

JACEK ZAJĄCZKOWSKI, BOGDAN BRZEZIECKI, KAJETAN PERZANOWSKI, IHOR KOZAK

Wpływ potencjalnych zmian klimatycznych na zdolność konkurencyjną głównych gatunków drzew w Polsce*

Impact of potential climate changes on competitive ability of main forest tree species in Poland

ABSTRACT

Zajączkowski J., Brzeziecki B., Perzanowski K., Kozak I. 2013. Wpływ potencjalnych zmian klimatycznych na zdolność konkurencyjną głównych gatunków drzew w Polsce. Sylwan 157 (4): 253-261.

An influence of environmental changes upon forest tree species competition was studied for suggested scenario of environmental changes (3-4°C increase of monthly temperatures), 8 main tree species and 6 natural regions. For a synthetic assessment of the reaction of various species for thermal and higric parameters of the climate, the growth multipliers DDGF and SMGF were used. The main environmental factor influencing future growth of tree species in Poland will be water shortage due to increased evapotranspiration. Regional decrease of water sensitive species importance, eg. alder, spruce and birch, accompanied by country-scale expansion of highly competitive, late-successional species, eg. beech and hornbeam is expected.

KEY WORDS

climate change, forest gap model, growth multipliers, tree competition

ADDRESSES

Jacek Zajączkowski ⁽¹⁾ – e-mail: jacek_zajaczkowski@sggw.pl

Bogdan Brzeziecki ⁽¹⁾ – e-mail: bogdan_brzeziecki@sggw.pl

Kajetan Perzanowski ⁽²⁾ – e-mail: kajperz@wp.pl

Ihor Kozak ⁽³⁾ – e-mail: modeliho@kul.lublin.pl

⁽¹⁾ Katedra Hodowli Lasu; SGGW w Warszawie; ul. Nowoursynowska 159; 02-776 Warszawa

⁽²⁾ Katedra Ekologii Stosowanej; KUL; ul. Konstantynów 1; 20-708 Lublin

⁽³⁾ Katedra Ekologii Krajobrazu; KUL; ul. Konstantynów 1; 20-708 Lublin

Wstęp

Długoterminowe obserwacje meteorologiczne i budowane na ich podstawie modele matematyczne dają podstawy do stwierdzenia, że obecny klimat Ziemi ulega nasilającym się zmianom. Znaczna część zajmujących się tym zjawiskiem badaczy – oraz zainteresowanych nim polityków – uważa, że zmiany te są skutkiem działalności gospodarczej człowieka, m.in. emisji gazów cieplarnianych. Wydaje się, że niezależnie od przyczyn tego zjawiska i perspektyw jego aktywnego ograniczania, należy uznać je za fakt i uwzględnić również w przyszłych strategiach gospodarki leśnej. W niniejszym artykule przedstawiono kierunki wpływu możliwych zmian klimatu na drzewa i drzewostany oraz przeprowadzono próbę ilościowej oceny tego wpływu na zdolność konkurencyjną wybranych gatunków drzew w Polsce przy wykorzystaniu koncepcji mnożników wzrostu, stosowanej w wielu współczesnych modelach rozwoju drzewostanu.

* Praca została wykonana w ramach grantu NCN N N309 165937.

Jako podstawę do badań skutków przyszłych zmian klimatu można przyjąć prognozy sformułowane w ramach prac Międzyrządowego Panelu Zmian Klimatycznych (IPCC). Najnowsze prognozy IPCC dla kontynentu europejskiego, zaktualizowane w 2007 roku dla najbardziej prawdopodobnych scenariuszy rozwoju gospodarki światowej, przewidują do końca XXI wieku znaczny wzrost średniej temperatury rocznej i kwartalnej, lokalnie nawet o 7-10°C, czemu będą towarzyszyć różnokierunkowe zmiany sumy opadów oraz znaczny wzrost częstości zjawisk ekstremalnych (burz, pożarów, powodzi i okresów suszy). Nasilenie tych zmian będzie wykazywało odrębności regionalne i sezonowe. Największe przyrosty średniej temperatury przewidziane są na wschodzie Europy w okresach zimowych, a na zachodzie – w letnich, natomiast opady wzrosną głównie na północy kontynentu oraz w okresach zimowych, a obniżą się na południu i wschodzie oraz latem. Skutki takich zmian klimatu dla produktywności lasu ocenia się zarówno jako pozytywne – w Europie północnej i zachodniej (przynajmniej w ciągu najbliższych kilkudziesięciu lat), jak i negatywne – zwłaszcza na południu kontynentu, zagrożonym katastrofalną suszą [Lindner i in. 2010].

