

Maciej Pach¹

Wpływ gatunków domieszkowych i współpanujących na wysokość i pierśnicę jodły (*Abies alba* Mill.) oraz zasobność drzewostanów jodłowych w Karpackiej Krainie Przyrodniczo-Leśnej

The influence of admixture and co-dominant species on the height and DBH of silver fir (*Abies alba* Mill.) and on the growing stock of fir stands in the Carpathian Forest-Natural Region

Abstract. The best growth function for silver fir was selected from 30 models, based on adequacy of height and DBH approximation, as well as growing stock, in the pure fir stands on the fertile mountain and highland sites. This model was then applied to evaluate the growth of fir in mixed (rather than pure) stands growing together with different proportions of spruce, beech and sycamore. It was found that the DBH of fir at a given age is larger in some stands with admixture of beech and spruce than in pure fir stands, although no such relationship was found for height. At the fertile mountain (LG) site and highland forest (Lwyż) site, fir stands reached the highest growing stock. At the mixed mountain (LMG) forest site the growing stock of fir stands with admixtures of different species, especially a relatively high proportion of spruce, was greater than in pure fir stands. At the LG site the lowest growing stock was in fir stands with admixture of beech and spruce, in which the proportion of beech was higher than that of spruce. Fir stands with admixture of spruce and sycamore alone had a lower growing stock than pure fir stands.

Key words: mixed silver fir stand, non-linear stand growth model, site conditions, productivity

1. Wstęp

Hodowla drzewostanów wielogatunkowych o różnym stopniu zmieszania gatunków jest zadaniem trudnym, które nabiera obecnie dużego znaczenia w związku z krótko- i długookresowymi zmianami środowiskowymi. Drzewostan wielogatunkowy, będący miejscem ścierania się oddziaływań dodatnich, jak i ujemnych drzew (konkurencja, oddziaływanie mechaniczne, biofizyczne, allelopatyczne), w sposób pełniejszy będzie realizować wielostronne funkcje oczekiwane przez społeczeństwo. Lasy górskie, obok niekwestionowanych i pierwszoplanowych zadań ochronnych, pełnią również funkcje produkcyjne, wykazując w tym względzie wyższość nad wieloma drzewostanami niżowymi.

Jednym z podstawowych gatunków lasotwórczych w Karpatach jest jodła, której możliwości produkcyjne

przewyższają możliwości innych występujących wraz z nią gatunków drzew. W odpowiednich warunkach siedliskowo-drzewostanowych hodowla jednogatunkowych drzewostanów jodłowych może być uzasadniona i jak najbardziej wskazana. W wielu przypadkach, z uwagi na aspekty różnorodności biologicznej oraz konieczność zmniejszenia i rozproszenia ryzyka hodowlanego, celowe jest prowadzenie drzewostanów jodłowych z różnym udziałem gatunków domieszkowych, często również o zróżnicowanej budowie, strukturze wieku i teksturze. Największe znaczenie wśród gatunków towarzyszących w górskich drzewostanach jodłowych ma świerk (*Picea abies* (L.) Karst.), buk (*Fagus sylvatica* L.) i jawor (*Acer pseudoplatanus* L.), które na siedliskach lasu górskiego i lasu mieszanego górskiego mogą pełnić rolę gatunku współpanującego lub domieszkowego, z wyjątkiem jaworu, którego rola na tym drugim

¹ Uniwersytet Rolniczy im. Hugo Kołłątaja, Wydział Leśny, Katedra Szczegółowej Hodowli Lasu, Al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków, e-mail: rpach@cyf-kr.edu.pl

siedlisku jest ograniczona głównie do funkcji pielęgnacyjnej.

Do tej pory niewiele ukazało się prac dotyczących analizy możliwości produkcyjnych drzewostanów jodłowych w terenach górskich w zależności od gatunku towarzyszącego i jego udziału (Assmann 1968).

Oddziaływanie gatunków w drzewostanach wielogatunkowych występujących w Polsce, wyrażające się głównie zmianą ich udziału w zasobności, było badane w przypadku drzewostanów złożonych z sosny, dębu, świerka, buka oraz jodły poza granicami jej naturalnego zasięgu (Miś 1970a,b, 1972a,b, 1982a,b, 1988) oraz w przypadku drzewostanów świerkowych z udziałem sosny, brzozy, dębu i buka (Żybura 1990).

Szczegółową analizę drzewostanów sosnowych z domieszką różnych gatunków (olsza szara, brzoza brodawkowata, dąb czerwony, czeremcha amerykańska) w uprawach i młodnikach przeprowadził Kocjan (1992, 1993a, 1993b, 1996, 1997).

Krótki przegląd literatury dotyczącej produktywności drzewostanów mieszanych w porównaniu z lasami jednogatunkowymi można znaleźć w pracy Burkhartha i Thama (1992), a w przypadku niektórych środkowo-europejskich lasów w opracowaniu Assmanna (1968).

Interesującym przedstawieniem przykładów na ujemne i dodatnie oddziaływania w drzewostanach jednogatunkowych i mieszanych są prace Kelty'ego (1989, 1992, 1994). Autor ten przeanalizował również wiele przykładów porównujących produktywność mieszanych i jednogatunkowych plantacji gatunków drzewiastych (Kelty 2006).

Również Mielikäinen (1994) oraz Frivold i Kolström (1999) podają wyniki badań nad wpływem domieszki brzozy na wzrost i produktywność sosny i świerka. Pukkala i in. (1994) przedstawiają możliwości produkcyjne mieszanych drzewostanów złożonych z sosny i świerka w Finlandii, Man i Lieffers (1999) wskazują na większą produktywność drzewostanów mieszanych złożonych z *Picea glauca* i *Populus tremuloides* na terenie Kanady, a Hladik (1991) analizuje pod tym kątem drzewostany mieszane, złożone z różnych gatunków, rosnące na terenie Słowacji.

Nie zawsze wyniki dotyczące porównania produktywności mieszanych i jednogatunkowych lasów są jednoznaczne i łatwe do zinterpretowania, czego przykładem jest praca Chen i in. (2003).

