

**ELŻBIETA DMYTERKO, ARKADIUSZ BRUCHWALD, MARCIN MIONSKOWSKI,  
BOGDAN BRZEZIECKI**

## **Model składu gatunkowego drzewostanu dla lasów w Sudetach z uwzględnieniem zmian klimatycznych**

Species composition model for the forests of the Sudety Mountains with regard to climate change

### **ABSTRACT**

Dmyterko E., Bruchwald A., Mionskowski M., Brzezicki B. 2020. Model składu gatunkowego drzewostanu dla lasów w Sudetach z uwzględnieniem zmian klimatycznych. Sylwan 164 (6): 454-466. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylwan.2020067>.

Climate change creates a big challenge for forest science. One of several problems calling for urgent solution concerns the elaboration of the scientific foundations for determination of the species composition of forest stands under changing environmental conditions. This problem is particularly acute in case of declining Norway spruce stands in the Sudety Mountains (SW Poland). The paper presents the main principles used to develop a model allowing determination of the most desirable species composition for any given forest stand occurring in the Sudety region. These principles include: 1) an assumption that a basis for species composition planning should be a forest site type, corrected by means of site index of the currently existing forest stand, 2) a supposition that one should broadly consider present processes taking place in Sudety stands, particularly, an intense forest dieback caused by recurring drought periods and strong winds, 3) a postulate that one should consider the differences between tree species in respect to their reaction to particular abiotic factors, 4) an assumption that majority of stands should consist of several different tree species, 5) an assumption that introducing on a wide scale Douglas fir, well-adapted to the conditions of the Sudety Mountains, is allowed, 6) an idea that one should take into account differentiated production potential and varied timber quality of particular tree species, 7) an assumption that one should consider the main features of topography (altitude, exposition, slope) as well as 8) fine elements of micro-topographical situation, as a basis for introduction of different tree species. The results obtained by means of the model based on the above mentioned principles are presented on the example of two forest districts: Łądek-Zdrój (fig. 4a, b) and Szklarska Poręba (fig. 5a, b). In both cases, a necessity to diminish the share of Norway spruce and to increase the share of such species like common beech, silver fir, Douglas fir and European larch is demonstrated. One may expect that projected compositions, taking into account the most appropriate tree species and their most suitable localizations, will allow establishment of forest stands which will be more resistant to drought and wind and, thus, will be more able to fulfill several important forest functions (related to water and soil protection, protection of forest biodiversity and timber production).

### **KEY WORDS**

abiotic and biotic factors, climatic change, forest damage, forest functions, stand composition

## ADDRESSES

Elżbieta Dmyterko <sup>(1)</sup> – e-mail: E.Dmyterko@ibles.waw.pl  
 Arkadiusz Bruchwald <sup>(1)</sup> – e-mail: A.Bruchwald@ibles.waw.pl  
 Marcin Mionskowski <sup>(1)</sup> – e-mail: M.Mionskowski@ibles.waw.pl  
 Bogdan Brzeziecki <sup>(2)</sup> – e-mail: bogdan.brzeziecki@wl.sggw.pl

<sup>(1)</sup> Zakład Zarządzania Zasobami Leśnymi, Instytut Badawczy Leśnictwa; Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Raszyn

<sup>(2)</sup> Katedra Hodowli Lasu, SGGW w Warszawie; ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

## Wstęp

Powszechnie przyjmuje się, że częściej występujące w ostatnich latach ekstremalne zjawiska pogodowe, takie jak intensywne susze, silne upały, huraganowe wiatry czy ulewne deszcze, mają związek z antropogenicznie uwarunkowanymi zmianami klimatycznymi [Brang i in. 2014]. Spodziewać się także można nasilenia tych zjawisk w przyszłości [Zajączkowski i in. 2013]. W tej sytuacji wielkim wyzwaniem dla nauk leśnych jest opracowanie naukowych podstaw strategii postępowania, w celu zwiększenia potencjału adaptacyjnego lasów wobec postępujących zmian klimatycznych [Anderegg i in. 2013; Brang i in. 2014; Allen i in. 2015]. Jednym z problemów wymagających pilnego rozwiązania jest opracowanie zasad kształtowania składu gatunkowego nowego pokolenia lasu w miejsce rozpadających się i zagrożonych rozpadem drzewostanów. Od nowych generacji leśnych oczekuje się lepszego dostosowania do coraz szybciej zmieniających się warunków klimatycznych.

Problem kształtowania składu gatunkowego lasów dotyczy m.in. Sudetów, jednych z najstarszych gór w Europie, położonych w południowo-zachodniej Polsce. Obecnie porastają je głównie stare świerczyny – lasy o obniżonej stabilności i odporności, często uszkodzone przez czynniki abiotyczne, m.in. przez wiatr i suszę. Bardzo duże zniszczenia wyrządził w nich np. międzykontynentalny huragan „Cyril” w 2007 roku. Szkody w tych lasach wywołują również czynniki biotyczne i antropogeniczne. Przykładem tego jest rozpad drzewostanów na przełomie lat 70. i 80. ubiegłego wieku w Górach Izerskich (Sudety Zachodnie). Spowodowany był on przede wszystkim przez zanieczyszczenia przemysłowe oraz dwa gatunki owadów: wskaźnicę modrzewianeczkę (*Zeiraphera griseana*) i kornika drukarza (*Ips typographus*) [Capecki i in. 1989, 1991]. Niepokojący w ostatnim okresie jest zwłaszcza nasilający się w lasach Sudetów proces wydzielania się drzew (przeważnie świerka) oraz w wielu przypadkach całkowity rozpad drzewostanów. Jest to skutek głównie intensywnej suszy w 2015 roku – określony dla okresu wegetacyjnego tego roku klimatyczny bilans wodny był najniższy od kilkudziesięciu lat [Durło 2019].

Nasilający się coraz bardziej proces rozpadu drzewostanów sudeckich stworzył pilną potrzebę opracowania i wdrożenia do praktyki zasad prewencyjnej przebudowy tych drzewostanów. Jedną z najważniejszych decyzji dotyczy składu gatunkowego nowego pokolenia leśnego, mającego zastąpić słabo zaadaptowane do zmieniających się warunków środowiskowych lasy.

Celem niniejszej publikacji jest opracowanie naukowych podstaw kształtowania składu gatunkowego odnowienia drzewostanów w Sudetach. Zasady te zostaną ujęte w model, określający udział poszczególnych gatunków drzew w zależności od lokalnego układu najważniejszych czynników środowiskowych, wpływających na przeżywalność, wzrost i stan zdrowotny nowego pokolenia lasu.

