

MICHAŁ ZASADA, STEFAN PANKA, JACEK SAGAN

Ocena możliwości zastosowania tablic Bergela dla daglezi zielonej (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) w Polsce*

Potential use of the Bergel yield tables for Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) in Poland

ABSTRACT

Zasada M., Panka S., Sagan J. 2015. Ocena możliwości zastosowania tablic Bergela dla daglezi zielonej (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) w Polsce. Sylwan 159 (8): 619-631.

There are no original local yield tables for Douglas fir stands grown in Poland. In the presented study we attempted to answer the question whether it is possible to successfully use the German yield tables for Douglas fir developed by Bergel [1985]. Based on the data from these yield tables we developed the height growth model (site index curves) for Douglas fir in the form of the polymorphic equation with variable asymptotes. This model appeared to be, as expected, far better than the anamorphic model. We applied the elaborated equation for calculation of the site index for 63 randomly selected research plots located on the typical Douglas fir habitat types (fresh mixed broadleaved forest and fresh broadleaved forest) in western Poland. We concluded that the mean site index values are significantly higher in younger stands than in the older ones. To determine the reason for this phenomenon, we tested the resulting model using the published data from the permanent research plots. We found out that the pattern of site index changes with age varies for stands in different age classes. Moreover, we noticed, that regardless the age of the stand, in the recent decades there is the increasing height growth rate, which can be attributed to the change in environmental conditions. On the other hand, the analysis of the other characteristics of the sample plots revealed, that there is no significant relationship between site index values and site and plot location, as well as between the productivity level, expressed by the value of the *EN* coefficient, and age class, site and location of the stand. Bergel yield tables can be used in Polish conditions taking into account the age-dependency of the site index values.

KEY WORDS

yield tables, growth model, site index, forest productivity, non-native tree species

ADDRESSES

Michał Zasada ⁽¹⁾ – e-mail: Michal.Zasada@wl.sggw.pl

Stefan Panka ⁽²⁾ – e-mail: stefan.panka@LFB.Brandenburg.de

Jacek Sagan ⁽³⁾ – e-mail: jacek.sagan@warszawa.lasy.gov.pl

⁽¹⁾ Samodzielna Pracownia Dendrometrii i Nauki o Produkcyjności Lasu, SGGW w Warszawie; ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

⁽²⁾ Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde; A. Möller Str. 1, 16-225 Eberswalde, Niemcy

⁽³⁾ Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych w Warszawie; ul. Grochowska 278, 03-841 Warszawa

*Praca powstała w ramach grantu „Ekologiczne, gospodarcze i urzędzeniowe konsekwencje występowania wybranych gatunków drzew obcych w Polsce” finansowanego przez Lasy Państwowe. Część materiałów została pozyskana dzięki wsparciu „Podkarpackiego funduszu stypendialnego dla doktorantów”.

Wstęp

Pomimo stałego rozwoju technik statystycznych i technologii informatycznych tablice zasobności pozostają do dziś ważnym narzędziem stosowanym przy planowaniu gospodarki leśnej. Stanowią one pewien wzorzec – model wzrostu, przedstawiający zmianę z wiekiem najważniejszych cech drzewostanów rosnących w różnych warunkach, charakteryzowanych tradycyjnie przez klasy bonitacji oraz podlegających cięciom pielęgnacyjnym o różnym charakterze. Tablice zasobności tworzone są w różny sposób, jednak najcenniejsze są te, które powstały na podstawie danych pochodzących ze stałych powierzchni doświadczalnych prowadzonych w ramach ściśle zaplanowanego programu badawczego. W polskiej praktyce leśnej wykorzystywane są tablice zasobności stworzone przez różnych autorów, zestawione w postaci zbioru tablic przez Szymkiewicza [2001] dla sosny, świerka, jodły, modrzewia, dębu, buka, brzozy i olszy. Brak jest natomiast tablic dla pozostałych gatunków lasotwórczych, które mają mniejsze znaczenie gospodarcze, nie tworzą z reguły litych drzewostanów oraz zajmują stosunkowo niewielkie powierzchnie. Do takich należą m.in. obce gatunki drzew, w tym dąglezja.