Interesujące porównanie monokultur z drzewostanami mieszanymi pod kątem produktywności, stabilności i ekonomicznym na podstawie literatury przedmiotu podaje Knoke i in. (2005 i 2008). Również Pretzsch i Schütz (2008) szczegółowo porównują mieszane drzewostany złożone z buka i świerka do drzewostanów jednogatunkowych w południowej Bawarii.

Głównym celem prezentowanych w tej pracy badań było poznanie relacji pomiędzy wysokością, pierśnicą a wiekiem jodły oraz zasobnością a wiekiem drzewostanu jodłowego w zależności od udziału gatunków domieszkowych (buka, świerka i jaworu) na siedliskach lasu górskiego, lasu mieszanego górskiego i lasu wyżynnego na terenie Karpackiej Krainy Przyrodniczo-Leśnej. Celem dodatkowym było wybranie funkcji najdokładniej aproksymującej przebieg wzrostu wysokości, grubości jodeł oraz zasobności w litym drzewostanie jodłowym na wyżej wspomnianych siedliskach.

2. Metodyka

W badaniach wykorzystano opisy drzewostanów jodłowych zawarte w systemie SILP zebrane ze wszystkich nadleśnictw regionalnych dyrekcji Lasów Państwowych w Katowicach, Krakowie i Krośnie w granicach Karpackiej Krainy Przyrodniczo-Leśnej.

Do wyboru funkcji, która najlepiej opisuje przebieg zależności pomiędzy wiekiem a wysokością i pierśnicą jodeł oraz zasobnością w litych drzewostanach jodłowych wykorzystano następujące modele wzrostu opisywane w literaturze:

– Richardsa, Bertalanffiego, Weibulla C (Colbert et al. 2004),

– różne postacie modelu Chapman-Richardsa (Fang, Bailey 1998, Colbert et al. 2004; Coral Rivas et al. 2004),

– Schnute'a (Coble, Lee 2006; Yuancai, Parresol 2001),

– Korfa, Slobody, Hossfelda IV (Coral Rivas et al. 2004),

– różne postacie funkcji wykładniczej, hiperbolicznej, logistycznej i monomolekularnej (Fang, Bailey 1998),

– Gompertza 1, Gompertza 2, Weibulla B (Fang, Bailey 1998),

– Michajłowa (Šmelko et al. 1992), Korsuńa (Borowski 1974; Šmelko et al. 1992),

– Hegershoffa i funkcję wymierną (Prodan 1968).

Niektóre funkcje podawane przez autorów występują w kilku postaciach i z różną liczbą parametrów do oszacowania.

W trakcie estymacji zastosowano różne metody osiagania zbieżności w programie *STATISTICA* 8.0 PL (Stanisław 2007).

Dokładność aproksymacji przebiegu danej funkcji dla badanego zbioru danych przeprowadzono na podstawie:

– sumy kwadratów odchyłeń pomiędzy wartościami rzeczywistymi i obliczonymi oraz udziału wariancji wyjaśnionej,

– wskaźnika SEE (standardowy błąd estymacji) i

RMSE (pierwiastek z błędu średniokwadratowego) (Kozak, Kozak 2003; Coral Rivas et al. 2004),

– wskaźnika informacyjnego AICd (Coral Rivas 2004 et al.),

– błędów oszacowania parametrów.

Ustalone w wyniku tej procedury funkcje najlepiej opisujące badane zależności w litych drzewostanach jodłowych posłużyły do aproksymacji analizowanych relacji cech w drzewostanach jodłowych z udziałem innych gatunków (świerk, buk i jawor) oraz o różnym ich udziale w jednolitych warunkach siedliskowych. Udział gatunków domieszkowych i współpanujących, szacowany w odstopniowaniu co 10%, wahał się od 10 do 50%. W analizach dotyczących zależności zasobności od wieku przy różnym udziale gatunków domieszkowych uwzględniono jedynie te drzewostany, gdzie wskaźnik zadrzewienia nie był niższy niż 0,8, a w wyjątkowych przypadkach – gdy liczba odpowiednich drzewostanów była niewielka – 0,7.

3. Wyniki

Liczba litych drzewostanów jodłowych (udział jodły wynosił 100%), na podstawie których przeprowadzono wybór funkcji najlepiej opisującej badane zależności wyniosła: LG – 1932, LMG – 54, Lwyż – 727. Na pozostałych siedliskach liczba drzewostanów była niewystarczająca do przeprowadzenia takich analiz.

Stwierdzono, iż do aproksymacji wzrostu wysokości najlepiej nadaje się funkcja Korfa w przypadku drzewostanów na siedlisku lasu górskiego i lasu wyżynnego, a funkcja Michajłowa – na siedlisku lasu mieszanego górskiego (tab. 1). Wzrost pierśnicy najdokładniej jest aproksymowany funkcją Korfa w przypadku drzewostanów na siedlisku lasu górskiego, a funkcją Michajłowa – na siedlisku lasu mieszanego górskiego i lasu wyżynnego (tab. 1). Natomiast funkcje Chapman-Richardsa 1, Gomperta 2 i Gomperta 1 okazały się najlepszymi modelami opisującymi zależność zasobności od wieku na siedliskach odpowiednio lasu górskiego, lasu mieszanego górskiego i lasu wyżynnego (tab. 1).

Zależność wysokości od wieku

W drzewostanach jodłowych udział domieszki buka zasadniczo nie powodował różnic we wzroście wysokości jodły na żadnym z trzech analizowanych siedlisk.