## Teren badań

Lasy Sudetów zarządzane są przez 12 nadleśnictw wchodzących w skład Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych we Wrocławiu (tab. 1). Niektóre z tych nadleśnictw (zwłaszcza Świdnica i Świeradów) obejmują zasięgiem również lasy wyżynne, położone na północ od Sudetów. Powierzchnia poszczególnych nadleśnictw obszaru badań waha się od około 9 do 16 tys. ha. Średni wiek drzewostanów wynosi 75 lat, średnia miąższość 364 m<sup>3</sup>/ha, a przyrost miąższości określony przy pomocy modelu wzrostu drzewostanu – 10,4 m<sup>3</sup>/ha/rok [Bruchwald 1986]. Powierzchniowy udział drzewostanów świerkowych przekracza 67% (tab. 1). W latach 2015-2019 pozyskano w tych nadleśnictwach posusz o miąższości 1,9 mln m<sup>3</sup> oraz złomy i wywroty o miąższości 1,3 mln m<sup>3</sup>, co stanowi łącznie 3,2 mln m<sup>3</sup>. Najmniej posuzu pozyskano w Nadleśnictwie Szklarska Poręba (24 tys. m<sup>3</sup>), natomiast najwięcej w Nadleśnictwie Świdnica (413 tys. m<sup>3</sup>). Pozyskanie złomów i wywrotów kształtowało się od 36 tys. m<sup>3</sup> w Nadleśnictwie Bardo Śląskie do 273 tys. m<sup>3</sup> w Nadleśnictwie Międzyzlesie.

## Materiał i metody

Za podstawowe jednostki badawcze przyjęto poszczególne drzewostany obszaru badań. Główne dane o tych drzewostanach, w tym m.in. typ siedliskowy lasu, powierzchnię, wiek, skład gatunkowy, średnią pierśnicę i wysokość, z uwzględnieniem gatunków drzew, uzyskano z Systemu Informatycznego Lasów Państwowych (SILP). Wykorzystując modele wzrostu drzewostanu [Bruchwald 1977], obliczono dla każdego drzewostanu wysokość górną, jaką uzyska on lub uzyskał w wieku 100 lat [Assmann 1968; Cieszewski, Zasada 2002; Socha 2010]. Wysokość ta jest bonitacją drzewostanu.

Na podstawie map numerycznych nadleśnictw i numerycznego modelu terenu określono dla każdego drzewostanu podstawowe cechy rzeźby terenu, tj. wysokość położenia nad poziomem morza, nachylenie terenu i wystawę oraz szczegółowe formy rzeźby terenu [Weiss 2001;

Tabela 1.

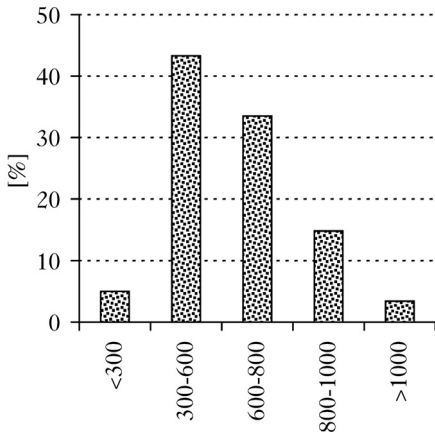
Powierzchnia (A [ha]), średni wiek (W [lata]), przeciętna zasobność (V [m<sup>3</sup>/ha]), przeciętny przyrost miąższości (Zv [m<sup>3</sup>/ha/rok]), udział świerka (%Sw [%]) i miąższość posuzu w latach 2015-2019 (Vpos [tys. m<sup>3</sup>]) w nadleśnictwach zarządzających lasami w Sudetach

Area (A [ha]), mean stand age (W [years]), average volume (V [m<sup>3</sup>/ha]), mean volume increment (Zv [m<sup>3</sup>/ha/year]), fraction of Norway spruce (%Sw [%]) and volume of dead trees (Vpos [ $\times 1000$  m<sup>3</sup>]) in 2015-2019 for the forest districts in the Sudety Mountains

	A	W	V	Zv	%Sw	Vpos
Lądek-Zdrój	16 006	82	392	9,7	83,5	178
Międzyzlesie	9 991	79	384	9,8	79,6	81
Bystrzyca Kłodzka	12 387	79	418	10,4	80,3	98
Zdroje	9 982	83	415	10,8	75,9	57
Bardo Śląskie	12 436	75	325	8,8	38,0	402
Jugów	9 009	72	382	10,5	64,8	197
Świdnica	16 084	81	354	8,6	35,9	413
Wałbrzych	14 963	79	340	8,8	64,4	119
Kamienna Góra	15 425	72	383	10,6	80,7	170
Śnieżka	12 519	73	368	10,3	71,2	57
Szklarska Poręba	13 799	65	320	10,3	80,0	24
Świeradów	14 936	58	306	11,7	58,7	115
Razem	157 437	76	363	10,0	67,3	1 911
In total						

Socha 2010]. Znaczna część drzewostanów Sudetów (43,2%) występuje na wysokości od 300 do 600 m n.p.m., co określa się jako piętro roślinno-wysokościowe pogórza [Bruchwald, Dmyterko 2010] (ryc. 1). Duży udział (33,4%) mają także drzewostany położone w zakresie wysokości 600-800 m n.p.m., odpowiadające regłowi dolnemu niższemu. Pozostałe drzewostany występują w reglu dolnym wyższym (14,7%) i reglu górnym (3,4%), a także na terenach nizinnych (5,0%). Tereny nizinne porastają głównie drzewostany dębowe (34,0%), w mniejszym udziale świerkowe (18,1%) i sosnowe (15,9%). Pozostałe piętra roślinno-wysokościowe zdominowane są przez drzewostany świerkowe, których udział w piętrze pogórza wynosi 55,8%, w reglu dolnym niższym – 81,8%, w reglu dolnym wyższym – 91,9%, a w reglu górnym – 98,7%. Na pogórzu znaczący jest udział buka (14,7%), dębu (8,7%) i sosny (5,7%), a w reglu dolnym – buka (w reglu dolnym niższym 10,7%, w wyższym 4,3%).