W strefie klimatu umiarkowanego typ kontynentalny, do której zalicza się większość obszaru Polski, przewiduje się wzrost do końca stulecia średniej temperatury o 2-3°C wiosną oraz o 3-4°C w pozostałych porach roku, a także zmian sumy opadów – spadek o około 10% latem i wzrost o około 10% zimą. Towarzyszyć temu mają m.in. wzrost prędkości wiatru, spadek zachmurzenia, wzrost częstości opadów burzowych, spadek długości zalegania pokrywy śnieżnej oraz podniesienie się minimalnej temperatury powietrza zimą nawet o 8-15°C [Räisänen i in. 2004]. Ocenia się, że do 2040 roku kierunkowe zmiany klimatyczne mogą być jeszcze maskowane przez międzyroczną zmienność stanów pogody.

Oddziaływanie środowiska na wzrost i rozwój drzew jest już dość dobrze rozpoznane. Jednak jego wielokierunkowość i złożoność nie pozwalają na formułowanie jednoznacznych prognoz dotyczących przyszłego obrazu lasów. Przewidywany dalszy wzrost stężenia dwutlenku węgla w atmosferze poprawi efektywność fotosyntezy oraz wykorzystania zasobów wody, zwiększając ogólny przyrost biomasy (w południowej Skandynawii nawet o 25-40%), ale jednocześnie może spowodować wzrost wrażliwości odnowień na wysoką temperaturę oraz spadek zawartości azotu w tkankach drzew, prowadzący do zmian preferencji pokarmowych i ewentualnego zwiększenia intensywności żerowania owadów liściożernych. Wszędzie tam, gdzie zachowana będzie dostateczna wilgotność wierzchnich poziomów gleby, wzrost ich temperatury będzie prowadził do zwiększenia tempa mineralizacji próchnicy. Podobny skutek może mieć spadek przeciętnego zwarcia drzewostanów w efekcie różnych wielkopowierzchniowych zaburzeń. Wzrost temperatury gleby spowoduje też przyśpieszone wietrzenie i udostępnianie minerałów glebowych – zarówno bezpośrednio, jak i przez wpływ na przekształcenia flory i fauny glebowej. Podniesienie się minimalnej i średniej temperatury zimowej i wiosennej powinno wydłużyć okres wegetacyjny, ułatwić transport produktów fotosyntezy i efektywny przyrost na siedliskach o skrajnych warunkach termicznych oraz zmniejszać ryzyko przemarzania pączków, liści i organów reprodukcyjnych drzew. Z drugiej strony krótszy, a zatem i płytszy, spoczynek zimowy może zwiększać wrażliwość różnych organów na przymrozki oraz powodować problemy z obradaniem gatunków wymagających głębokiego spoczynku nasion (np. buka). W wielu regionach zapas dostępnej dla roślin wody glebowej będzie redukowany nie tylko latem, przez zwiększone parowanie i sezonowy spadek opadów, ale również zimą, wskutek zwiększonego powierzchniowego odpływu opadów na głębiej zamarzającej, bo słabiej osłoniętej śniegiem glebie. Związek ze zmianami klimatu wykazuje również stopień przechwytywania wody deszczowej w warstwie koron, ponieważ mogą one wpłynąć m.in. na intensywność opadów, skład gatunkowy pięter drzew,

zwarcie, ubytki aparatu asymilacyjnego i rozwój dolnych warstw lasu. Powyższe czynniki, a ponadto przewidywany wzrost międzyrocznej zmienności opadów [Giorgi i in. 2004], będą prowadziły do nasilonego występowania zjawisk suszy, dotyczących przede wszystkim drzewostany rosnące na glebach lekkich i płytkich, podatnych na utratę wody. Zróżnicowane reakcje poszczególnych gatunków na przemiany zachodzące w środowisku będą prowadziły do zmian stosunków konkurencyjnych i zjawisk demograficznych, co wraz z nowym reżimem zaburzeń ma być głównym czynnikiem sprawczym przekształceń strukturalnych drzewostanów i całych układów przyrodniczych [Milada i in. 2011; Aitken i in. 2008]. Oceniając podatność zbiorowisk Europy na przekształcenia wynikające ze zmian klimatu przy wykorzystaniu wskaźników bioklimatycznych, Garcia-Lopez i Allule [2012] wskazali na południkowy trend zmian zespołów leśnych, od ich wzbogacania w Skandynawii do degeneracji w regionie śródziemnomorskim. Zaobserwowano, że największą plastyczność (zdolność dostosowania fizjonomii do ewentualnych zmian) mają w Europie grądy i buczyny, a także inne zespoły występujące w takich warunkach siedliskowych, w których naturalnie współwystępuje ich większa liczba. W przypadku bardziej wrażliwych zbiorowisk leśnych, zwiększona częstotliwość różnego rodzaju katastrof może doprowadzić do zaniku ich późnosukcesyjnych (zrównoważonych) stadiów. Badania symulacyjne wskazują, że silniejsze przekształcenia składu gatunkowego drzewostanów będą opóźnione ze względu na długowieczność drzew o kilkadziesiąt lat w stosunku do wystąpienia powodujących je zmian klimatycznych. Okres największych przekształceń strukturalnych, którym towarzyszy wyraźnie obniżona produktywność, może trwać od 40 do 120 lat – tym krócej, im większa jest wyjściowa złożoność strukturalna drzewostanu, wyrażająca się m.in. jego dużym zróżnicowaniem wiekowym [Dale i in. 2010].