Przyjmuje się, że do Europy dąglezja trafiła dzięki szkockiemu leśnikowi Douglasowi na początku XIX wieku. Do Polski jej pierwsze okazy sprowadził Wodzicki już w 1833 roku [Szymonowski 1959]. Według pierwszej inwentaryzacji tego gatunku w naszym kraju, przeprowadzonej w 1965 roku przez Białoboka i Chylareckiego na podstawie materiałów ankietowych, stwierdzono, że występowała ona na terenie 366 nadleśnictw w 1169 drzewostanach o łącznej powierzchni 1405,5 ha. Spośród nich 70,42 ha stanowiły drzewostany lite, a 1335,1 ha – drzewostany mieszane z udziałem dąglezji. Gatunek ten zajmował w tym czasie około 46% powierzchni wszystkich drzewostanów gatunków egzotycznych w Polsce [Barzdajn 2013]. Dostępna literatura dotycząca zasobów dąglezji zielonej w Polsce podaje, że jej całkowita powierzchnia wynosi obecnie około 1,5 tys. ha [Potapiuk 1994], na co składa się 1648 drzewostanów [Chylarecki 2004]. Ze szczegółowych analiz danych pochodzących z Systemu Informatycznego Lasów Państwowych (SILP) zgromadzonych w trakcie prac urzędzeniowych wynika, że gatunek ten zajmuje jednak znacznie większą powierzchnię (ponad 5200 ha), wchodząc w skład około 25 tys. wydzieleń drzewostanowych [Sagan i in. 2013]. Łączny areal powierzchni z dąglezją jako gatunkiem głównym w warstwie drzewostanu wynosi w Polsce 6375,35 ha. Drzewostany z dominującym udziałem dąglezji w składzie gatunkowym występują w 1464 wydzieleniach drzewostanowych, a ich łączna powierzchnia to 1746,3 ha. Średnia wielkość powierzchni drzewostanu dąglezjowego w Polsce wynosi zatem 1,19 ha [Sagan 2014].

Dąglezja występuje na terenie całego kraju z różną intensywnością. Wchodzi ona w skład drzewostanów 225 nadleśnictw znajdujących się na terenie 17 regionalnych dyrekcji Lasów Państwowych i 8 krain przyrodniczo-leśnych. Najliczniej reprezentowana jest w składzie gatunkowym drzewostanów na terenie RDLP w Szczecinie, Szczecinku, Poznaniu, Wrocławiu, Zielonej Górze i Gdańsku. Nadleśnictwem, na terenie którego dąglezja zajmuje największą powierzchnię w Polsce, jest Nadleśnictwo Chojna (56 wydzieleń o łącznej powierzchni 71,51 ha) [Sagan 2014].

Pierwsze wyniki szczegółowych badań nad wzrostem drzewostanów dąglezjowych zostały opublikowane w Stanach Zjednoczonych. Munger [1911] podsumował w swojej pracy dotychczasową wiedzę na temat dąglezji oraz przedstawił pierwsze tablice zasobności dla drzewostanów dąglezjowych do wieku 140 lat z położonego nad Pacyfikiem północno-zachodniego obszaru USA, opierając się przy tym na pomiarach z 261 powierzchni. Jego prace kontynuował Hanzlik [1914], który bazując na 295 powierzchniach badawczych, jako pierwszy skonstruował model wzrostu dla amerykańskiej dąglezji do wieku 140 lat w trzech klasach bonitacji. Jego