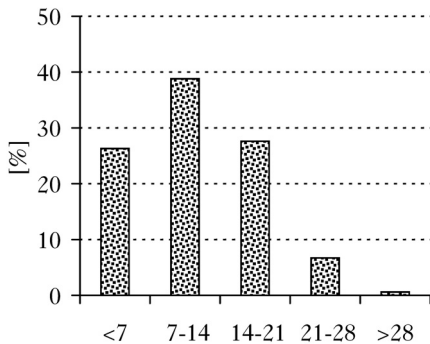
Najwięcej drzewostanów występuje na stokach o nachyleniu 7-14° i 14-21° (odpowiednio 38,8% i 27,6%) (ryc. 2). Duży jest także udział drzewostanów rosnących na terenie płaskim – o nachyleniu do 7° (26,3%). Pozostałe występują na zboczach o nachyleniu 21-28° (6,8%) i na zboczach stromych – o nachyleniu powyżej 28° (0,6%). Duża część drzewostanów obszaru badań rośnie na terenie o wystawach wschodniej (21,4%) i północnej (21,1%), a najmniejsza o wystawie południowej (13,8%) (ryc. 3). Najwięcej drzewostanów występuje na terenie płaskim, tj. o nachyleniu do 7° (26,3%). We wszystkich drzewostanach, bez względu na wystawę, dominuje świerk, przy czym jego największy udział stwierdzono w drzewostanach o wystawie wschodniej (75,2%) i północnej (74,0%). Największy udział buka występuje w drzewostanach o wystawie południowej (18,1%) i zachodniej (14,1%), nieco mniejszy o wystawie wschodniej (12,6%) i północnej (11,0%).



Ryc. 1.

Udział [%] powierzchni pięter roślinno-wysokościowych w Sudetach [m n.p.m.]

Fraction [%] of the area of the main altitude-vegetation zones in the Sudety Mountains [m a.s.l.]



Ryc. 2.

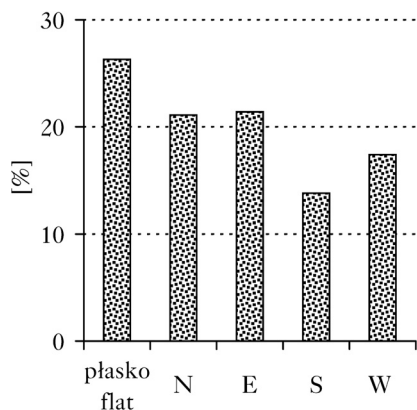
Udział [%] powierzchni drzewostanów o różnym nachyleniu terenu [°]

Fraction [%] of the stand area by the slope classes [°]

W Sudetach najwięcej drzewostanów położonych jest na płaskich szczytach (20,1%) i otwartych stokach (18,3%), najmniej zaś w zagłębieniach wzniesień (1,5%) i na lokalnych grzbiectach (1,7%) (tab. 2).

Budowę modelu składu gatunkowego drzewostanów sudeckich oparto na następujących zasadach i założeniach:

- 1) Podstawą planowania składu gatunkowego przyszłego drzewostanu jest typ siedliskowy lasu, z ewentualną korektą wynikającą z bonitacji aktualnie występującego drzewostanu.



Ryc. 3.

Udział powierzchni drzewostanów o różnej wystawie  
Fraction [%] of the stand area by exposition

Tabela 2.

Szczegółowe formy rzeźby terenu według Weissa [2001] (sąsiedztwo 500/1000 m) i ich udział powierzchniowy w Sudetach

Fine terrain forms by Weiss [2001] (500/1000 m neighborhood) and their share in area of the Sudety Mountains

	%
Wąwozy i głęboko wcięte doliny Ravines and deep vales	11,1
Zagłębienia na stokach, płytkie doliny Depressions on slopes, shallow vales	2,9
Zagłębienia na wzniesieniach Depressions on Wells	1,5
Doliny U-kształtne U-shape vales	14,3
Równiny Plains	10,8
Otwarte stoki Open slopes	18,3
Płaskie szczyty Flat tops	20,1
Lokalne grzbiety Local ridges	1,7
Grzbiety na stokach, małe wzniesienia na równinach Ridges on slopes, small swells on plains	3,8
Szczyty i wysokie grzbiety Picks and high ridges	15,6
Razem In total	100,0

- 2) Na obszarach położonych w strefie Natura 2000 nie planuje się wprowadzania gatunków drzew obcego pochodzenia.
- 3) Uwzględnia się procesy zachodzące w drzewostanach obszaru badań, w tym zwłaszcza proces przyśpieszonego wydzielania się drzew określonych gatunków (głównie świerka).
- 4) Uwzględnia się różny stopień zagrożenia poszczególnych gatunków drzew przez czynniki abiotyczne i biotyczne.
- 5) Dąży się do urozmaicenia składów gatunkowych drzewostanów, gdyż drzewostany wielogatunkowe są bardziej odporne na czynniki abiotyczne i biotyczne.
- 6) Dąży się do wykorzystania na szerszą skalę sprawdzonej w Sudetach daglezi zielonej, jako gatunku o dużych walorach produkcyjnych, charakteryzującego się większą odpornością na suszę w porównaniu ze świerkiem.
- 7) W lasach zagospodarowanych (wielofunkcyjnych) uwzględnia się w odpowiednio szerokim zakresie możliwości produkcyjne gatunków drzew oraz ich jakość i możliwość zbytu surowca drzewnego.
- 8) Uwzględnia się zarówno główne cechy orografii terenu (wysokość położenia drzewostanu nad poziomem morza, wystawę i nachylenie terenu), jak i szczegółowe formy rzeźby terenu.

Podstawą określenia składu gatunkowego drzewostanu jest typ siedliskowy lasu. Typ ten określany jest dla poszczególnych drzewostanów z pewnym błędem, wynikającym głównie z mało precyzyjnej oceny właściwości gleby. Ponadto w ramach poszczególnych typów siedliskowych lasu bonitacja drzewostanu (a tym samym możliwości produkcyjne siedliska) może wahać się w szerokich granicach. Z tego względu przy projektowaniu składu gatunkowego dla drzewostanów sudeckich dokonano korekty typów siedliskowych lasu według następujących zasad:

- jeżeli bonitacja danego drzewostanu mieściła się w podwójnym odchyleniu standardowym, licząc od wartości średniej tej bonitacji dla danego typu siedliskowego lasu, wówczas typ dla tego drzewostanu nie ulegał zmianie, natomiast w przeciwnym przypadku typ siedliskowy lasu obniżano o jeden wariant żyznościowy, gdy bonitacja przyjmowała wartość poniżej podwójnego odchylenia standardowego, lub podwyższano o jeden stopień, gdy obliczona bonitacja przyjmowała wartość powyżej podwójnego odchylenia standardowego, licząc od średniej;
- w przypadku siedlisk skrajnych pod względem żyzności, zarówno najuboższych (boru mieszanego wyżynnego świeżego i wilgotnego oraz boru górskiego świeżego i wilgotnego), jak i najżyźniejszych (lasu wyżynnego świeżego i wilgotnego oraz lasu górskiego świeżego i wilgotnego), korekta diagnozy siedliskowej była możliwa tylko „w górę” w pierwszym przypadku lub „w dół” w drugim przypadku.