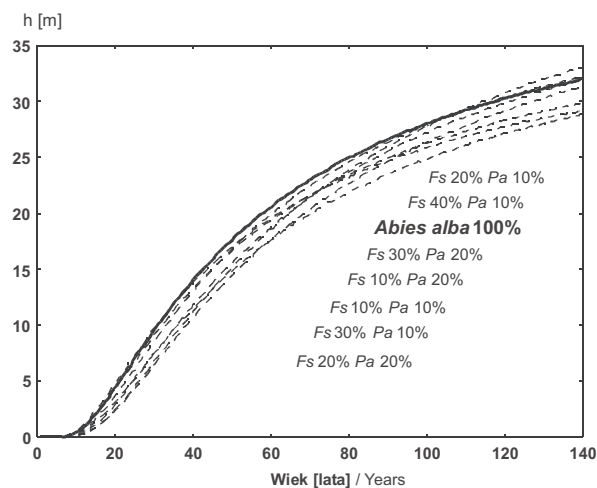
Jedynie na siedlisku lasu mieszanego górskiego wzrost jodły do wieku 100 lat był nieco szybszy w drzewostanie z 10% domieszką buka. W starszym wieku różnice średniej wysokości drzewostanów zanikają.

W drzewostanach jodłowych z 20% udziałem świerka wysokość, jaką osiągały jodły na siedlisku lasu gór-

skiego w wieku 140 lat, była nieco większa niż w pozostałych analizowanych drzewostanach. Natomiast na siedlisku lasu mieszanego górskiego, w drzewostanie z udziałem świerka 10, 40 i 50%, jodła w wieku 140 lat osiągała większą wysokość niż w drzewostanach z udziałem świerka 20 i 30%. Na siedlisku lasu wyżynnego nie przeprowadzono takiej analizy z powodu braku wystarczającej liczby drzewostanów.

W przypadku domieszki jaworu taka analiza możliwa była jedynie dla drzewostanów jodłowych na siedlisku lasu górskiego z domieszką jaworu wynoszącą 10 i 20%. Nieznacznie wyższą wysokością jodeł cechowały się drzewostany, w których udział jaworu wynosił 10%.

Analiza wzrostu wysokości jodły w drzewostanach z równoczesnym udziałem buka i świerka przyniosła ciekawe rezultaty. Na siedlisku lasu górskiego najwyższą wyrównaną wysokością cechowała się jodła w drzewostanie z udziałem buka 40% i świerka 10% oraz buka 10% i świerka 30%. Podobną wysokość osiągał drzewostan jodłowy z udziałem buka 20% i świerka 20%, buka 20% i świerka 10% oraz buka 30% i świerka 10%. Wyraźnie poniżej tej grupy uplasowały się drzewostany o udziale buka 20% i świerka 30%, buka 10% i świerka 40% oraz buka 10% i świerka 10%. Nieco inny przebieg wzrostu wykazano na siedlisku lasu mieszanego górskiego, gdzie najwyższą wyrównaną wysokość miała jodła w drzewostanach z udziałem buka 20% i świerka 10% oraz buka 40% i świerka 10%. Wysokość zdecydowanie niższą niż lity drzewostan jodłowy miały drzewostany z udziałem buka 20% i świerka 20%, buka 30% i świerka 10%, buka 10% i świerka 10% oraz buka 10% i świerka 30% (ryc. 1).



Rycina 1. Wzrost wysokości z wiekiem w drzewostanach z różnym udziałem świerka (*Pa*) i buka (*Fs*) na siedlisku LMG

Figure 1. Height growth of firs in stands with different share of spruce (*Pa*) and beech (*Fs*) in relation to age on the mountain mixed deciduous forest site type (LMG)

Tabela.1. Wyniki aproksymacji funkcji najlepiej opisujących zależność wysokości, pierśnicy i zasobności od wieku w litych drzewostanach jodlowych
 Table 1. Results of approximation with the use of functions most adequately describing the height, DBH and growing stock versus age relationship in pure fir stands

Lp	Zależność Relation- ship	STL Forest site type	Funkcja Function	Model	Współczynniki Coefficients	Suma najmniejszych kwadratów Sum of least square	Udział wariancji wyjaśnionej (R ²) Share of exp- lained variance	SEE	RMSE	AIC	AICd=AIC- minAIC
1	W-W	LG	Korf	$y = b_1 \times \exp\left(\frac{-b_2}{x^{b_3}}\right)$	b1 = 36,6407	9634,255257	0,796332	2.2359816	2.235982	3111.671	0
					b2 = 220,2099						
					b3 = 1,4543						
2	W-W	LMG	Michajłow	$y = b_1 \times \exp\left(\frac{-b_2}{x}\right)$	b1 = 44,41431	261,977687	0,887491	2.2664548	2.266455	91.28087	0
					b2 = 46,10123						
					b3 = 1,5758						
3	W-W	Lwyż	Korf	$y = b_1 \times \exp\left(\frac{-b_2}{x^{b_3}}\right)$	b1 = 35,5976	3484,678560	0,878808	2.1984355	2.198436	1146.221	1.307
					b2 = 329,6050						
					b3 = 1,5758						
4	P-W	LG	Korf	$y = b_1 \times \exp\left(\frac{-b_2}{x^{b_3}}\right)$	b1 = 85,8214	43816,365931	0,811518	4.767214	4.765978	6038.645	0
					b2 = 158,9011						
					b3 = 1,1694						
5	P-W	LMG	Michajłow	$y = b_1 \times \exp\left(\frac{-b_2}{x}\right)$	b1 = 88,30444	1427,475995	0,863898	5,290532	5,239414	182.8327	0,29580
					b2 = 80,09864						
					b3 = 1,1694						
6	P-W	Lwyż	Michajłow	$y = b_1 \times \exp\left(\frac{-b_2}{x}\right)$	b1 = 95,86037	15826,080612	0,878431	4,675385	4,67216	2245,515	0
					b2 = 83,23820						
					b3 = 1,1694						
7	Z-W	LG	Chapman- Richards 1	$y = a \times [1 - \exp(-b \times x)]^c$	a = 605,5620	934168,616758	0,843732	88,23116	87,86582	1114,964	2,34254
					b = 0,0782						
					c = 26,8909						
8	Z-W	LMG	Gompertz 2	$y = a \times \exp\left\{-\exp\left[-b \times (x - c)\right]\right\}$	a = 465,7316	38777,018458	0,867959	62,2712	59,37326	118,9714	0,61794
					b = 0,0768						
					c = 39,9131						
9	Z-W	Lwyż	Gompertz 1	$y = a \times \exp[-b \times \exp(cx)]$	a = 551,3616	580363,269264	0,858570	65,08631	64,85007	1181,494	0
					b = 52,2787						
					c = -0,0933						