Przewiduje się, że zmiany klimatu w Europie spowodują przesunięcia zasięgów wielu gatunków drzew, a także ułatwią kolonizację gatunków obcych (np. robinii). Według Brookera i in. [2007] do prognozowania przyszłych arealów gatunków można wykorzystać tradycyjne profile klimatyczne, jednak pod warunkiem dodatkowego uwzględnienia interakcji międzygatunkowych. Konkurencja może opóźnić rozprzestrzenianie się ciężkonasiennych gatunków późnosukcesyjnych, zdolnych do sukcesu tylko przy dostatecznym nasileniu skali i tempa zmian klimatycznych. Oczekiwane są również przesunięcia granicy lasu – najbardziej spektakularne w Alpach, gdzie w niektórych położeniach miałaby się ona podnieść nawet o 600-700 m, a jednocześnie obniżyć się w miejscach najsuchszych [Seidl 2004]. Górską granicę lasu może wykazywać dużą dynamikę, ponieważ bardziej niż od średnich wartości parametrów klimatu zależy od ich międzyrocznej zmienności i przypadków nakładania się wieloletnich serii susz i niskiej temperatury zimowej [Bugmann, Pfister 2000]. Wieloletnia kumulacja skutków oddziaływań środowiska na procesy demograficzne i wzrost drzew jest zresztą szerszym zjawiskiem: dotyczy też np. temperatury wiosennej oraz susz letnich [Clark i in. 2011].

Uproszczenia przyjmowane w pierwszych empirycznych modelach drzewostanu, np. brak zróżnicowania strukturalnego i konkurencji międzygatunkowej oraz użycie klasy bonitacji wzrostowej jako miary warunków siedliskowych, z czasem ograniczyły zakres ich zastosowań. Początek nowemu podejściu dał opracowany 40 lat temu ekologiczny model wzrostu lasu JABOWA, z którego wywodzi się grupa płatowych modeli drzewostanu [Bugmann 2001] oraz bardziej złożone modele fizjologiczne. W modelach płatowych symuluje się procesy odnowienia, wzrostu i zamierania grup drzew różnych gatunków na kilkunastu powierzchniach (płatach), a produkcję biomasy uzależnia się od wielu parametrów środowiska, zmieniających się w kolejnych latach. Do tej kategorii należą też oryginalne, sparametryzowane dla warunków polskich modele FORLAS [Brzeziecki 1999] oraz FORKOME [Kozak 2005]. Aby uwzględnić

zróznicowanie wymagań ekologicznych gatunków drzew oraz ich odmienne zachowanie w różnych warunkach środowiska, w modelach parametryzuje się osobno każdy gatunek oraz stosuje się mnożniki wzrostu i odnowienia, pozwalające na liczbowe wyrażenie intensywności ograniczającego wpływu różnych czynników na przyrost i odnowienie drzew. Mnożniki przyjmują wartości od 0 do 1 i wskazują, jaka część maksymalnego przyrostu pola przekroju poszczególnych drzew czy maksymalnego zagęszczenia ich odnowień może być zrealizowana w danym roku. Funkcję opisującą zależność mnożnika od spektrum konkretnego czynnika środowiska (np. parabolę, sigmoidę czy linię prostą) wybiera się na podstawie analizy danych empirycznych i wiedzy eksperckiej autora.