Przyjęty w tym zakresie sposób postępowania ilustrują dwa następujące przykłady:

1. Dla drzewostanów świerkowych i typu siedliskowego lasu – las mieszany górski świeży obliczona średnia wartość bonitacji wyniosła 30 m, a odchylenie standardowe 4 m. W przypadku wszystkich drzewostanów, których bonitacja była niższa od 22 m, obniżano typ siedliskowy lasu do boru mieszanego górskiego świeżego, a dla drzewostanów o bonitacji wyższej od 38 m podwyższano do lasu górskiego świeżego.
2. Dla drzewostanów bukowych i lasu górskiego świeżego średnia wartość bonitacji wyniosła 31 m, a odchylenie standardowe 5 m. Dla drzewostanów o bonitacji poniżej 21 m przyjmowano jako typ siedliskowy las mieszany górski świeży. W tym przypadku korekta nie była potrzebna.

Pod względem wymagań żyźnościowych siedliska gatunki drzew uszeregowano następująco: jesion, olsza czarna, jawor, klon zwyczajny, grab, dąb szypułkowy, jodła, buk, dąb bezszypułkowy, daglezja, świerk, modrzew, sosna, brzoza brodawkowata. Niektóre z nich preferują siedliska wilgotne. Należą do nich przede wszystkim: olsza czarna, jesion, świerk, jawor oraz dąb szypułkowy. Z tej listy mało odporne na suszę są świerk, jesion i dąb szypułkowy, zwłaszcza gdy zajmują siedliska świeże.

Przy projektowaniu składu gatunkowego drzewostanów sudeckich uwzględniono także mikro-rzeźbę terenu, poprzez określenie szczegółowych jej form [Weiss 2001; Socha 2010]. Założono, że z prezentowanych wcześniej 10 szczegółowych form rzeźby terenu najniższe prawdopodobieństwo wystąpienia szkód spowodowanych przez wiatr i suszę dotyczy obszaru formy 1 (wąwozy i głęboko wcięte doliny). Przyjęto, że powinna tam dominować jodła, w mniejszym udziale jawor, a w niższych partiach gór dąb w zmieszaniu z jesionem, grabem lub lipą. Uznano także, że forma 2 (zagłębienia na stokach i płytkie doliny) jest odpowiednia dla jodły, a w niższych partiach gór dla dębu i olszy. Forma 3 (zagłębienia na wzniesieniach) zajmuje niewielkie powierzchnie, ale odgrywa ważną rolę ekologiczną, szczególnie na dużych wysokościach bezwzględnych, dlatego powinna pozostać niezagospodarowana, aby następowała tam sukcesja naturalna. Formy 4 i 5 (doliny U-kształtne i równiny) powinny być przeznaczone dla jodły, świerka i daglezji. W przypadku pozostałych form rzeźby terenu powinien do wysokości 800 m n.p.m. dominować buk, a powyżej 800 m świerk. Występowanie w drzewostanie kilku form mikrorzeźby terenu będzie determinowało zróżnicowanie składu gatunkowego przyszłego odnowienia tego drzewostanu.

Z każdym gatunkiem drzewa związane są żerujące na nim owady i rozwijające się grzyby [Alexander i in. 2006]. Szczególnie duże spektrum owadów i grzybów towarzyszy drzewostanom świerkowym, w których najczęściej dochodzi do gradacji [Senn-Irlet 2008]. W ostatnich latach nasilone szkody spowodowane żerem owadów wystąpiły również w drzewostanach dębowych i sosnowych. Z tych względów przyjęto, że udział tych gatunków powinien być ograniczany na korzyść gatunków mniej zagrożonych. Ponadto założono, że w większości przypadków należy dążyć do kształtowania drzewostanów wielogatunkowych, jako bardziej odpornych i charakteryzujących się z reguły większymi możliwościami produkcyjnymi [Brzeziecki i in. 2013]. W drzewostanach mieszanych ubytek jednego gatunku drzewa może być zastąpiony w sposób naturalny pojawieniem się innego gatunku, a luki tam powstałe odnawiają się szybciej i są bardziej odporne na szkody spowodowane przez wiatr i śnieg.

Poszczególne gatunki drzew charakteryzują się różnymi możliwościami produkcyjnymi i różną jakością surowca drzewnego. Pod tym względem najważniejsze gatunki drzew można uszeregować następująco (poczynając od gatunku o największej produktywności): daglezja, jodła, świerk, modrzew, dąb, sosna, buk, olsza, brzoza. W kontekście tej listy najmniej korzystną strukturą sortymentową charakteryzują się zwłaszcza górskie drzewostany bukowe.

Omówione wyżej zasady i założenia uwzględniono w skonstruowanym na potrzeby tej pracy programie komputerowym, za pomocą którego, stosując liczne dane wejściowe (skorygowany typ siedliskowy lasu, wysokość n.p.m., nachylenie i wystawa terenu, forma mikrorzeźby terenu), uzyskuje się aktualny skład gatunkowy poszczególnych drzewostanów, jak i ich pożądaný skład teoretyczny, lepiej dostosowany do lokalnych warunków oraz zmieniającego się klimatu. Jako przykład przedstawiono wyniki działania tego modelu dla dwóch nadleśnictw.

## Wyniki

Nadleśnictwo Łądek-Zdrój zarządza lasami położonymi w górach otaczających wschodnią część Kotliny Kłodzkiej. Aktualnie dominuje tam świerk, mniejszą rolę odgrywają buk i modrzew



(ryc. 4a). Wyniki symulacji przeprowadzonej z wykorzystaniem modelu składu gatunkowego drzewostanu wskazują, że powinien się tam zmniejszyć udział świerka, natomiast wzrosnąć buka i jodły (ryc. 4b). Nadleśnictwo Szklarska Poręba położone jest w zachodniej części Sudetów. Dominuje tam świerk, mniejszy udział mają modrzew, buk i brzoza (ryc. 5a). Zgodnie z modelem składu gatunkowego drzewostanu powinien się tam zmniejszyć udział świerka i brzozy, natomiast znacznie wzrosnąć udział buka i dąglezji, a także jodły. Udział modrzewia powinien pozostać na zbliżonym poziomie (ryc. 5b).