Objaśnienia: a, b, c, b1, b2, b3 – parametry funkcji; W-W – wysokość a wiek, P-W – pierśnica a wiek, Z-W – zasobność a wiek, R² – współczynnik determinacji, SSE – standardowy błąd estymacji, RMSE – pierwiastek z błędów średniokwadratowego, AIC – wskaźnik informacyjny Akaike, min AIC: wartość minimalna wskaźnika Akaike, AICd = AIC - minAIC

Explanation: LG – mountain deciduous forest, LMG – mountain mixed deciduous forest, Lwyż – upland deciduous forest; a, b, c, b1, b2, b3 – function's parameters, W-W – height versus age, P-W – DBH versus age, Z-W – growing stock versus age, R² – coefficient of determination, SEE – standard error of estimation, RMSE – root mean square error, AIC – Akaike information criterion, min AIC – minimum value of Akaike, AICd = AIC - minAIC

Na siedlisku lasu wyżynnego jedynie drzewostan z udziałem buka 10% i świerka 10% można było porównać z litą jedliną. Przebieg wzrostu wysokości przy tych składach był podobny.

Dla pozostałych drzewostanów jodłowych z udziałem buka i świerka (w innych kombinacjach udziałowych) na tych siedliskach nie przeprowadzono analizy z powodu małej liczby odpowiednich drzewostanów.

Zależność pierśnicy od wieku

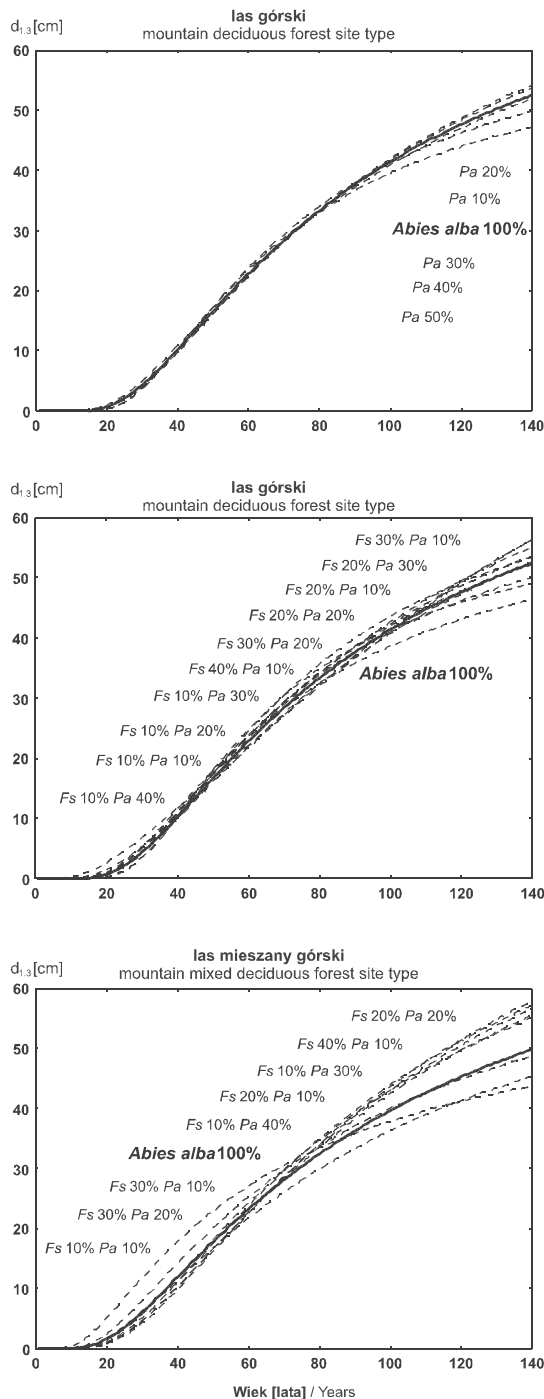
W drzewostanie jodłowym z domieszką buka na siedlisku lasu górskiego jodła w wieku powyżej 100 lat osiągała pierśnicę nieznacznie większą niż w jednogatunkowych drzewostanach jodłowych. Na siedlisku lasu mieszanego górskiego estymowana pierśnica jodły w drzewostanie z udziałem buka 50% była wyraźnie większa niż w litym drzewostanie jodłowym. Pierśnica jodeł w drzewostanach z 30% i 40% udziałem buka była zbliżona do pierśnicy w jedlinie w danym wieku. Przy 20% udziale buka pierśnica jodeł była mniejsza niż w drzewostanie jodłowym. Na siedlisku lasu wyżynnego, we wszystkich analizowanych drzewostanach z udziałem buka, jodła osiągała wartości pierśnicy wyższe niż w jednogatunkowym drzewostanie jodłowym.

W przypadku drzewostanów z udziałem świerka na siedlisku lasu górskiego największą pierśnicę osiągała jodła w drzewostanach z udziałem tej domieszki 10 i 20% (ryc. 2). Dużo mniejszą pierśnicę jodła osiągała w drzewostanach z udziałem świerka 40 i 50%. Z kolei na siedlisku lasu mieszanego górskiego pierśnica jodeł w drzewostanie, w którym udział świerka wynosił 10%, była większa niż w litym drzewostanie jodłowym oraz w pozostałych analizowanych drzewostanach z udziałem świerka.

W drzewostanach jodłowych z domieszką jaworu na wzrost pierśnicy miał wpływ udział domieszki 10% tylko na siedlisku lasu górskiego. W tym przypadku jodły osiągały większą pierśnicę niż w jedlinie.