Material i metody

Prace przygotowawcze do badań wpływu zmian środowiska na stosunki konkurencyjne w lasach Polski obejmowały konstrukcję prostego scenariusza zmian klimatycznych, wybór ośmiu gatunków drzew o największym znaczeniu gospodarczym i poprawki w ich parametryzacji, a także wybór sześciu stacji meteorologicznych, reprezentujących w kontrastowy sposób nizinne i wyżynne krainy przyrodniczo-leśne (krainy górskie pominięto ze względu na duży wpływ orografii na klimat lokalny). Do syntetycznej oceny reakcji gatunków na termiczne i higryczne cechy klimatu wykorzystano dwa wybrane mnożniki wzrostu *DDGF* i *SMGF*.

Podstawowe dane meteorologiczne charakteryzujące klimat lokalny w modelu FORLAS to średnie wieloletnie miesięcznej sumy opadów i miesięczne z dobowych wartości temperatury maksymalnej i minimalnej. Dane dla wybranych stacji meteorologicznych wzięto z pracy Chomicza [1977]. Pochodziły one z lat 1951-1970, co pozwoliło uchwycić stan przed rozpoczęciem wyraźnych zmian klimatycznych. Kierując się umiarkowanym wariantem prognoz IPCC, przyjęto, że do końca XXI wieku średnie miesięczne wartości różnych parametrów klimatu zmienią się następująco: temperatura maksymalna wzrośnie o 3°C w miesiącach wiosennych (IV-VI) i o 4°C w pozostałych, temperatura minimalna wzrośnie tak samo jak maksymalna z wyjątkiem zimy, kiedy zwiększy się o 5°C, natomiast wielkość opadów zmieni się o 10% względem dotychczasowych wartości – wzrosną jesienią i zimą (X-III), a obniżą się w pozostałych miesiącach. Oszacowane wyżej przyrosty temperatury uwzględniają dodatkowy wzrost o około 1°C, zarejestrowany od czasu zebrania danych.

W pierwszych modelach płatowych jako miarę reakcji przyrostowej drzew na warunki ciepłe stosowano paraboliczną funkcję sumy temperatury efektywnej, parametryzowaną na podstawie skrajnych granic zasięgu. Dalsze analizy wykazały jednak, że ewentualne obniżenie przyrostu wskutek wzrostu temperatury efektywnej (odwzorowane spadkiem prawego ramienia paraboli) można uznać jedynie za pośredni rezultat suszy. Z tego powodu w niniejszej pracy do obliczenia mnożnika wpływu temperatury efektywnej *DGD* na przyrost drzew zastosowano rosnącą funkcję asymptotyczną [Bugmann, Solomon 2000], powiązaną jedynie z minimalną temperaturą efektywną (*DEGMI*):

$$DDGF = \text{MAX} (1 - e^{(DEGMI-DGD) \cdot a}, 0)$$

W powyższym wzorze parametr $a=0,0014$ reguluje nachylenie krzywej w taki sposób, aby wskaźnik *DDGF* wynosił 0,75 (75% maksymalnej wartości przyrostu) dla wartości *DGD* większej od *DEGMI* o 1000°C. Do określenia parametrów gatunków wykorzystano oszacowane na podstawie klimatycznych diagnoz arealu wartości z pracy Brzezieckiego [1999], zmodyfikowane i przeliczone na niższy próg temperatury (+5°C). Dla jesionu przyjęto wartość *DEGMI* – 1300°C, dla dębu szypułkowego, buka i jodły – 1200°C, dla olszy czarnej – 1000°C, dla świerka – 600°C, natomiast dla sosny i brzozy brodawkowatej – 500°C.

Do obliczeń higrycznego mnożnika wzrostu $SMGF$ wykorzystuje się wskaźnik suszy DRI , którego zwiększenie powoduje proporcjonalny, zależny od gatunku spadek efektywnego przyrostu:

$$SMGF = 1 - DRI / (0,1 \cdot IDRT)$$

gdzie:

$IDRT$ to parametr określający stopień odporności danego gatunku na suszę.

W wielu modelach płatowych podstawą wyliczeń wskaźnika suszy DRI jest algorytm bazujący na porównaniu miesięcznych wartości ewapotranspiracji potencjalnej i rzeczywistej. Niektóre jego założenia okazały się jednak mało realistyczne, skutkując m.in. niedoszacowaniem zapasów wody glebowej podczas długotrwałej suszy. Z tego powodu w niniejszej pracy zastosowano zmodyfikowany wskaźnik suszy DR Bugmanna i Cramera [1998] wraz z odpowiednio skorygowanymi wartościami parametru $IDRT$, wynoszącymi 1 dla gatunków wrażliwych na niedobór wody (świerk, olsza czarna, jesion i buk), 2 – dla jodły, 3 – dla brzozy i 5 – dla najbardziej odpornej sosny.