Lasy Sudetów charakteryzowały się w 2016 roku wysokim udziałem świerka (ponad 60%), znaczącym udziałem buka (blisko 12%) oraz modrzewia (około 7%) i brzozy (4,5%) (ryc. 6). Na podstawie modelu składu gatunkowego zalecane jest zmniejszenie udziału świerka (do 26,2%) i brzozy (do 0,1%) oraz wzrost udziału buka (do 32,3%), jodły (23,5%), modrzewia (do 7,6%) i dąglezji (3,6%).

## Dyskusja

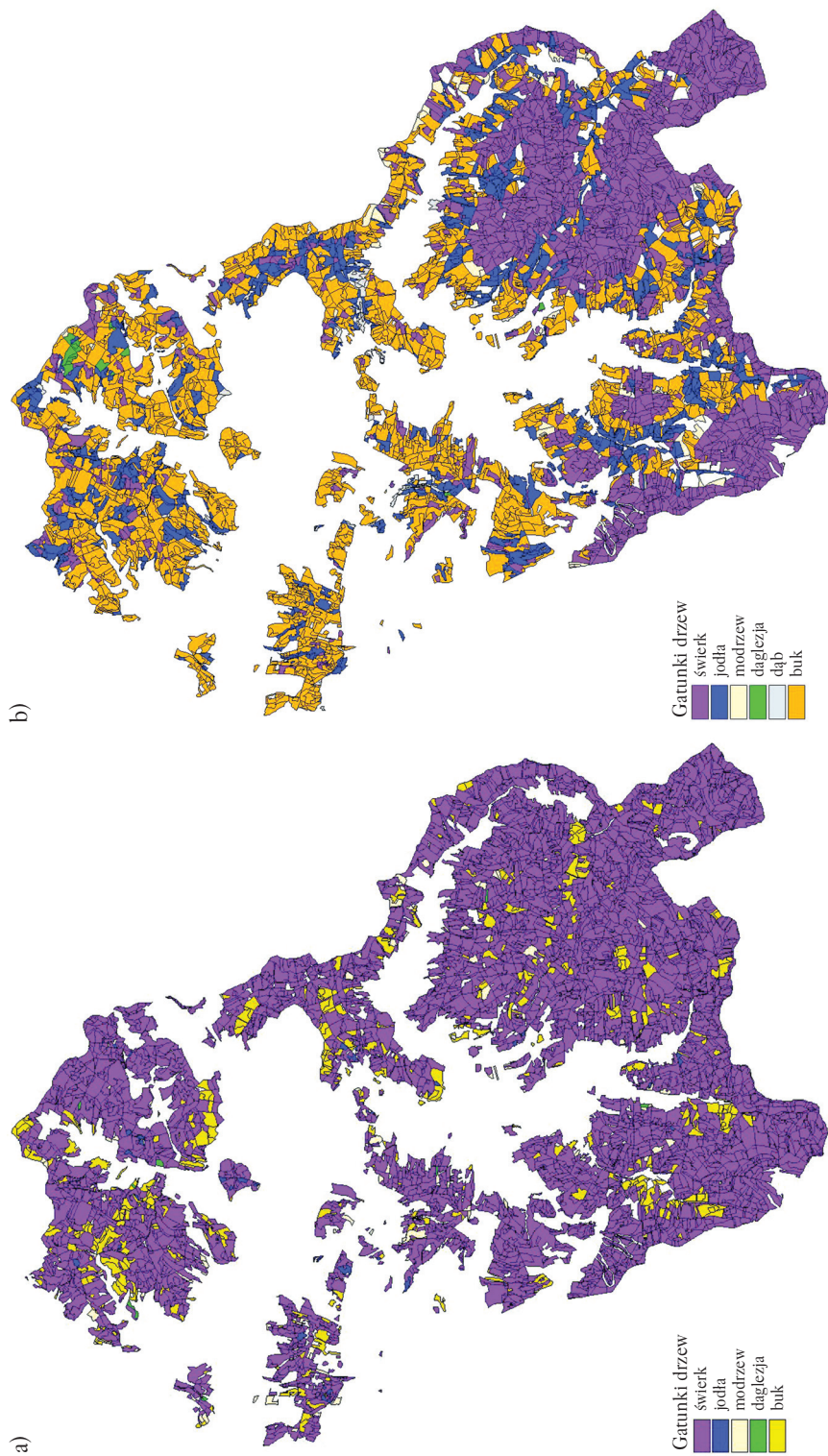
Lasy Polski, których powierzchnia wynosi około 10 mln ha (co odpowiada 30% lesistości kraju), od wielu lat zagrożone są przez różnego rodzaju czynniki abiotyczne, biotyczne i antropogeniczne. W latach 1960-1990 największe szkody w lasach Polski spowodowane były przede wszystkim przez zanieczyszczenia przemysłowe, a najbardziej zagrożone były drzewostany jodłowe, świerkowe i sosnowe. Zamieranie lasów w największym stopniu dotyczyło południa naszego kraju, gdzie następował szybki rozwój przemysłu, któremu nie towarzyszyły odpowiednie działania ograniczające emisje przemysłowe. Ocenia się, że kwaśne deszcze i gradacje owadów (wskaźnica modrzewianeczka i korniki) były główną przyczyną zamierania drzewostanów świerkowych w Górach Izerskich [Capecki i in. 1991].

W XXI wieku obserwuje się w Polsce częstsze występowanie silnych wiatrów wyrządzających duże szkody w lasach. Dzięki SILP, w którym zapisuje się m.in. pozyskaną miąższość drzew, z uwzględnieniem drzew żywych, suchych oraz złomów i wywrotów, a także strukturę sortymentową drzew, można obecnie ocenić wielkość strat spowodowanych przez silne wiatry. W południowo-zachodniej Polsce, obejmującej również Sudety, największe szkody w lasach spowodował huragan „Cyryl” (2007 rok), po wystąpieniu którego pozyskano około 4,8 mln m<sup>3</sup> złomów i wywrotów. W Sudetach wiatry fenowe także często wyrządzają znaczne szkody w lasach, czego przykładem jest wiatr, który w 2016 roku w Nadleśnictwie Międzyzlesie spowodował szkody ocenione na 250 tys. m<sup>3</sup> [Ciesielski i in. 2016].