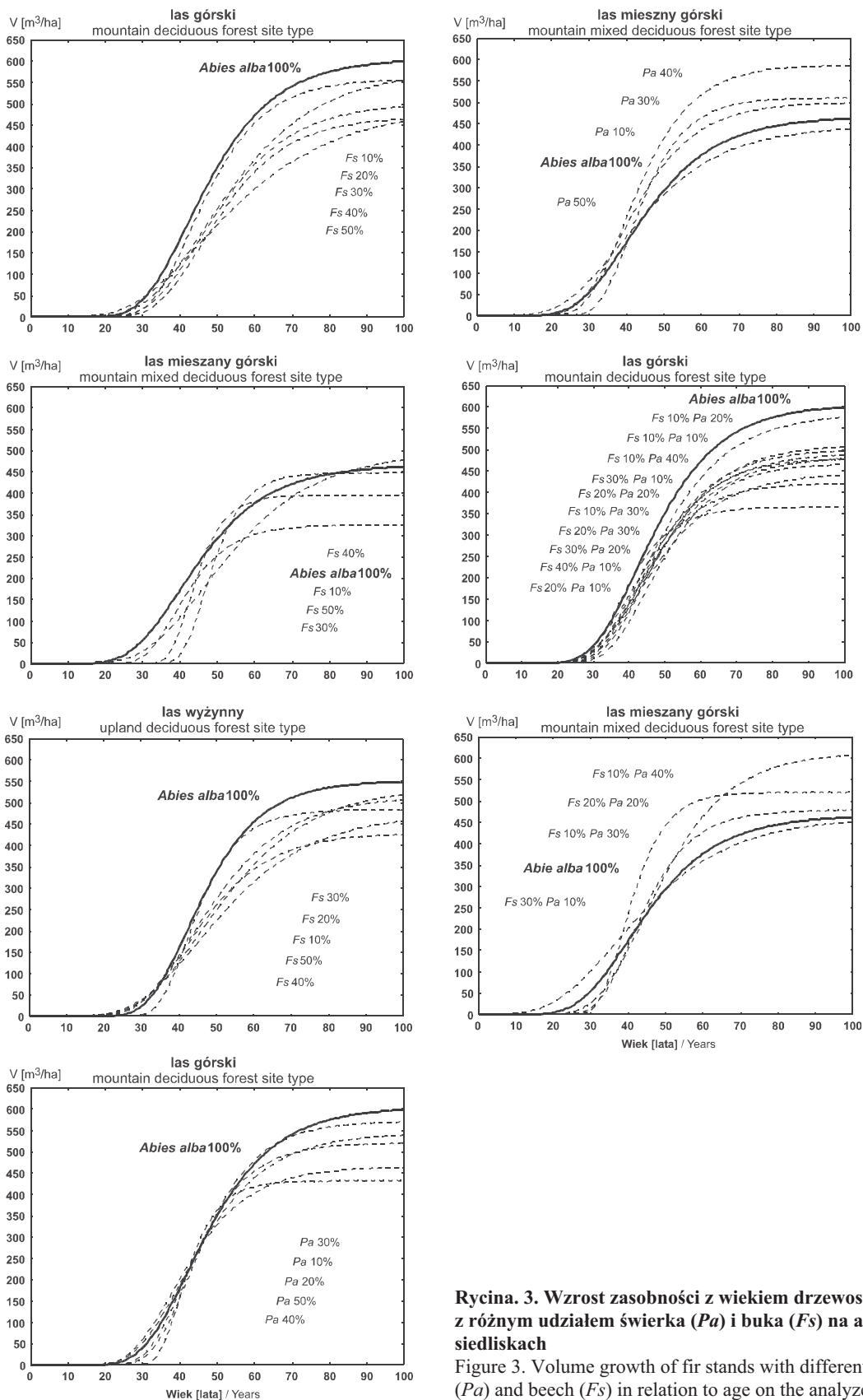
W drzewostanach jodłowych z domieszką buka i świerka rosnących na siedlisku lasu górskiego największą pierśnicę jodła osiągnęła w przypadku następujących kombinacji udziałów gatunków domieszkowych: buk 30% i świerk 10%, buk 20% i świerk 30% oraz buk 20% i świerk 10% (ryc. 2). Słabiej pod tym względem niż lite jedliny wypadły drzewostany, w których udział buka i świerka wynosił odpowiednio: 10% i 40%, 10% i 10% oraz 10% i 20%. W przypadku siedliska lasu mieszanego górskiego sytuacja była odmienna. Przebieg krzywych wzrostu pierśnicy jodły w drzewostanie z udziałem buka i świerka odpowiednio 10% i 10% oraz 30% i 20% był zdecydowanie niższy niż krzywa wzrostu jodły w jedlinie (ryc. 2). W drzewostanach jodłowych o następu-

jącym udziale gatunków towarzyszących: buk 20% i świerk 20%, buk 40% i świerk 10%, buk 10% i świerk



Rycina 2. Wzrost pierśnicy jodeł w drzewostanach z różnym udziałem świerka (*Pa*) i buka (*Fs*) na siedlisku LG i LMG

Figure 2. DBH growth of firs in stands with different share of spruce (*Pa*) and beech (*Fs*) in relation to age on the mountain deciduous forest site type (LG) and the mountain mixed deciduous forest site type (LMG)



Rycina. 3. Wzrost zasobności z wiekiem drzewostanów jodlowych z różnym udziałem świerka (Pa) i buka (Fs) na analizowanych siedliskach

Figure 3. Volume growth of fir stands with different share of spruce (Pa) and beech (Fs) in relation to age on the analyzed forest site types

30%, buk 20% i świerk 10% oraz buk 10% i świerk 40%, pierśnica jodły była większa niż w jedlinie. W przypadku lasu wyżynnego estymację przebiegu wzrostu pierśnicy można było wykonać jedynie dla dwóch kombinacji gatunków, tj. buk 30% i świerk 10% oraz buk 10% i świerk 10%, przy czym większą pierśnicę jodła osiągnęła w pierwszym przypadku. Dla pozostałych wariantów udziału buka i świerka nie przeprowadzono analizy ze względu na małą liczbę odpowiednich drzewostanów.