następca, McArdle, korzystając z dodatkowych danych, udoskonalił model wzrost Hanzlika, rozszerzając zakres użyteczności modelu dla drzewostanów do wieku 160 lat [McArdle 1930]. Po raz pierwszy, poza tablicami dla pięciu klas bonitacji, stworzone zostały również tabele dla 14 bonitacji wzrostowych zbudowanych na podstawie wysokości górnej drzewostanów w wieku bazowym 100 lat. Ciekawą próbę zdefiniowania wzrostu i produktywności drzewostanów dąglezjowych w północno-zachodniej części USA podjęli Curtis i in. [1982], którzy stworzyli model uwzględniający dla 4 klas bonitacji i wieku do 100 lat różne warianty manipulowania surowca, dając tym samym przemysłowi drzewnemu użyteczny instrument planowania. Wzrost drzewostanów dąglezjowych w wieku do 40 lat w Niemczech dla dwóch bonitacji scharakteryzował po raz pierwszy Schwappach [1920]. Dysponując wynikami z założonych przez siebie stałych powierzchni badawczych (z których część znajduje się obecnie na terenie Polski: Stary Kraków, oddz. 176 – RDLP Szczecinek; Paruszowiec, oddz. 103, Bystrzyca Kłodzka, oddz. 201, Lubawka, oddz. 61 – RDLP Wrocław; Wirty, oddz. 37 – RDLP Gdańsk; Oborniki, oddz. 48 – RDLP Poznań; Kruszwonia, oddz. 189 – RDLP Olsztyn), dokonał porównania dąglezji ze świerkiem i wskazał dla porównywalnych siedlisk na wyższą produktywność dąglezji. Korzystając z dalszych pomiarów, Kanzow [1937a-c] rozbudował tablice Schwappacha do wieku 50 lat. Wiedemann rozszerzył tablice Kanzowa o dalsze 10 lat i zamieścił je w wydany przez siebie zbiorze tablic zasobności dla różnych gatunków [Wiedemann 1946]. Pod koniec lat 50. XX wieku ukazały się w NRD tablice opracowane przez Hengsta [1958], opracowane dla obszaru dzisiejszej Saksonii i Turynii, dla których materiałem wyjściowym było 204 powierzchni próbnych. Autor tablic charakteryzuje wzrost badanych przez siebie drzewostanów dąglezjowych w wieku do 75 lat w trzech klasach bonitacji, przy czym najlepsze z tych drzewostanów osiągają 453 m³/ha zapasu grubizny i ponad 1130 m³/ha sumarycznej produkcji (tab. 1). Dla południowo-zachodnich Niemiec (Badenia-Wirtembergia) tablice dla dąglezji opracowali Zimmerle [1952] oraz Kenk i Hradetzky [1984]. Zimmerle [1952], na podstawie dość skromnego materiału pomiarowego, opisał w swoim modelu produktywność drzewostanów dąglezjowych regionu do wieku 60 lat. Trzydzieści lat później Kenk i Hradetzky [1984], bazując na 60 stałych powierzchniach badawczych z 300 pomiarami

Tabela 1.

Zakres wieku (Wiek) [lata] oraz maksymalna wysokość górna (H_{100}) [m], wysokość przeciętna (H_G) [m], przeciętna pierśnica (D_G) [cm], pierśnicowe pole przekroju (G) [m²/ha], zapas (V) [m³/ha] i sumaryczna produkcja (SP) [m³/ha] w wybranych tablicach zasobności drzewostanów dąglezjowych

Age range (Wiek) [years] and maximum top height (H_{100}) [m], mean height (H_G) [m], QMD (D_G) [cm], basal area (G) [m²/ha], growing stock (V) [m³/ha] and yield (SP) [m³/ha] for selected yield tables for Douglas fir

Tablice Tables	Region	Wiek	H_{100}	H_G	D_G	G	V	SP
Forestry Commission [1928]	W. Brytania	50	–	33,5	49,3	65,8	800	1205
McArdle [1930, 1949]	NW-USA	160	72,2	–	104,1	84,2	1725	–
Kanzow [1937a-c]	Prusy	50	–	28,0	31,8	41,4	501	813
Kanzow, Wiedemann [1946]	N-Niemcy	60	–	31,5	38,0	45,0	612	1013
Zimmerle [1952]	SW-Niemcy	60	–	34,8	36,8	44,3	634	1186
Hengst [1958]	S-NRD	75	–	34,7	44,4	49,5	679	1132
Karlberg [1961]	Dania	61	–	36,2	57,0	33,0	485	1274
Hamilton i Christie [1971]	W. Brytania	80	41,2	–	75,7	51,5	845	1753
Decourt [1972]	Francja	65	40,0	36,6	–	47,5	671	1304
Curtis i in. [1982]	NW-USA	100	62,4	58,6	63,0	80,3	1691	–
Kenk i Hradetzky [1984]	SW-Niemcy	120	58,0	58,0	98,8	82,8	1822	2579
Bergel [1985]	NW-Niemcy	100	45,5	44,5	69,6	57,3	985	1888

okresowymi, opisali wzrost dąglezji do 120 lat dla czterech wariantów trzebieży górnej: bardzo silnej, silnej, umiarkowanej i słabej. Podstawą systemu bonitacyjnego w modelu jest wysokość górna drzewostanu w wieku 100 lat, a wartość najlepszej bonitacji wzrostowej wynosi 56 m. Najwyższą sumaryczną produkcją charakteryzują się drzewostany prowadzone trzebieżą słabą, zaś najniższą – trzebieżą bardzo silną (1105 m³/ha).

