości zjawisk ekstremalnych, takich jak huragany, powodzie czy susze, co pogłębiać będzie stresowy charakter egzystencji lasów i sprzyjać nasilaniu się szkód. Przeprowadzona analiza pożarów leśnych w ciągu ostatnich 750 lat na obszarach stanu Minnesota (USA) (5) wykazała, że ich częstotliwość była wyraźnie uzależniona od kształtowania się temperatur. Na przykład, w okresie ciepłych i suchych stuleci XV i XVI częstotliwość pożarów była największa ($8,6 \pm 2,9$ lat), natomiast w czasie zimniejszego i wilgotnego okresu pomiędzy 1240–1440 rokiem oraz w tzw. małej epoce lodowej w drugiej połowie XVIII i w XIX w. pożary miały miejsce odpowiednio co $25,5 \pm 10,4$ lat oraz co $43,6 \pm 15$ lat. Zmiany częstotliwości występowania pożarów powodowane były nawet niewielkimi zmianami średnich temperatur. Długość okresów suszy jest dobrym wskaźnikiem zagrożenia pożarowego lasów, co wykazano dla Kanady (8). Ten wskaźnik prognostyczny sprawdza się również w warunkach środkowej Europy i naszego kraju. Długowieczne gatunki drzew mogą przetrwać krótkotrwałe wahania klimatu. W takich jednakże przypadkach czynnikiem wyzwalającym zmiany w występowaniu drzew mogą być zaburzenia o charakterze katastroficznym — np. pożary. Przykładowo, chociaż główną przyczyną transformacji szaty roślinnej w północno-zachodnich rejonach USA były w okresie polodowcowym zmiany klimatu, to jednak struktura przestrzenna roślinności kształtowana była bezpośrednio przez reżim występowania pożarów (6).

Z analiz możliwych i prawdopodobnych scenariuszy zmian w środowisku wywołanych przez wymienione tutaj czynniki wynika, że ujemne ich efekty uwidaczniają się najsilniej na terenach najbardziej wylesionych oraz o ubogiej sieci wód powierzchniowych. Do takiej należy zwłaszcza pas Niżu Środkowo-Polskiego wraz z południową Wielkopolską i Lubelszczyzną.

Procesy fragmentacji i degradacji środowisk leśnych mogą być w pewnym stopniu kompensowane przez celowe lub naturalne (spontaniczne) zalesienia i zadrzewienia na obszarach opuszczanych przez gospodarkę rolną. Areal takich terenów szacuje się aktualnie na 1,5–2,5 mln ha (27), a ich zalesienie lub pokrycie siecią racjonalnie ukształtowanych zadrzewień wzmogłoby wydatnie zarówno depozycje węgla w postaci zakumulowanej materii organicznej jak i odporności krajobrazu na różne przejawy degradacji. Możliwość wprowadzenia rozległych powierzchniowo zalesień na obszarach o ugruntowanych tradycjach rolniczych nie może być brana pod uwagę w prognozach perspektywicznych, wobec braku tendencji do opuszczania takich gruntów przez rolników.

Możliwości przeciwdziałania niekorzystnym skutkom zmian globalnych

Współczesna wiedza ekologiczna pozwala na powiązanie zmian globalnych z przepływem energii i obiegiem wody oraz związków chemicznych, wraz ze wskazaniem, jak zmiany tych procesów odbijają się na strukturalnych cechach ekosystemów, np. na zmianach struktury szaty roślinnej. Tempo przewidywanych zmian w stosunku do naturalnych procesów adaptacji i rozprzestrzeniania się gatunków skłania do przypuszczenia, że rola

człowieka w kształtowaniu i utrzymywaniu zarówno zespołów roślinnych jak i ekosystemów będzie coraz większa. Wielu badaczy (1, 33, 34) przewiduje również daleko idące przeobrażenia zespołów leśnych. Występujące zaburzenia i zmiany w kierunkach sukcesji wywołane przez zmiany klimatyczne będą przekształcały zespoły leśne stosownie do właściwości adaptacyjnych i migracyjnych poszczególnych gatunków drzew. Reakcje lasów w aspekcie zmian składu gatunkowego mogą być jednakże opóźnione przez ich długowieczność, która maskuje relacje przyczynowo-skutkowe, warunkujące ich przemiany. Drzewa mogą przetrwać jeżeli stany ich zagrożeń występują rzadko i w sposób nieciągły (krótkookresowy). Wzrost częstotliwości zagrożeń powoduje szybsze i głębsze zmiany (10). Można przyjąć, że zmiana częstości występowania zaburzeń jest sygnałem zmian klimatycznych.