Wyniki

W tabeli 1 przedstawiono charakterystyki położenia i klimatu sześciu wybranych lokalizacji oraz obliczone dla nich wartości temperatury efektywnej DGD oraz wskaźnika suszy DR dla warunków przed i po wystąpieniu symulowanych zmian klimatu. Zróżnicowanie średniej temperatury rocznej jest niewielkie (0,7°C, nie licząc chłodniejszego Olsztyna) i podobnie jak amplitudy roczne wykazuje związek z gradientem kontynentalizmu. Zmienność wartości DGD wykazuje podobieństwo do układu średniej temperatury rocznej. W wariancie ze zmianami klimatu wartości DGD są wyższe o 840-970°C (więcej w zachodniej części kraju), co oznacza duże, około 50-procentowe wzrosty względem wartości początkowych. Wskaźnik suszy przyjmuje niskie wartości (0,00-0,05) i jest mało zróżnicowany regionalnie, podobnie jak wykorzystywane do jego obliczenia sumy opadów. Przewidywany wzrost temperatury (wzmagający ewapotranspirację) i przesunięcie części opadów na sezon zimowy (pogłębiające deficyt wody w sezonie wegetacyjnym) mają zasadniczy wpływ na higryczne warunki wzrostu drzew we wszystkich analizowanych krainach, wyrażające się wyraźnym wzrostem (o 0,12-0,16) wartości wskaźnika DR .

Przedstawione zróżnicowanie wartości zmiennych klimatycznych DGD i DR w różny sposób przekłada się na termiczne i higryczne mnożniki wzrostu poszczególnych gatunków (ryc., tab. 2). Analiza termicznego mnożnika wzrostu $DDGF$ wskazuje, że w obecnych warunkach klimatycznych gatunki pionierskie (So, Brz) wyraźnie odróżniają się od tych o większych wyma-

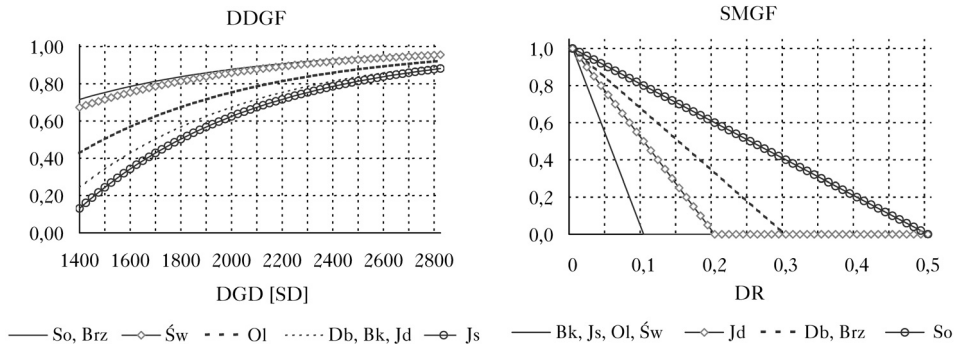
Tabela 1.

Wybrane stacje meteorologiczne oraz obecne (0) i przewidywane (1) wartości zmiennych klimatycznych
Selected meteorological stations with current (0) and predicted (1) values of climate variables

Kraina	Stacja	Współrzędne	Tśr ⁰	Tamp ⁰	P ⁰	DGD ⁰	DGD ¹	DR ⁰	DR ¹
I	Szczecin	53°24'N 14°37'E	8,1	27,5	536	1736	2687	0,04	0,19
II	Olsztyn	53°46'N 20°25'E	6,7	29,9	620	1521	2363	0,00	0,12
III	Poznań	52°25'N 16°50'E	7,9	29,5	533	1773	2684	0,04	0,19
IV	Warszawa	52°09'N 20°59'E	7,6	30,4	497	1745	2626	0,05	0,21
V	Wrocław	51°06'N 16°53'E	8,2	30,0	547	1797	2725	0,00	0,15
VI	Rzeszów	50°06'N 22°03'E	7,5	31,5	603	1753	2622	0,00	0,12

Tśr – średnia temperatura roczna [°C]; Tamp – największa różnica dowolnej pary średnich miesięcznych wartości dobowych temperatury maksymalnej i minimalnej [°C]; P – roczna suma opadów atmosferycznych [mm]

Tśr – mean annual temperature [°C]; Tamp – highest difference between any pair of monthly mean maximum and minimum diurnal temperature [°C]; P – annual precipitation [mm]



Ryc.