Tablice dla dąglezji autorstwa Bergela [1985] przedstawiają model wzrostu drzewostanów dąglezjowych dla dwóch wariantów trzebieży górnej: trzebieży umiarkowanej (B) i trzebieży silnej (C). W porównaniu do wcześniejszych tablic dąglezjowych dla północno-zachodnich Niemiec [Bergel 1969] autorowi udało się wykorzystać dalszych 96 pomiarów, wykonanych w młodszych drzewostanach dąglezjowych potraktowanych silniejszymi cięciami, zbliżonymi swoim natężeniem do tych stosowanych przez praktyków. Statystyczną podstawę zaproponowanego przez Bergela modelu wzrostu stanowią dane pochodzące z 53 stałych powierzchni doświadczalnych Dolnej Saksonii z 413 okresowymi pomiarami oraz dane z 27 jednorazowych powierzchni próbnych założonych w starszych drzewostanach dąglezjowych. Wszystkie te powierzchnie zlokalizowane są na obszarze następujących krajów związkowych: Hamburg, Hesja, Dolna Saksonia, Nadrenia Północna-Westfalia oraz Nadrenia-Palatynat. Dane zawarte w tablicach zostały wygenerowane na podstawie zależnych od siebie regresji, bazujących na dwóch głównych zależnościach: „wiek – liczba pni” (charakteryzująca nasilenie trzebieży) oraz „wiek – wysokość górna” (charakteryzująca bonitację wzrostową).

Ponieważ podczas analizy sumarycznej produkcji dla powierzchni doświadczalnych o podobnej bonitacji, w ramach tych samych wariantów pielęgnacyjnych zlokalizowanych na różnych siedliskach zaobserwowano znaczne różnice w ich wydajności, zdecydowano się na wprowadzenie do modelu trzech poziomów wydajności (Ertragsniveau, EN), którym w swoich tablicach Bergel [1985] przyporządkował odpowiednio dolnemu, średniemu i górnemu poziomowi litery U, M i O. Aby tablice Bergela dobrze odzwierciedlały strukturę i produktywność drzewostanów, drzewostany te powinny spełniać następujące warunki:

- pochodzić z sadzenia (drzewostany jednowiekowe),
- posiadać wysokość górną (H_{100}) > 20 m,
- nie wykazywać większych zaniedbań trzebieżowych ani uszkodzeń,
- ustalenie cech taksacyjnych (N , D_G , H_G , H_{100}) powinno następować dopiero po przeprowadzeniu zabiegu.

System bonitacji Bergela wykorzystuje wysokość górną (H_{100} – wysokość przeciętna 100 najgrubszych drzew na powierzchni 1 hektara), którą osiąga dany drzewostan w wieku bazowym 100 lat. Tak zdefiniowana bonitacja wzrostowa nadaje całemu modelowi bonitacyjnemu dużą stabilność, przy której nawet dość silne cięcia trzebieżowe mają stosunkowo niewielki wpływ na określenie bonitacji drzewostanu głównego po wykonaniu zabiegu. Ponieważ bonitacja wykorzystująca wysokość górną H_{100} jest również dobrym wskaźnikiem zasobności danego siedliska [Assmann 1961], tablice Bergela [1985] są bardzo wygodnym narzędziem w planowaniu odpowiednich na danym siedlisku zabiegów gospodarczych w drzewostanach dąglezjowych i szacowania ich cech, w tym przyrostu miąższości. Dla zapewnienia porównywalności nowego modelu z wcześniejszymi tablicami dla dąglezji [Bergel 1969], Bergel zachował w swoich nowych tablicach dla trzebieży umiarkowanej (B) tradycyjny system klas bonitacji, przypisując bonitacjom wzrostowym (H_{100} =45; 40; 35) odpowiednio I, II i III klasę bonitacji. Dla silnej trzebieży górnej (C) wartości bonitacji wzrostowej wynoszą odpowiednio 45,5, 40,4 i 35,4 m.