Oddziaływanie i rozprzestrzenianie się różnorodnych zaburzeń kontrolowane jest przez ekotony. W związku z tym, przeciwdziałanie niekorzystnym skutkom efektu szklarniowego przejawiać się powinno przede wszystkim w zwiększeniu stopnia heterogeniczności krajobrazu. W sytuacji pogarszających się warunków egzystencji lasów na obszarze naszego kraju szczególnie ważne jest wprowadzenie śródpolnych lasów i zadrzewień, które — zmieniając korzystnie warunki mikroklimatyczne i spełniając wiele funkcji ochronnych — mogą przejąć również znaczną część funkcji produkcyjnych i pozaprodukcyjnych spełnianych dzisiaj przez lasy. Zadrzewienia zwiększają wydatnie zdolność wodno-retencyjną krajobrazu w okresach topnienia śniegu i gwałtownych opadów, ograniczając przy tym erozję. Wprowadzenie do monotonnego krajobrazu pól uprawnych pasm roślinności drzewiastej zwiększa saldo promieniowania w okresie wegetacji z 1540 do 1585 MJ/m². Parowanie z pasów zadrzewieniowych ulega zwiększeniu, lecz wydatnym obniżeniu ulegają wielkości parowania z pól położonych pomiędzy pasami. Powoduje to, że zwłaszcza w przypadkach adwekcji oszczędności wody w wyniku zmniejszenia parowania rzeczywistego są bardzo wysokie, osiągając nawet wartość 40 mm — co odpowiada niemal — 1 miesięcznej średniej sumie opadów (28). Konieczność zakładania i racjonalnego zagospodarowania zadrzewień i lasów śródpolnych istnieje u nas od dawna, ale zarówno w praktyce agrotechnicznej jak i w strategii rozwoju rolnictwa traktowana była dotychczas marginesowo.

W świetle aktualnych zagrożeń środowiska oraz przewidywanych zmian globalnych wydaje się, że ukształtowane przez człowieka zadrzewienia czy niewielkie powierzchnie zalesione, będą miały coraz większe znaczenie w zagospodarowywaniu obszarów pozamiejskich. Przemawiają za tym zarówno większe możliwości kontroli, pielęgnacji i ochrony, bieżącego dostosowywania ich składu gatunkowego i przestrzennej struktury do charakteru zachodzących zmian, jak i mniejsze zagrożenie ze strony zarówno biotycznych jak i abiotycznych czynników szkodliwych (pożary, szkodniki, choroby itp.). Jak wykazują badania licznych ośrodków badawczych z zakresu agroekologii zadrzewienia śródpolne w naszej szerokości geograficznej pozostaną czynnikiem w wysoce istotnym stopniu kształtującym warunki produkcji rolniczej oraz ochrony środowiska i zasobów biologicznych obszarów wiejskich, bez względu na kierunki przekształceń szaty roślinnej pod wpływem globalnych zmian klimatu. W przypadkach bowiem pogorszenia się warunków wilgotnościowych ich funkcja retencyjna, wyrażająca się ograniczeniem odpływu oraz pośrednim oddziaływaniem na zmniejszenie wielkości parowania rzeczywistego z pól uprawnych, będzie w sposób korzystny wpływała na kształtowanie się warunków agro-

klimatycznych. W sytuacji wzrostu opadów i poprawy bilansu wodnego racjonalnie ukształtowane struktury sieci zadrzewień staną się koniecznością, dla przeciwdziałania procesom erozyjnym. W obu przypadkach zadrzewienia mogą — i powinny — być ukształtowane i zagospodarowane w sposób umożliwiający ich wieloaspektowe ekonomiczne użytkowanie.