Zależność zasobności od wieku

Na siedlisku lasu górskiego drzewostany jodłowe z udziałem buka w wieku 100 lat cechowały się zasobnością w granicach 40–140 m³/ha mniejszą niż jednogatunkowe drzewostany jodłowe (ryc. 3). Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, iż czym większy jest udział buka w drzewostanie jodłowym tym mniejsza jest zasobność tego drzewostanu. Natomiast na siedlisku lasu mieszanego górskiego drzewostan jodłowy z 10% domieszką buka osiągnął zasobność 400 m³/ha już w wieku ok. 60 lat, przewyższając pod tym względem pozostałe drzewostany jodłowe z udziałem buka oraz jedlinę (ryc. 3). Na tym siedlisku można było zaobserwować pewną stabilizację wzrostu zasobności drzewostanów jodłowych powyżej 60 lat w przypadku udziału buka 10, 30 i 50%. Natomiast zasobność drzewostanu jodłowego z udziałem buka 40% stale wzrastała i w wieku 85 lat przewyższała zasobność pozostałych drzewostanów.

Na siedlisku lasu wyżynnego drzewostan jodłowy z 10% domieszką buka miał największe tempo przyrostu zasobności, która w wieku ok. 60 lat, wyniosła prawie 450 m³/ha, ustępując jedynie zasobności jedliny, podczas gdy zasobność pozostałych drzewostanów wahała się w granicach 300–400 m³/ha (ryc. 3). Jednakże powyżej 80 lat większą zasobnością cechowały się drzewostany jodłowe z 20 i 30% domieszką buka i ich zasobność nadal wzrastała, jednak nie osiągała wartości jednogatunkowego drzewostanu jodłowego. Stabilizacja wzrostu zasobności drzewostanów jodłowych, niektórych nawet już w wieku 70 lat (ryc. 3), mogła być spowodowana ich większym rozluźnieniem.

Na siedlisku lasu górskiego drzewostany jodłowe z udziałem świerka wynoszącym 10, 20 i 30% już wieku ok. 60 lat cechowały się wyższą zasobnością (w granicach 450 m³/ha i powyżej) niż przy udziale świerka 40 i 50% (ryc. 3). Jednakże największą zasobność osiągały lite drzewostany jodłowe. Różnica zasobności w wieku 90 lat pomiędzy drzewostanami jodłowymi z udziałem świerka (30 i 40%) wyniosła prawie 150 m³/ha na tym siedlisku. Z kolei na siedlisku lasu mieszanego

górskiego drzewostan jodłowy z 40% udziałem świerka, począwszy od wieku ok. 40 lat, przewyższał pod względem zasobności pozostałe drzewostany i w wieku niecałych 60 lat osiągnął zasobność blisko 500 m³/ha, tj. o ok. 150 m³/ha więcej niż drzewostan z udziałem świerka 50% (ryc. 3). W wieku powyżej 50 lat tylko ten ostatni drzewostan cechował się zasobnością mniejszą niż jedlina.

Na siedlisku lasu górskiego drzewostan jodłowy z 10% domieszką jaworu już w wieku 45 lat osiągnął większą zasobność (ok. 180 m³/ha) niż drzewostan z 20% udziałem tego gatunku. Wymienione drzewostany ustępowały jednak pod względem zasobności jedlinom (260–270 m³/ha).

Na siedlisku lasu górskiego drzewostany jodłowe z udziałem buka i świerka odpowiednio 10% i 20%, 10 i 10% oraz 10 i 40% cechowały się największą zasobnością (ryc. 3). Najmniejszą zasobność osiągnęły drzewostany jodłowe z udziałem buka 20% i świerka 10%, buka 40% i świerka 10%, buka 30% i świerka 20% oraz buka 20% i świerka 30%. Żaden drzewostan jodłowy z udziałem buka i świerka nie dorównał pod względem zasobności jednogatunkowej jedlinie. Natomiast w przypadku siedliska lasu mieszanego górskiego największą zasobność osiągnęły drzewostany z udziałem buka 10% i świerka 40%, buka 20% i świerka 10% oraz buka 10% i świerka 30%. Zasobność tych drzewostanów była większa od zasobności charakteryzującej jednogatunkowe jedliny (ryc. 3).

4. Podsumowanie

W pracy zaprezentowano jedną z metod porównania możliwości produkcyjnych drzewostanów wielogatunkowych o różnym udziale gatunków domieszkowych lub współpanujących, wykorzystującą modele wzrostu wysokości, pierśnicy i zasobności z wiekiem. Przydatność tych modeli, wyrażonych odpowiednimi funkcjami opisywanymi w literaturze dotyczącej tego zagadnienia, sprawdzana była w procesie estymacji i aproksymacji przebiegu wzrostu analizowanych cech drzewostanów. Spośród 30 funkcji wybrano te, które najlepiej opisywały wzrost wysokości, pierśnicy oraz zasobności w litych drzewostanach jodłowych (tab. 1). Badaniami objęto jedynie drzewostany rosnące na trzech siedliskach Karpackiej Krainy Przyrodniczo-Leśnej (LG, LMG i Lwyż) z powodu braku wystarczającej liczby drzewostanów jodłowych z domieszkami buka, świerka i jaworu rosnących w innych warunkach siedliskowych.

W wyniku przeprowadzonych obliczeń stwierdzono, iż funkcjami najlepiej opisującymi analizowane zależności w litych jedlinach były:

a) dla wzrostu wysokości z wiekiem - funkcja Korfa na siedlisku lasu górskiego i lasu wyżynnego oraz Michajłowa na siedlisku lasu mieszanego górskiego;

b) dla wzrostu pierśnicy z wiekiem - funkcja Korfa na siedlisku lasu górskiego oraz Michajłowa na siedlisku lasu mieszanego górskiego i lasu wyżynnego;

c) dla wzrostu zasobności z wiekiem – funkcja Chapman-Richardsa 1 na siedlisku lasu górskiego, Gomperta 2 na siedlisku lasu mieszanego górskiego oraz Gomperta 1 na siedlisku lasu wyżynnego.

Na podstawie przedstawionych wyników przypuszcza się, iż wysokość, jaką osiągnęła jodła w drzewostanach z różnym udziałem domieszek była podobna jak w litej jedlinie lub niższa, z wyjątkiem drzewostanu z domieszką świerka (10, 40 i 50%) na siedlisku lasu mieszanego górskiego. Z tego wynika, iż brak jest związku między domieszką buka czy jaworu, a także świerka ok. 20–30%, a zwiększonym wzrostem wysokości jodły (ryc. 1).