W bieżącym stuleciu na wzrost i rozwój lasu w coraz większym stopniu wpływają wysoka i zwiększająca się jednocześnie temperatura powietrza oraz niskie opady atmosferyczne, szczególnie w sezonie wegetacyjnym. Już na początku XXI wieku wystąpiła sekwencja suchych lat. Pod tym względem rekordowy był 2006 rok, z bardzo niskim, ujemnym klimatycznym bilansem wodnym [Durło 2007], kiedy nasilił się rozpad drzewostanów świerkowych w Beskidach Zachodnich [Bruchwald, Dmyterko 2010]. W ostatnich latach okresy intensywnej suszy stwierdzono również w Sudetach. Szczególnie zaznaczył się rok 2015, w którym klimatyczny bilans wodny w okresie wegetacyjnym wyniósł -130 mm, co było najniższą wartością w ostatnich 39 latach [Durło 2019].

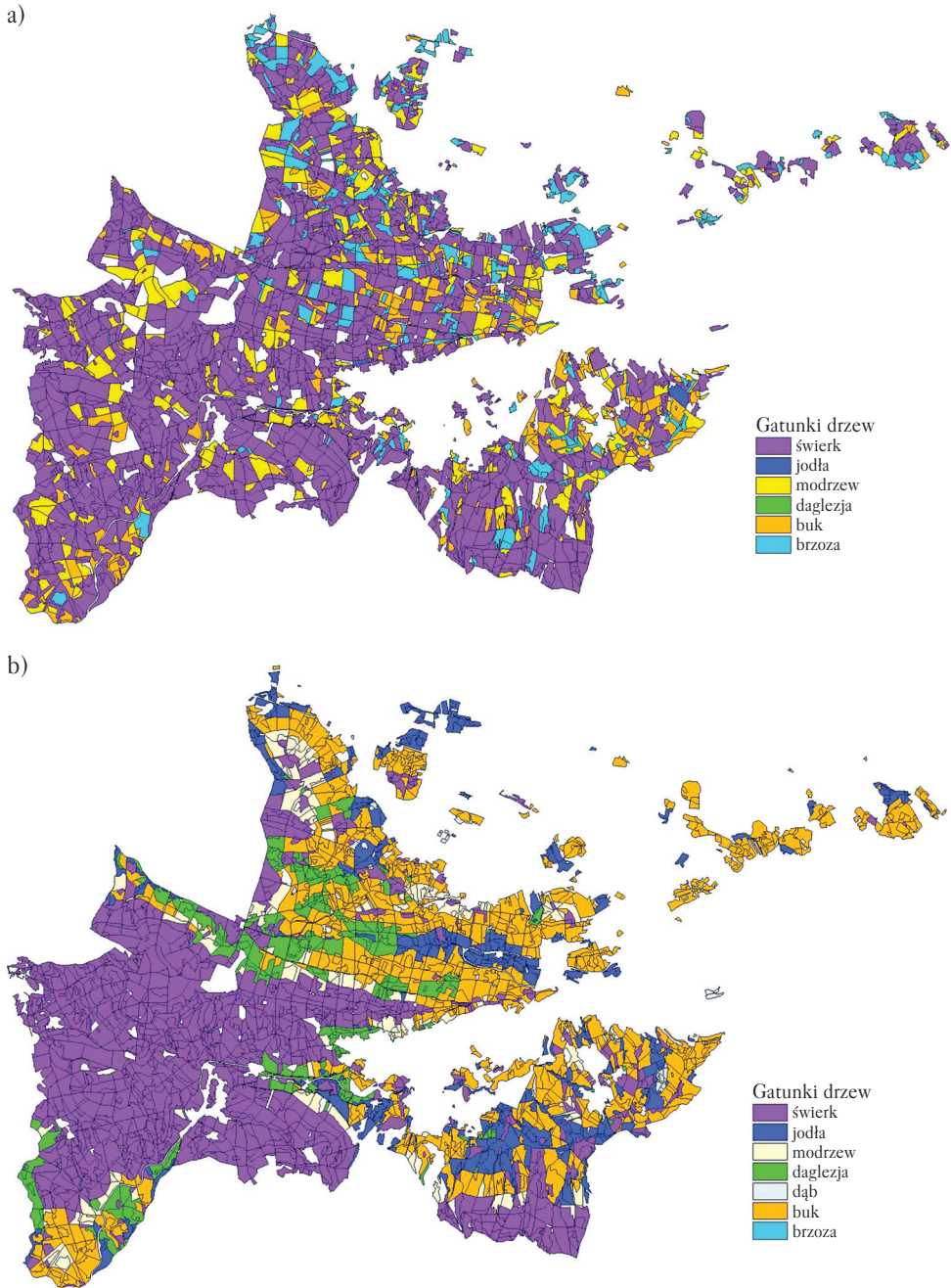
Pod wpływem zwiększającej się temperatury powietrza i suszy może zachodzić u drzew proces fizjologiczny zwany embolią [Zimmermann, Brown 1981; Roloff 2010; Rosner 2016]. Na skutek wypełnienia tkanek przewodzących pęcherzykami powietrza (kawitacja) powstają zatory blokujące transport wody do liści, co hamuje fotosyntezę oraz transport asymilatów do żywych komórek rośliny, w tym do korzeni, prowadząc w konsekwencji do śmierci drzewa [Boisvenue, Running 2006; Adam i in. 2017].





Ryc. 4.

Dominujące gatunki drzew w roku 2016 (a) i według modelu składu gatunkowego drzewostanu (b) w lasach Nadleśnictwa Łądek-Zdrój  
 Dominant tree species in 2016 (a) and according to the model of desirable tree stand composition (b) in stands of Łądek-Zdrój  
 świerk – Norway spruce; jodła – silver fir; modrzew – European larch; dagleżja – Douglas fir; dąb – English oak; buk – common beech

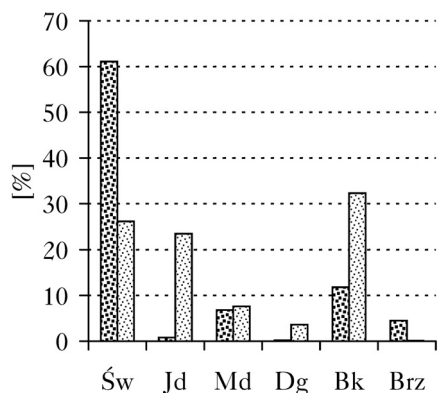


Ryc. 5.