Celem niniejszej pracy była ocena tablic Bergela na podstawie danych pochodzących z Polski. Elementami tej analizy było opracowanie i zweryfikowanie bonitacyjnego modelu wzrostu

wysokości, analiza cech i produktywności drzewostanów daglezjowych w różnym wieku rosnących na siedliskach LMśw i Lśw w zachodniej Polsce oraz ocena przydatności różnych wariantów tablic Bergela dla drzewostanów daglezjowych rosnących w różnych warunkach.

Materiał i metody

Materiał empiryczny wykorzystany w niniejszej pracy stanowiły pomiary wykonane na 63 powierzchniach doświadczalnych założonych w drzewostanach daglezjowych zlokalizowanych na terenie północno-zachodniej, zachodniej i południowo-zachodniej Polski. Drzewostany zostały wylosowane ze zbioru utworzonego na podstawie opisów taksacyjnych zawartych w bazie danych Systemu Informatycznego Lasów Państwowych. Podczas losowania założono, że powierzchnie mają reprezentować szeroki zakres klas wieku (od I do VII) i znajdować się na siedlisku LMśw lub Lśw (na którym dagleźja w Polsce występuje najliczniej). W składzie gatunkowym drzewostanów, w których zakładano powierzchnie, dagleźja musiała stanowić co najmniej 80%. Przy wyborze powierzchni odrzucono drzewostany znajdujące się w klasie odnowienia (KO) i w klasie do odnowienia (KDO). Minimalna wielkość wydzielenia drzewostanowego, w którym zakładano powierzchnie, wynosiła 0,3 ha. W wylosowanych drzewostanach zakładano powierzchnie próbne. Przyjmowały one kształt koła o promieniu 11,28 m lub prostokąta. Powierzchnie zakładane były w drzewostanach, w których pomiarami można było objąć co najmniej 70 drzew. Na powierzchniach pomierzono m.in. pierśnice wszystkich drzew z zaokrągleniem do 1 mm i wysokości 30 drzew do sporządzenia krzywych wysokości. Wiek drzewostanów zweryfikowano za pomocą odwierćników wykonanych świdrem Presslera. Dla każdej powierzchni określono liczbę drzew na 1 ha, przeciętną pierśnicę, przeciętną wysokość wzorem Loreya, wysokość górną (zdefiniowaną jako przeciętną wysokość 100 najgrubszych drzew na 1 ha), pierśnicowe pole przekroju na ha, zapas grubizny w m³/ha i wskaźnik zagęszczenia *SDI* (tab. 2).

Bonitacyjny model wzrostu wysokości został zbudowany na podstawie danych dotyczących zmian wysokości górnej dla różnych klas bonitacji z tablic Bergela [1985]. Do stworzenia modelu wykorzystano metodykę i dwa modele bazowe opisane przez Cieszewskiego i Zasadę [2003]. Pierwszym był model zaproponowany przez Bruchwalda [1988], zmodyfikowany jako model dwuparametrowy przez Bruchwalda i in. [2000] i przetworzony do postaci

Tabela 2.

Minimalna (min), maksymalna (max), średnia (m), odchylenie standardowe (sd) i współczynnik zmienności (cv [%]) dla powierzchni (*A*), wysokości n.p.m. (wys), wieku (Wiek), zagęszczenia (*SDI*), wysokości przeciętnej (*H_G*), wysokości górnej (*H₁₀₀*), przeciętnej pierśnicy (*D_G*), wskaźnika bonitacji (*SI*) oraz zapasu (*V*) daglezjowych powierzchni doświadczalnych

Minimum (min), maximum (max), mean (m), standard deviation (sd) and coefficient of variability (cv [%]) for area (*A*), elevation (wys), age (Wiek), stand density (*SDI*), mean height (*H_G*), top height (*H₁₀₀*), QMD (*D_G*), site index (*SI*) and growing stock (*V*) of Douglass fir study plots

	min	max	m	sd	cv
<i>A</i> [ha]	0,04	0,72	0,30	0,17	54
wys [m]	19	234	94	45	45
Wiek [lata]	10	133	64	33	51
<i>SDI</i> [N/ha]	96	2440	435	522	120
<i>H_G</i> [m]	3,4	47,2	26,3	9,5	36
<i>H₁₀₀</i> [m]	4,6	48,4	27,3	9,2	34
<i>D_G</i> [cm]	4,1	60,2	26,3	14,2	40
<i>SI</i> [m/100 lat]	29,7	56,0	38,6	5,9	15,2
<i>V</i> [m ³ /ha]	5	1091	358	237	66

dynamicznej przez Cieszewskiego i Zasadę [2002]. Do oryginalnego wzoru wprowadzono dodatkowy parametr b , mający na celu zwiększenie elastyczności równania:

$$Y = Y_{0i} \cdot \left(\frac{t \cdot (a + t_0)}{t_0 \cdot (a + t)} \right)^b \quad [1]$$

gdzie:

Y – wartość zmiennej zależnej (np. wysokości) w wieku t ,

a, b – parametry,

t_0, Y_{0i} – warunki początkowe (wiek i wartość zmiennej zależnej Y dla klasy bonitacji „i” w wieku t_0); gdy t_0 równe jest wiekowi bazowemu, Y_{0i} odpowiada wskaźnikowi (indeksowi) bonitacji (bonitacji wzrostowej).

Drugi model wykorzystano w postaci opisanej przez Cieszewskiego i Zasadę [2003]:

$$Y = Y_{0i} \cdot \frac{t^j \cdot (t_0^j \cdot R + e^b)}{t_0^j \cdot (t^j \cdot R + e^b)} \quad [2]$$

gdzie:

$$R = -f + Y_{0i} + \sqrt{(-f + Y_{0i})^2 + \frac{2 \cdot Y_{0i} \cdot e^b}{t_0^j}}$$

Parametry modeli określono metodą najmniejszych kwadratów z zastosowaniem modułu Solver arkusza kalkulacyjnego Excel. Przy obliczeniach zastosowano koncepcję zmiennego parametru (varying parameter), w której wskaźnik bonitacji staje się jednym z dodatkowych parametrów modelu. Metoda ta jest znacznie bardziej skomplikowana obliczeniowo, ale jest jednocześnie bardziej uzasadniona zarówno teoretycznie, jak i praktycznie [Cieszewski i in. 2000; Cieszewski, Zasada 2003]. Do diagnostyki i porównania modeli wykorzystano następujące charakterystyki błędów: zakres, średnia arytmetyczna, odchylenie standardowe i odchylenie przeciętne. Za pomocą lepszego modelu określono wartość wskaźnika bonitacji dla każdej z powierzchni próbnych. Następnie zbadano związek tej cechy z wiekiem drzewostanu i typem siedliskowym lasu.

Tablice zasobności Bergela dla trzebieży umiarkowanej i silnej posiadają warianty dla różnego poziomu produktywności EN (Ertragsniveau). Wartość ta uzależniona jest od różnych cech drzewostanu i oblicza się ją za pomocą wzoru:

$$EN = \frac{0,660 \cdot SDI}{H/D} - 0,03477 \cdot D_G - 0,5751 \cdot \sqrt{H/D} + 0,03674 \cdot SI - 0,000288 \cdot D_G^2 - 0,01446 \cdot \left(\frac{SDI}{100} \right)^2 + 2,5147 \quad [4]$$

gdzie:

D_G – przeciętna pierśnica przekrojowa drzewostanu [cm],

SI – bonitacja wzrostowa (indeks bonitacyjny) określona na podstawie wysokości górnej [m],

SDI – wskaźnik zagęszczenia (stand density index) zdefiniowany jako $N \cdot \left(\frac{D_G}{25} \right)^{1,6}$, gdzie N jest liczbą drzew w przeliczeniu na 1 ha,

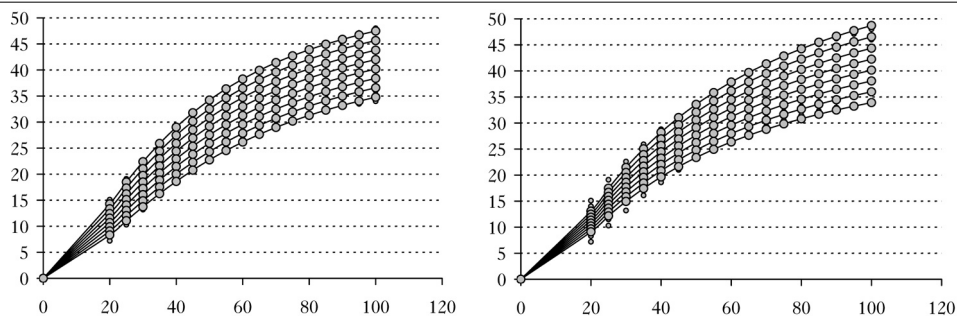
H/D – przeciętna smukłość drzewostanu, obliczana jako $\frac{H_G}{D_G} \cdot 100$, gdzie H_G to przeciętna wysokość drzewostanu [m].