Pod względem pierśnicy większe parametry jodła osiągała w drzewostanie z domieszką buka, niewielkim udziałem świerka (do 20%) i jaworu (do 10%) na siedlisku lasu górskiego (ryc. 2) oraz w drzewostanie z dużym udziałem buka (50%) oraz niewielkim świerka (do 10%) na siedlisku lasu mieszanego górskiego. Również jednoczesny udział domieszki buka i świerka (odpowiednio: 20 – 20%; 40 – 10%; 10 – 30%; 10 – 40%; 20 – 10%) przypuszczalnie wpłynął na wzrost pierśnicy jodły na tym siedlisku (ryc. 2). W lesie wyżynnym większą pierśnicę osiągała jodła w drzewostanie z domieszką świerka (20% i 30%) oraz buka (każdy udział).

Zasobność litych drzewostanów jodłowych przewyższała natomiast wartości osiągane w drzewostanach z domieszkami (im większy był ich łączny udział, a zwłaszcza większy udział buka, tym mniejsza była zasobność drzewostanu), co potwierdza, że wśród badanych tutaj gatunków jodła ma największe możliwości produkcyjne w korzystnych warunkach siedliskowych.

Jedynie na siedlisku lasu mieszanego górskiego udział świerka 10%, 30% i 40% oraz równoczesny udział świerka (zwłaszcza w wysokości 20%, 30%, 40%) i buka wpłynął na zwiększenie zasobności drzewostanu (ryc. 3).

Drzewostany jodłowe z bukiem i świerkiem – pomimo ich nieco niższych możliwości produkcyjnych, powinny być popierane z uwagi na większą stabilność, odporność i możliwość realizowania modelu gospodarki wielofunkcyjnej.

O pozytywnym wpływie zmieszania na produktywność drzewostanu świerkowo-jodłowego wspomina Assmann (1968), który tłumaczy to zróżnicowanym zapotrzebowaniem na światło oraz uzupełnianiem się ukorzenienia obu gatunków w przestrzeni glebowej.

Na siedlisku nieco uboższym (las mieszany górski) uwidocznił się pozytywny wpływ gatunków towarzyszących na wzrost, przede wszystkim, pierśnicy i zasobności drzewostanu jodłowego. Tutaj udział gatunków towarzyszących, które wzbogacają siedlisko (opad materii organicznej, penetracja różnych poziomów gleby przez korzenie) i różnicują warunki świetlne i cieplne, oddziaływa korzystnie na drzewostan jodłowy, czego wynikiem jest zwiększony przyrost grubości, a w konsekwencji większa produktywność takiego drzewostanu.

Do prezentowanych w tej pracy wyników badań należy podejść ostrożnie, m.in. z powodu niezajomości historii zabiegów w analizowanych drzewostanach, które to zabiegi mogły mieć niemały wpływ na cechy tych drzewostanów.

Wydaje się celowe kontynuowanie badań dotyczących porównania możliwości produkcyjnych litych drzewostanów jodłowych i drzewostanów jodłowych z różnym udziałem gatunków towarzyszących, uwzględniając również ciężar suchej masy drewna poszczególnych gatunków, jakość produkcji oraz wartość mone-tarną (Assmann 1968; Jaworski 2004).

Literatura

- Assmann E. 1968. Nauka o produktywności lasu. Warszawa, PWRiL.
- Borowski M. 1974. Przyrost drzew i drzewostanów. Warszawa, PWRiL.
- Bruchwald A. 1993. Uniform height curves for silver-fir stands. *Annals of Warsaw Agricultural University Forestry and Wood Technology*, 44: 3–5.
- Bruchwald A., Dudzińska T., Dudek A., Michalak K., Wróblewski L. 1985. Wstępne wyniki badań nad produktywnością drzewostanów świerkowo-sosnowych północno-wschodniej Polski. *Sylwan*, 129 (9): 1–12.
- Burkhardt H.E., Tham A. 1992. Predictions from growth and yield models of the performance of mixed-species stands. w: M.G.R. Cannell, D.C. Malcolm, P.A. Robertson (red.) *The ecology of mixed-species stands of trees*. Oxford, Blackwell Scientific Publications: 21–34.
- Chen H.Y.H., Klinka K., Mathey A.-H., Wang X., Varga P., Chourmouzis C. 2003. Are mixed-species stands more productive than single-species stands: an empirical test of three forest types in British Columbia and Alberta. *Canadian Journal of Forest Research*, 33: 1227–1237.
- Coble D.W., Lee Y.-J. 2006. Use of a generalized sigmoid growth function to predict site index for unmanaged loblolly and slash pine plantations in east Texas. Gen. Tech. Rep. SRS-92. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station: 291–295.
- Colbert J.J., Schuckers M., Fekedulegn D., Rentch J., Mac-Siúrtáin M., Gottschalk K. 2004. Individual tree basal-area