Dominujące gatunki drzew w roku 2016 (a) i według modelu składu gatunkowego drzewostanu (b) w lasach Nadleśnictwa Szklarska Poręba

Dominant tree species in 2016 (a) and according to the model of desirable tree stand composition (b) in stands of Szklarska Poręba

species denotes as in figure 4; brzoza – silver birch



Ryc. 6.

Rzeczywisty (ciemny) i modelowy (jasny) skład gatunkowy drzewostanów w Sudetach

Actual (dark) and desirable (light) species composition in the Sudety Mountains  
species denotes as in figure 4

Na kawitację (embolię) podatne są zwłaszcza drzewa charakteryzujące się małą gęstością drewna, mające szerokie naczynia [Hentschel i in. 2014]. Procesowi temu, zachodzącemu pod wpływem suszy, sprzyja wysoka temperatura powietrza atmosferycznego, co miało miejsce w Europie m.in. w latach 1976 i 2003 [Rosner i in. 2016; Vitali i in. 2017]. Według tych autorów z badanych gatunków drzew najbardziej podatny na kawitację jest świerk, a w znacznie mniejszym stopniu jodła i dąglezja.

Intensywna susza w Polsce, która jest bezpośrednią przyczyną obecnego rozpadu drzewostanów w Sudetach, wymusza inne spojrzenie na rolę lasu, w tym zwłaszcza na jego funkcję środowiskotwórczą. Las istotnie wpływa na obieg węgla na globie ziemskim, pochłania dwutlenek węgla i dostarcza tlen do atmosfery. Utrzymanie lasów o dużej produktywności, odpornych w miarę możliwości na suszę, z czym wiąże się również odporność drzew na embolię, powinno być zatem pierwszoplanowym celem gospodarki leśnej. Wymaga to przede wszystkim planowania optymalnego składu gatunkowego lasów w poszczególnych regionach Polski, w tym także w Sudetach. Rolę narzędzia wspomagającego praktyczną realizację tego celu spełniają modele i programy komputerowe, takie jak zaprezentowane w niniejszej pracy.

## Wnioski

- ✦ Planowanie składu gatunkowego drzewostanów określonego regionu jest jednym z najważniejszych zadań hodowli lasu. Powinno ono zapewniać uzyskanie drzewostanów o możliwie największej produktywności i odporności na niesprzyjające warunki środowiska, zwłaszcza silne wiatry oraz intensywne susze. Tylko takie drzewostany umożliwiają spełnienie najważniejszej funkcji lasu, tj. środowiskotwórczej, związanej z ciągłością istnienia lasu jako formacji roślinnej, pochłanianiem dwutlenku węgla i wydzielaniem tlenu do atmosfery. Im las jest bogatszy i bardziej produktywny, wykorzystujący w pełni właściwości siedliska, tym lepiej spełnia swe funkcje. Z takiego bogatego, różnorodnego i produkcyjnego lasu można również uzyskiwać płon o pożądanej wielkości i jakości.
- ✦ Obecnie w wielu miejscach na kuli ziemskiej zachodzi proces zamierania lasu, którego przyczynami są m.in. intensywne wiatry oraz silne susze. Zjawiska takie występują także w Polsce, np. w Beskidach Zachodnich począwszy od 2006 roku i obecnie w Sudetach od 2015 roku. Jednym z gatunków, które cierpią najbardziej, jest świerk. Stąd zachodzi pilna potrzeba zmiany koncepcji planowania składu gatunkowego drzewostanów, dostosowanej do zmieniających się warunków wzrostu drzew.
- ✦ Planowanie składu gatunkowego wymaga wnikliwego poznania obiektu przebudowy oraz głównych procesów przyrodniczych zachodzących na jego terenie. Procesy te często polegają

na ubywaniu niektórych gatunków drzew i wkraczaniu nowych. Gatunkiem będącym w regresie w naszym kraju, podobnie jak w wielu krajach Europy, jest świerk, którego miejsce zajmuje najczęściej buk.

- ✚ Głównym kryterium planowania składu gatunkowego jest typ siedliskowy lasu. Dodatkowym kryterium powinna być bonitacja drzewostanu oparta na wysokości górnej. Wymaga to wprowadzenia do powszechnego stosowania nowych zasad oceny wydajności produkcyjnej drzewostanów, opartych np. na modelach wzrostu drzewostanu.
- ✚ Procesy przyrodnicze zachodzące w lasach Sudetów wskazują, że w planowanych składach gatunkowych należy znacząco ograniczyć udział świerka, co nie oznacza jednak jego całkowitej eliminacji. Gatunek ten powinien być w tym regionie utrzymany, z udziałem co najmniej 20%.
- ✚ Gatunkiem drzewa wykazującym aktualnie dużą ekspansję w górach, zwłaszcza na etapie odnowienia, jest buk. Ze względu na wysokie wymagania buka dotyczące wilgotności powietrza należy rozważyć podchodząc do zwiększania jego udziału w planowanych składach gatunkowych.
- ✚ Na obecnym etapie kształtowania się procesów przyrodniczych w lasach górskich pożądanym gatunkiem drzewa w składzie gatunkowym powinna być jodła. Należy zintensyfikować wprowadzanie jej do lasów Sudetów.
- ✚ W Sudetach należy także dążyć do zwiększenia udziału drzewostanów dąglęzjowych. Charakteryzują się one bardzo wysoką produktywnością, odnawiają się w sposób naturalny i są względnie odporne na suszę. Wprowadzanie dąglęzi do lasów sudeckich ogranicza duża powierzchnia obszarów chronionych w ramach sieci Natura 2000.
- ✚ Przy planowaniu składu gatunkowego drzewostanów na terenach górskich należy uwzględnić cechy mikrorzeźby terenu. Pozwoli to na lokowanie poszczególnych gatunków drzew w miejscach najbardziej dostosowanych do ich wymagań siedliskowych.
- ✚ Lasy w Sudetach są na początkowym etapie przebudowy. W najbliższych latach będzie ona głównym zadaniem leśników tam gospodarujących. Celem prowadzonych badań powinno być wskazanie gatunków drzew, które należy utrzymać w składzie lasów tego regionu, zaproponowanie nowych, lepiej dostosowanych do zmieniających się warunków oraz wskazanie miejsc, w których znajdują one najlepsze możliwości wzrostu.