*Z Zakładu Badań Środowiska Rolniczego i Leśnego
PAN w Poznaniu*

Literatura

1. **Anderson J.M.** 1991. The effects of climatic change on decomposition processes in grassland and coniferous forests. *Ecol. Applic.* 1: 326–347.
2. **Bach W.** 1988. Development of climatic scenarios: A. From general circulation models. In: *The impact of climatic variation on agriculture*. Eds. Parry M.L., Carter T.R., Konijn N.T., Kluwer. Dordrecht: vol. 1: 125–157.
3. **Balcerkiewicz S., Gilicka I.** 1987. Fitogeograficzna analiza gatunków charakteryzujących wybranych agrofitecnoz. CPBP 04.10. 03. 05. Sprawozd. za rok 1987; maszynopis.
4. **Blasing T. J.** 1985. Background: Carbon cycle, climate and vegetation response. In: *Characterization of information requirements for studies of CO₂ effects: water resources, agriculture, fisheries, forest and human health*. Ed. White M.R., Lawrence Berkeley Lab. Berkeley: 9–22.
5. **Clark J.S.** 1990. Fire and climate change during the last 750 yr. in Northwestern Minnesota. *Ecol. Monog.* 60: 135–159.
6. **Cwynar L.C.** 1987. Fire and the forest history of the North Cascade Range. *Ecology* 68: 791–802.
7. **Davis M. B.** 1981. Quaternary history and stability of forest ecosystems. In: *Forest succession: concepts and applications*. Eds. West D.C., Shugart H.H., Botkin D.B. Springer Verl. New York: 132–153.
8. **Flaunigan M.D., Harrington J.B.** 1988. A study of the relation of meteorological variables to monthly provincial area burned by wildfire in Canada. *J. App. Meteor.* 27: 441–452.
9. **Gerard J.C., Hauglustaine D.A.** 1991. Transient climate response a solar irradiance: reconstruction for the last 120 years. *Climate Research* 1: 161–167.
10. **Graham R.L. Turner M.G., Dale V.H.** 1986. How increasing CO₂ and climate change affects forests. *Bioscience* 40: 575–587.
11. **Houghton J.T.** 1991. Scientific assessment of climate change: summary of the IPCC Working Group I Raport. In: *Climate change: science, impacts and policy*. Eds. Jager J. And Ferguson H.L. Cambridge Univ. Press. Cambridge.

12. **Houghton R.A., Hobbie J.E., Melillo J.M.** 1983. Changes in the carbon content of terrestrial biota and soils between 1860: a net release of CO₂ to the atmosphere. *Ecol. Monographs*. 51: 235–262.
13. **Jaworski J., Krupa-Marchlewska J.** 1989. Ewapotranspiracja i wilgotność gleby w warunkach wzrastającej zawartości CO₂ w atmosferze. *Wiadom. IMGW* 12 (3–4): 45–55.
14. **Jäger J.** 1986. Some notes on the preparation of climate scenarios. *IIASA Analysis*. Laxenburg, Austria.
15. **Jäger J.** 1988. Development of climatic scenarios: B. Background of the instrumental record. In: *The impact of climatic variations on agriculture*. Eds.: Parry M.L., Carter T.R., Konijn N.T. Kluwer. Dordrecht, vol. 1: 125–157.
16. **Kędziora A.** 1991. Wpływ globalnych zmian klimatu na gospodarkę wodną. W: *Ochrona i racjonalne wykorzystanie zasobów wodnych na obszarach rolniczych w regionie Wielkopolski*, Poznań: 5–12.
17. **Kędziora A.** 1993. Klimat a stosunki wodne w środowisku przyrodniczym Wielkopolski. *Kronika Wielkop.* (1993): 46–54.
18. **Kędziora A., Olejnik J., Ryszkowski L.** 1989. Społeczno-ekonomiczne oraz ekologiczne czynniki “zdrowego” rozwoju rolnictwa w Polsce. I. Ekologiczne czynniki. *Więś i Rolnictwo* 65: 9–34.
19. **Lovelock J.** 1989. *The ages of Gaia*. Oxford Univ. Press, Oxford 252 pp.
20. **Mooney H.A., Drake B.G., Luxmoore R.J., Oechel W.C., Pitelka L.F.** 1991. Predicting ecosystem responses to elevated CO₂ concentrations. *Biol. Science* 41 (2): 96–104.
21. **Olejnik J., Kędziora A.** 1991. A model for heat and water balance estimation and its application to land use and climate variation. *Earth surface Processes and Landforms*, 16: 601–617.
22. **Ozenda P., Borel J.L.** 1989. Climatic changes and land use potential in Europe. Scenarios for Western Europe, with special reference to the Alps. In: *Landscape — Ecological impact of climate change*. Eds. Boer M.M., de Groot R.S. Amsterdam-Washington-Tokyo: 221–249.
23. **Perry M.L., Carter T.R.** 1991. Climatic changes and land use potential in Europe. In: *Land use changes in Europe*. Eds. Brouwer F.M., Thomas A.J., Chadwick M.J. Kluwer. Dordrecht: 209–231.
24. **Romer E.** 1949. *Regiony klimatyczne Polski*. Prace Wrocław. Tow. Nauk., Ser. B, 16. Wrocław, 58 pp.
25. **Rotmans J.** 1990. *IMAGE: An integrated model to assess the greenhouse effect*. Kluwer. Dordrecht, 289 pp.