Zależność wybranych mnożników wzrostu głównych gatunków drzew od temperatury efektywnej (lewo) oraz wskaźnika suszy (prawo)

Relationship of selected growth multipliers for tree species to effective temperature yearly sum (left) and drought indicator (right)

Tabela 2.

Zmiany wartości mnożników wzrostu gatunków w krainach I-VI jako rezultat zmian klimatu
Changes of species growth multipliers in regions I-VI as result of predicted climate changes

Gatunek	$\Delta DDGF$						$\Delta SMGF$					
	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
<i>Abies alba</i>	0,35	0,44	0,32	0,33	0,32	0,32	-0,75	-0,62	-0,79	-0,77	-0,76	-0,59
<i>Alnus glutinosa</i>	0,26	0,33	0,24	0,25	0,24	0,25	-0,61	-1,00	-0,62	-0,54	-1,00	-1,00
<i>Betula pendula</i>	0,13	0,17	0,12	0,12	0,12	0,12	-0,50	-0,41	-0,52	-0,55	-0,51	-0,39
<i>Fagus sylvatica</i>	0,35	0,44	0,32	0,33	0,32	0,32	-0,61	-1,00	-0,62	-0,54	-1,00	-1,00
<i>Fraxinus excelsior</i>	0,40	0,51	0,37	0,38	0,36	0,37	-0,61	-1,00	-0,62	-0,54	-1,00	-1,00
<i>Picea abies</i>	0,15	0,19	0,14	0,14	0,14	0,14	-0,61	-1,00	-0,62	-0,54	-1,00	-1,00
<i>Pinus sylvestris</i>	0,13	0,17	0,12	0,12	0,12	0,12	-0,30	-0,25	-0,31	-0,33	-0,31	-0,24
<i>Quercus robur</i>	0,35	0,44	0,32	0,33	0,32	0,32	-0,50	-0,41	-0,52	-0,55	-0,51	-0,39

ganiach ciepłych (Db, Bk, Js, Jd), dla których niedobór ciepła obecnie ogranicza zrealizowany przyrost do 20-50% wartości maksymalnych. Zmiany klimatyczne spowodują u praktycznie wszystkich gatunków wzrost wartości *DDGF* do wartości suboptymalnych (>80%). Zacieranie się międzygatunkowych różnic w stopniu realizacji możliwości przyrostowych będzie preferowało gatunki o większych zdolnościach konkurencyjnych, które w obecnym klimacie nie mogły ujawniać swoich możliwości z powodu niedoboru ciepła, co dotyczy zwłaszcza buka. Zwiększenie wartości wskaźnika suszy *DR* przekłada się na drastyczny spadek przyrostu wszystkich gatunków, wyrażony mnożnikiem *SMGF* (o 25-100% wartości maksymalnej). Na mniej wilgotnych stanowiskach należy spodziewać się eliminacji gatunków o dużych wymaganiach wilgotnościowych (Ol, Js, Św i Bk) i wyraźnego ograniczenia wzrostu pozostałych. Takie zubożenie gatunkowe może w przyszłości zmniejszyć produktywność lasów, ponieważ istnieją przesłanki, że drzewostany bogatsze gatunkowo w warunkach nawracających zaburzeń łatwiej utrzymują pierwotny poziom przyrostu [Morin i in. 2011].

Dyskusja

Konstrukcja płatowych modeli rozwoju drzewostanu pozwala zarówno na uwzględnienie stanu obecnego i przewidywanych zmian wybranych czynników środowiska, jak również interakcji

różnych czynników oraz procesów demograficznych. Złożona i zależna od preferencji autorów konstrukcja tych modeli sprawia, że ich wyniki zwykle się różnią, dlatego pojawiają się sugestie, aby wnioski odnośnie przyszłego składu gatunkowego konstruować na podstawie porównań wielu modeli, a ponadto ograniczyć je do oceny odporności obecnych drzewostanów na zmiany zachodzące w środowisku [Cheal i in. 2012; Bugmann 1997]. Stosowane w tych modelach mnożniki wzrostu okazały się prostym narzędziem do bezpośredniej oceny wpływu zmian wybranych czynników środowiska na przyrost i stosunki konkurencyjne gatunków.