## Literatura

- Adam H. D., Zeppel M. J. B., Anderegg W. R. L., Hartmann H., Landhäusser S. M., Tissue D. T., Huxman T. E., Hudson P. J., Franz T. E., Allen C. D., Anderegg L. D. L., Barron-Gafford G. A., Beerling D. J., Breshears D. D., Brodrribb T. J., Bugmann H., Cobb R. C., Collins A. D., Dickman L. T., Duan H., Ewers B. E., Galiano L., Galvez D. A., Garcia-Forner N., Gaylord M. L., Germino M. J., Gessler A., Hacke U. G., Hakamada R., Hector A., Jenkins M. W., Kane J. M., Kolb T. E., Law D. J., Lewis J. D., Limousin J. M., Love D. M., Macalady A. K., Martínez-Vilalta J., Mencuccini M., Mitchell P. J., Muss J. D., O'Brien M. J., O'Grady A. P., Pangle R. E., Pinkard E. A., Piper F. I., Plaut J. A., Pockman W. T., Quirk J., Reinhardt K., Ripullone F., Ryan M. G., Sala A., Sevanto S., Sperry J. S., Vargas R., Vennetier M., Way D. A., Xu C., Yépez E. A., McDowell N. G. 2017. A multi-species synthesis of physiological mechanisms in drought-induced tree mortality. *Nat. Ecol. Evol.* 1: 1285-1291. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0248-x>.
- Alexander A., Butler J., Green T. 2006. The value of different tree and shrub species to wildlife. *British Wildlife* 18 (1): 18-28.
- Allen C. D., Breshears D. D., McDowell N. G. 2015. On underestimation of global vulnerability to tree mortality and forest die-off from hotter drought in the Anthropocene. *Ecosphere* 6: 129. DOI: <https://doi.org/10.1890/ES15-00203.1>.
- Anderegg W. R. L., Kane J. M., Anderegg L. D. L. 2013. Consequences of widespread tree mortality triggered by drought and temperature stress. *Nat. Clim. Chang.* 3: 30-36. DOI: <https://doi.org/10.1038/nclimate1635>.
- Assmann E. 1968. Nauka o produktywności lasu. PWRiL, Warszawa.



- Boisvenue C., Running S. W. 2006. Impacts of climate change on natural forest productivity – evidence since the middle of the 20<sup>th</sup> century. *Global Change Biology* 12 (5): 862-882. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01134.x>.
- Brang P., Spathelf J., Larsen B., Bauhus J., Bončena 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. DOI: <https://doi.org/10.1093/forestry/cpu018>.
- Bruchwald A. 1977. Change in top height of pine forest stand with age. *Bull. Acad. Pol. Sci., Ser. Biology* 5: 26-34.
- Bruchwald A. 1986. Simulation growth model MDI-1 for Scots pine. *Ann. Warsaw Agricult. Univ. SGGW-AR, For. and Wood Technol.* 34: 47-52.
- Bruchwald A., Dmyterko E. 2010. Lasy Beskidu Śląskiego i Żywieckiego – zagrożenia, nadzieja. Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary.
- Brzeziecki B., Drozdowski S., Bielak K., Buraczyk W., Gawron L. 2013. Kształtowanie zróżnicowanej struktury drzewostanów w warunkach nizinnych. *Sylvan* 157 (8): 597-606. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylvan.2013051>.
- Capecki Z., Głaz J., Gorzelak A., Hawryś Z., Król A., Łopusiewicz R., Sierota A., Rykowski K., Szukiel E., Trampler T., Walendzik R., Tyszką J., Zwoliński A. 1991. Stan lasów w Sudetach (przyczyny, przebieg i konsekwencje zamierania lasów oraz zadania dla gospodarki leśnej). Instytut Badawczy Leśnictwa, Warszawa. 1-44.
- Capecki Z., Grodzki W., Zwoliński A. 1989. Gradacja wskaźnicy modrzewianeczki *Zeiraphera griseana* Hb. (*Lepidoptera, Tortricidae*) w Polsce w latach 1977-83. *Prace Inst. Bad. Leśn.* 689: 95-152.
- Ciesielski M., Bałazy R., Hycza T., Bruchwald A., Dmyterko E. 2016. Szacowanie szkód spowodowanych przez wiatr w drzewostanach przy wykorzystaniu zobrażeń satelitarnych i danych Systemu Informatycznego Lasów Państwowych. *Sylvan* 160 (5): 371-377. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylvan.2015129>.
- Cieszewski C. J., Zasada M. 2002. Dynamiczna forma anamorficznego modelu bonitacyjnego dla sosny pospolitej w Polsce. *Sylvan* 146 (7): 17-24.
- Durlo G. B. 2007. Klimatyczny bilans wodny okresów wegetacyjnych w Beskidach Zachodnich. *Acta Agrophysica* 19 (3): 553-562.
- Durlo G. B. 2019. Klimatyczny bilans wodny na obszarze Parku Krajobrazowego Góry Opawskie. *Sylvan* 163 (10): 802-810. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylvan.2019050>.
- Hentschel R., Rosner S., Kayler Z. E., Andreassen K., Borja I., Solberg S., Tveito O. E., Priesack E., Gessler A. 2014. Norway spruce physiological and anatomical predisposition to dieback. *Forest Ecology and Management* 322: 27-36. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.03.007>.
- Roloff A. 2010. *Bäume. Lexikon der praktischen Baumbiologie.* Wiley\_VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- Rosner S., Svetlek J., Andreassen K., Børja I., Dalsgaard L., Evans R., Luss S., Tveito O. E., Solberg S. 2016. Novel hydraulic vulnerability proxies for boreal conifer species reveal that opportunists may have lower survival prospects under extreme climatic events. *Frontiers in Plant Science* 7 (831). DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00831>.
- Senn-Irllet B. 2008. Welches sind pilzreiche Holzarten? *Wald und Holz* 10: 57-59.
- Socha J. 2010. Metoda modelowania potencjalnych zdolności produkcyjnych świerka w górach. *Zeszyty Naukowe UR Kraków* 461 (338): 107.
- Vitali V., Büntgen U., Bauhus J. 2017. Silver fir and Douglas fir are more tolerant to extreme droughts than Norway spruce in southwestern Germany. *Glob. Chang. Biol.* 23: 5108-5119. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.13774>.
- Weiss A. D. 2001. Topographic position and landforms analysis. ESRI User Conference, San Diego (CA).
- Zajączkowski J., Brzeziecki B., Perzanowski K., Kozak I. 2013. Wpływ potencjalnych zmian klimatycznych na zdolność konkurencyjną głównych gatunków drzew w Polsce. *Sylvan* 157 (4): 253-261. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylvan.2012134>.
- Zimmermann M. H., Brown C. L. 1981. *Drzewa. Struktura i funkcje.* PWN, Warszawa.