- growth parameter estimates for four models. *Ecological Modelling*, 174: 115–126.
- Coral Rivas J.J., Alvarez Gonzalez J.G., Ruiz Gonzalez A.D., von Gadow K. 2004. Compatible height and site index models for five pine species in El Salto, Durango (Mexico). *Forest Ecology and Management*, 201: 145–160.
- Fang Z., Bailey R.L. 1998. Height-diameter models for tropical forests on Hainan Island in southern China. *Forest Ecology and Management*, 110: 315–327.
- Frivold L.H., Kolström T. 1999. Yield and treatment of mixed stands of boreal tree species in Fennoscandia. w: A.F.M. Olsthoorn, H.H. Bartelink, J.J. Gardiner, H. Pretzsch, H.J. Hekhuis, A. Franc (red.) Management of mixed-species forest: silviculture and economics. Wageningen, IBNDLO Scientific Contributions: 37–45.
- Hladik M. 1991. Study of the structure and production of mixed stands in the forests of Slovakia. *Lesnictvi*, 37 (10): 773–786.
- Jaworski A. 2004. Podstawy przyrostowe i ekologiczne odnawiania oraz pielęgnacji drzewostanów. Warszawa, PWRiL.
- Kelty M.J. 1989. Productivity of New England hemlock/hardwood stands as affected by species composition and canopy structure. *Forest Ecology and Management*, 28: 237–257.
- Kelty M.J. 1992. Comparative productivity of monocultures and mixed-species stands. w: M.J. Kelty, B.D. Larson, C.D. Oliver (red.) The ecology and silviculture of mixed-species forests. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: 125–141.
- Kelty M.J. 1994. Ecological principles of production differences between monocultures and mixtures. w: Pinto da Costa M.E. i Preuhler T. (red.) Proceedings from the IUFRO Working Group: S4.01-03 i S4.01-04: Mixed stands: research plots – measurements and results – models. April 25–29, 1994, Lousã – Coimbra, Portugal: 15–29.
- Kelty M.J. 2006. The role of species mixtures in plantation forestry. *Forest Ecology and Management*, 233: 195–204.
- Knoke T., Stamm B., Ammer Ch., Moog M. 2005. Mixed forests reconsidered: A forest economics contribution on an ecological concept. *Forest Ecology and Management*, 213: 102–116.
- Knoke T., Ammer Ch., Stimm B., Mosandl R. 2008. Admixing broadleaved to coniferous tree species: a review on field, ecological stability and economics. *European Journal of Forest Research*, 127: 89–101.
- Kocjan H. 1992. Cechy wzrostowe sosny w uprawach mieszanych na siedlisku boru suchego w nadleśnictwie Wronki. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu, Leśnictwo*, 241, 30: 75–84.
- Kocjan H. 1993a. Obserwacje nad wprowadzaniem gatunków domieszkowych do upraw na słabych i zdegradowanych siedliskach leśnych. *Las Polski*, 8: 18–19.
- Kocjan H. 1993b. Wpływ gatunków domieszkowych na wzrost sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w 10-letniej uprawie. *Prace Komisji Nauk Rolniczych i Komisji Nauk Leśnych PTPN*, 76: 59–65.
- Kocjan H. 1996. Przydatność domieszek drzew i krzewów liściastych w uprawie sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w warunkach siedliskowych boru suchego. *Prace Komisji Nauk Rolniczych i Komisji Nauk Leśnych PTPN*, 82: 81–94.
- Kocjan H. 1997. Rozwój systemu korzeniowego gatunków domieszkowych w uprawie sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.). *Sylwan*, 141 (2): 23–30.
- Kozak A., Kozak R. 2003. Does cross validation provide additional information in the evaluation of regression models? *Canadian Journal of Forest Research*, 33: 976–987.
- Man R., Lieffers V.J. 1999. Are mixtures of aspen and white spruce more productive than single species stands? *The Forest Chronicle*, 75 (3): 505–513.
- Mielikäinen K. 1994. Problems in modeling the development of mixed stands using data from temporary measurements. w: Pinto da Costa M.E. i Preuhler T. (red.) Proceedings from the IUFRO Working Group : S4.01-03 i S4.01-04: Mixed stands: research plots – measurements and results – models. April 25–29, 1994, Lousã – Coimbra, Portugal: 271–279.
- Miś R. 1970a. Próba przedstawienia biologicznej współzależności między wysokością, wiekiem i miąższością drzew w drzewostanach mieszanych za pomocą równań matematycznych. *Sylwan*, 114 (6): 47–52.
- Miś R. 1970b. Badania nad wydajnością drzewostanów mieszanych bałtyckiej krainy przyrodniczołejnej. *Prace Komisji Nauk Rolniczych i Komisji Nauk Leśnych PTPN*, 30: 185–221.
- Miś R. 1972a. Przebieg wzrostu wysokości i wydajności sosny, świerka, buka i dębu w drzewostanach litych i mieszanych. *Prace Komisji Nauk Rolniczych i Komisji Nauk Leśnych PTPN*, 34: 171–184.
- Miś R. 1972b. Statystyczna ocena przebiegu wzrostu wysokości sosny i świerka przy różnym udziale gatunku drzewa w składzie drzewostanu. *Sylwan*, 116 (2): 47–52.
- Miś R. 1982a. Wpływ struktury piętrowej i składu gatunkowego na wydajność drzewostanów. *Prace Komisji Nauk Rolniczych i Komisji Nauk Leśnych PTPN*, 54: 107–115.
- Miś R. 1982b. Wydajność drzewostanów mieszanych złożonych z sosny i dębu na siedlisku lasu mieszanego. *Prace Komisji Nauk Rolniczych i Komisji Nauk Leśnych PTPN*, 54: 117–122.
- Miś R. 1988. Wydajność drzewostanów mieszanych z udziałem jodły (*Abies alba* Mill.) poza granicami jej naturalnego zasięgu. *Prace Komisji Nauk Rolniczych i Komisji Nauk Leśnych PTPN*, 66: 79–86.
- Pretzsch H., Schütze G. 2009. Transgressive overyielding in mixed compared with pure stands of Norway spruce and European beech in Central Europe: evidence on stand level and explanation on individual tree level. *European Journal of Forest Research*, 128 (2): 183–204.
- Prodan M. 1968. Forest biometrics. Oxford – London, Pergamon Press.
- Pukkala T., Vettenranta J., Kolström T., Miina J. 1994. Productivity of mixed stands of *Pinus sylvestris* and *Picea abies*. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 9: 143–153.
- Šmelko Š., Wenk G., Antanaitis V. 1992. Rast, štruktúra a produkcia lesa. Bratislava, Priroda.
- Stanisz A. 2007. Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem STATISTICA PL na przykładach z medycyny. Tom 1, 2 i 3. StatSoft, Kraków

Yuancai L., Parresol B. R. 2001. Remarks on Height-Diameter Modeling. Res. Note SE-10. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station. 8 ss.

Żybura H. 1990. Lasotwórcza rola świerka pospolitego (*Picea abies* L. Karst.) w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem obszaru nizinnego. Rozprawa Naukowa, Wyd. SGGW-AR, Warszawa.