Wykazano, że w zakresie wartości temperatury i opadów miesięcznych spotykanych na nizinach Europy Środkowej głównym czynnikiem środowiska wpływającym na zróżnicowanie przyrostu gatunków stanie się w przyszłości dostępność wody (obecnie wystarczająca), uwarunkowana zarówno poziomem opadów, jak i stratami powodowanymi przez ewapotranspirację. Przewidywane zmiany w dostępności ciepła i wody spowodują zróżnicowane reakcje gatunków drzew, co oprócz ogólnego obniżenia zapasu będzie stymulować przekształcenia strukturalne drzewostanów. Stuletnia perspektywa prognozowania, stanowiąca ułamek życia drzew, jest zbyt krótka, aby wskazać rezultaty tych przekształceń. Wynikająca ze wzrostu temperatury przewaga przyrostowa buka w XXI wieku prawdopodobnie nie przełoży się jeszcze na większe zmiany składu gatunkowego drzewostanów, ale może utrudnić odnowienie i dalszy rozwój innych gatunków. Ekspansja buka w cieplejszym klimacie jest mało prawdopodobna na glebach lżejszych ze względu na niedosyt ich wilgotności [Gessler i in. 2007] i słabszy w takim klimacie system korzeniowy [Rötzer i in. 2009]. W wielu miejscach, zwłaszcza w pasie wyżyn i na Mazurach, można spodziewać się spadku znaczenia innych gatunków wrażliwych na niedobory wody (olszy i świerka). Proces taki już zaobserwowano w Puszczy Białowieskiej [Brzeziecki i in. 2012], gdzie gatunkami zyskującymi na znaczeniu stają się grab i lipa. Ubocznym skutkiem przekształceń strukturalnych drzewostanów będzie zanikanie rzadszych gatunków domieszkowych, wymagających specyficznych siedlisk i trudno rozprzestrzeniających się [Münkemüller 2009]. Jest to obserwowane również w Białowieży w odniesieniu do osiki, wiązów i klonów [Brzeziecki i in. 2012].

W warunkach niepewności co do kierunku zmian środowiska oraz możliwej skali reakcji poszczególnych gatunków, w gospodarce leśnej zaleca się tzw. zarządzanie adaptacyjne, obejmujące m.in. różnicowanie składu gatunkowego i struktury przestrzennej drzewostanów [Malmshheimer i in. 2008; D'Amato i in. 2011], a w nowych sytuacjach również „uczenie się przez działanie”, dopuszczające ryzyko popełniania błędów [Bodin, Wiman 2007].

Literatura

- Aitken S., Yeaman S., Holliday J. A., Wang T., Curtis McLane S. 2008. Adaptation, migration or extirpation: climate change outcomes for tree populations. *Evolutionary Applications* 1: 95-111.
- Bodin P., Wiman B. L. 2007. The usefulness of stability concepts in forest management when coping with increasing climate uncertainties. *For. Ecol. Manage.* 242: 541-552.
- Brooker R., Travis J., Clark E. J., Dytham C. 2007. Modelling species' range shifts in a changing climate: The impacts of biotic interactions, dispersal distance and the rate of climate change. *J. Theor. Biol.* 245: 59-65.
- Brzeziecki B. 1999. Ekologiczny model drzewostanu. Konstrukcja. Parametryzacja. Przykłady zastosowań. Wyd. SGGW. Warszawa.
- Brzeziecki B., Keczyński A., Zajączkowski J., Drozdowski S., Gawron L., Buraczyk W., Bielak K., Szeliński H., Dzwonkowski M. 2012. Zagrożone gatunki drzew Białowieskiego Parku Narodowego (Rezerwat Ścisły). *Sylvan* 156 (4). 252-261.
- Bugmann H. 2001. A review of forest gap models. *Climatic Change* 51: 259-305.
- Bugmann H. 1997. Sensitivity of forests in the European Alps to future climatic changes. *Climate Research* 8: 35-44
- Bugmann H., Cramer W. 1998. Improving the behaviour of forest gap models along drought gradients. *For. Ecol. Manage.* 103: 247-263.