26. **Ryszkowski L.** 1984. Primary production in agroecosystems. Options mediterraneennes, International Centre for Advanced Mediterranean Agronomic Studies, Zaragoza: 77–94.
27. **Ryszkowski L., Bałazy S.** 1993. Znaczenie lasów i zadrzewień w strategii kształtowania i odnowy środowiska rolniczego. W: Las-Drewno-Ekologia, Wielkopolska Fundacja Naukowa im. T. Perkitnego. Mat. Konf.: 7–11.
28. **Ryszkowski L., Kędziora A.** 1987. Impact of agricultural landscape structure on energy flow and matter cycling. *Landscape Ecol.* 1: 85–94.
29. **Ryszkowski L., Kędziora A.** 1993. Rolnictwo a efekt szklarniowy. *Kosmos* 42 (1): 123–149.
30. **Ryszkowski L., Kędziora A., Olejnik J.** 1991. Potential effects of climate and land use changes on the water balance structure in Poland. In: Land use changes in Europe. Eds.: Brouwer F.M., Thomas A.J., Chadwick M.J., Kluwer. Dordrecht-Boston-London: 253–273.
31. **Starkel L.** 1993. Globalne zmiany środowiska w przeszłości. *Kosmos* 42 (1): 33–45.
32. **Thiebaut B., Cuguen J., Comps B., Merzeau D.** 1990. Genetic differentiation in beech (*Fagus sylvatica* L.) during periods of invasion and regeneration. In: Biological invasion in Europe and the Mediterranean Basin. Ed.: di Castri F., Hansen A.J., Debussche M. Kluwer, Dordrecht-Boston-London: 379–390.
33. **Woodwell G.W.** 1992. How does the world work? In: Global warming and biological diversity. Yale Univ. Press, London: 31–37.
34. **Woodward F.J. Thompson G.B., McKee J.F.** 1991. The effects of elevated concentrations of carbon dioxide on individual plants, populations, communities and ecosystems, *Ann. Bot.* 67 (Suppl. 1): 23–38.

Summary

Basing on a relatively good knowledge on sources and rates of atmospheric concentrations of chemical compounds, absorbing radiation from Earth's surface, and their properties of backward heat emission (the so-called greenhouse gases) a hypothesis was formulated on global climate changes in the result of intensification of industrial and agricultural activity of man. The research carried out recently evidences correlation between concentration of greenhouse gases in the atmosphere and the rising trend of Earth surface temperature and of close-to-the-surface layers of the atmosphere, lasting since a dozen or so decades already. The temperature increase rates accelerate in the last decades. Most models forecasting changes of the climate on the globe predict the increase of average air temperature within the interval of 1,5–4,5°C during a century. These forecasts are however characterized by a considerable level of uncertainty in face of insufficient knowledge on interactions of several factors acting over large areas (e.g. effects of cloud cover, variability of steam concentration in the atmosphere, little resolving power of spatial scale of circulation models of air masses and others).

The increase of temperature, estimated for our country to be about 2°C in summers and 4–6°C in winters, would cause elongation of vegetation period (with average daily temperatures over 5°C) by over 2 months in northeastern Poland, and by 3–4 months in the rest of regions — the greatest one in southwestern regions. The predicted changes of climate are most fully expressed by alterations of the structure of heat and water balance, and in the majority of most probable and adopted scenarios the changes of the water balance look like unfavourable.

The forest decline would lead to the decrease of evaporation and very great surpluses of precipitation water, causing a great erosion threat. At the possible rise of temperature and of the forest area, but also at the decrease of precipitation, a drying out of the environment would occur, limiting capabilities of agricultural production at a considerable extent. Establishment of tree plantings amidst the fields will modify possibilities of intensification of those processes.

A worsening of conditions of the existence of coniferous forests, especially pine forests, and a shift of the range boundary of latter ones northwards could be the effect of predicted climatic changes in Poland. An expansion of pontic, southern, and west-European species is also possible on the area of our country. The threats to forests from the side of pests causing permanent population outbreaks in the regions to the south from the frontier of Poland may increase; such ones as European oak leafroller, gypsy moth, ermels, and several dendrophages on broadleaved species, without economic importance until now (buprestid beetles — *Antaxia*, *Chrysobothris* sp., weevils, longicornes and bark beetles — especially those bound to oak).

Facing the present threats to forests, that will not significantly decrease during the nearest 20–30 years according to the forecasts, the prognoses predict that health condition of stands will go to worse, leading to the decrease of afforestation indices — and locally, even to progressing fragmentation of forest tracts — and to the drop of average age and growing stock. More favourable conditions for keeping, transforming, and protecting the communities of tree vegetation will then exist in lesser forest tracts and belts of mid-field tree plantings, where modification of species composition, control of local damage and protection treatments will not involve high expenses and necessity of broad technological adaptations. Moreover, in face of likely intensification of erosion processes on areas of agricultural use, introduction of condensed structure of woodlots and shelterbelts, evenly distributed among fields, will become necessary.