- Bugmann H., Pfister C. 2000. Impact of Interannual climate variability on past and future forest composition. *Regional Environ. Change* 1: 112-125.
- Bugmann H., Solomon A. M. 2000. Explaining forest composition and biomass across multiple biogeographical regions. *Ecological Applications* 10 (1): 95-114.
- Chebib A., Badeau V., Boe J., Chuine I., Delire C., Dufrene E. 2012. Climate change impacts on tree ranges: model intercomparison facilitates understanding and quantification of uncertainty. *Ecology Letters* 15: 533-544.
- Chomicz K. 1977. Materiały do poznania agroklimatu Polski. PWN, Warszawa
- Clark J. S., Bell D. M., Hersh M. H., Nichols L. 2011. Climate change vulnerability of forest biodiversity: climate and competition tracking of demographic rates. *Global Change Biology* 17: 1834-1849.
- Dale V. H., Tharp M. L., Lannom K. O., Hodges D. 2010. Modeling transient response of forests to climate change. *Science of the Total Environ.* 408: 1888-1901.
- D'Amato A. W., Bradford J., Fraver S., Palik B. 2011. Forest management for mitigation and adaptation to climate change: Insights from long-term silviculture experiments. *For. Ecol. Manage.* 262 (5): 803-816.
- Garcia-Lopez J. M., Allule C. 2012. A phytoclimatic-based indicator for assessing the inherent responsiveness of the European forests to climate change. *Ecological Indicators* 18: 73-81.
- Gessler A., Keitel K., Kreuzwieser J., Seiler W., Rennerberg H. 2007. Potential risks for European beech (*Fagus sylvatica* L.) in a changing climate. *Trees* 21: 1-11.
- Giorgi F., Xunqiang B., Pal J. 2004. Mean, interannual variability and trends in a regional climate change experiment over Europe. II: climate change scenarios (2071-2100). *Climate Dynamics* 23: 839-858.
- Kozak I., Ferchmin M., Potaczka G., Kozak O., Seńko Z., Baraniuk-Otręba A. 2005. Prognozowanie zmian lasu mieszanego w Kampinoskim Parku Narodowym z zastosowaniem modelu FORKOME. *Acta Sci. Pol. Silv. Colendar. Rat. Ind. Lignar.* 4 (2): 49-62.
- Lindner M., Maroschek M., Netherer S., Kremer A., Barbati A., Garcia-Gonzalo J., Seidl R., Delzon S., Corona P., Kolström M., Lexer M. J., Marchetti M. 2010. Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *For. Ecol. Manage.* 259 (4): 698-709.
- Malmshemer R. W., Heffernan P., Brink S., Crandall D., Deneke F., Galik C., Gee E., Helms J. A., McClure N., Mortimer M., Ruddell S., Smith M., Stewart J. 2008. Forest management solutions for mitigating climate change in the United States. *J. For.* 106 (3): 115-173.
- Milada M., Schaich H., Burgi M., Konold W. 2011. Climate change and nature conservation in Central European forests: A review of consequences, concepts and challenges. *For. Ecol. Manage.* 261: 829-843.
- Morin X., Fahse L., Scherer-Lorenzen M., Bugmann H. 2011. Tree species richness promotes productivity in temperate forests through strong complementarity between species. *Ecology Letters* 14: 1211-1219.
- Münkemüller T., Reineking B., Travis J., Bugmann H., Johst K. 2009. Disappearing refuges in time and space: how environmental change threatens species coexistence. *Theoretical Ecology* 2: 217-227.
- Räisänen J., Hansson U., Ullerstig A., Döscher R., Graham L. P., Jones C., Meier H. E. M., Samuelsson P., Willén U. 2004. European climate in the late twenty-first century: regional simulations with two driving global models and two forcing scenarios. *Climate Dynamics* 22: 13-31.
- Rötzer T., Seifert T., Pretzsch H. 2009. Modelling above and below ground carbon dynamics in a mixed beech and spruce stand influenced by climate. *Europ. J. For. Res.* 128: 171-182.
- Seidl R. 2004. Response of European mountain forests to abrupt climate change. International Institute for Applied Systems Analysis, Interim Report IR-04-055. 65.

SUMMARY

Impact of potential climate changes on competitive ability of main forest tree species in Poland

This paper outlines the current knowledge on main ways in which the climate and its possible future changes may influence forest stands and also discusses the behaviour of two tree species growth variables under predicted climate change. To study the influence of environmental changes upon tree species competition in Polish forests, a scenario of environmental changes was constructed (3-4°C increase of monthly temperatures and 10% seasonal precipitation changes), eight economically important tree species were selected and meteorological data representative for six lowland and highland natural regions was chosen. For a synthetic assessment of the reaction of various species for thermal and higrig parameters of the climate, we incorporated growth

multipliers DDGF [Bugmann, Solomon 2000] and SMGF [Bugmann, Cramer 1998], used in gap-type models of forest stand development. We found the water shortage due to increased evapotranspiration will be the main environmental factor influencing future growth of tree species on Central European lowlands. In many regions, especially in a highland zone and Mazury Lakeland a decrease is expected of water sensitive species importance, eg. alder and spruce, at favour of hornbeam and linden. Anticipated is country-scale expansion of highly competitive, late-successional species, from which beech may dominate on better soils. As a direction of environmental changes and particular species reactions remain uncertain, adaptive management techniques are recommended, which differentiate species composition and the structure of tree stands.