Jeżeli wartość EN zawiera się w przedziale 0,50-1,49, drzewostan charakteryzuje się niskim poziomem produktywności (U, Unteres Ertragsniveau), przy wartości EN w przedziale 1,50-2,49 – średnim (M, Mittleres Ertragsniveau), a od 2,50 do 3,49 – wysokim (O, Oberes Ertragsniveau).

Wyniki

W wyniku dopasowania modelu [1] uzyskano parametry $a=11,09287$ oraz $b=3,91353$. Błędy modelu wahały się od $-2,0$ do $+1,9$ m. Średnia arytmetyczna błędów wyniosła $0,0$, odchylenie przeciętne błędów $0,37$ m, a ich odchylenie standardowe $0,58$ m. Dla modelu [2] oszacowano parametry $i=1,605845$, $b=10,198247$ oraz $f=23,35958$. Odchylenia resztowe wysokości wahały się w zakresie od $-0,8$ do $+1,1$ m. Średnia arytmetyczna błędów wyniosła $0,0$, odchylenie przeciętne błędów $0,29$ m, a ich odchylenie standardowe $0,29$ m. Graficzne porównanie krzywych wzrostu wysokości dla różnych wartości wskaźnika bonitacji przedstawiono na rycinie 1, a odchylenia resztowe na rycinie 2.

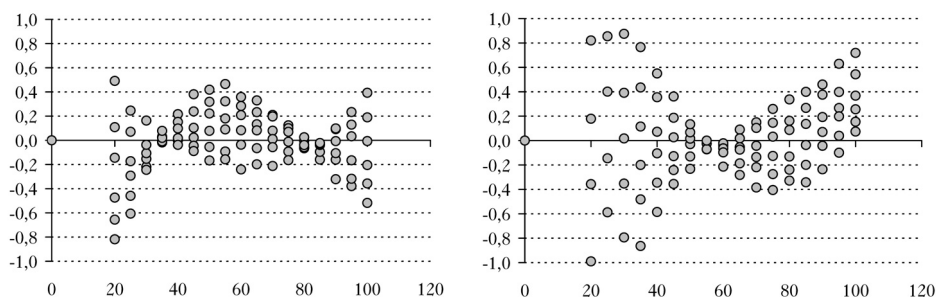
Stwierdzono, że model [1] znacznie lepiej oddaje wzrost wysokości górnej drzewostanów dąglęzjowych w Polsce, charakteryzując się o prawie połowę mniejszym błędem określania wysokości niż model [2]. Ponadto model opracowany na bazie wzoru [2] spełnia kryteria stawiane przed nowoczesnymi systemami krzywych bonitacyjnych, tzn. charakteryzuje się polimorfizmem, posiada zmienne asymptoty uzależnione od jakości siedliska, zakłada równość wskaźnika bonitacji i wysokości określonej w wieku bazowym oraz daje możliwość teoretycznej interpretacji parametrów [Socha, Orzeł 2011]. Ostatecznie system krzywych bonitacyjnych dla dąglęzi na podstawie tablic Bergela, pozwalający określić wskaźnik bonitacyjny SI na podstawie wieku drzewostanu W i jego wysokości górnej H , można przedstawić wzorem:



Ryc. 1.

Bonitacja uzyskana modelem [1] (z lewej) i [2] (z prawej) na tle danych z tablic Bergela dla wskaźnika bonitacji od 34 do 48 m

Site index values obtained with [1] (left) and [2] (right) models in relations to data from Bergel yield tables for site index values from 34 to 48 m



Ryc. 2.

Odchylenia resztowe modelu [1] (z lewej) i [2] (z prawej)

Residuals of [1] (left) and [2] (right) models

$$SI = H \cdot \frac{100^{1,605845} \cdot (W^{1,605845} \cdot R + e^{10,1982467})}{W^{1,605845} \cdot (100^{1,605845} \cdot R + e^{10,1982467})} \quad [5]$$

gdzie:

$$R = H - 23,35958 + \sqrt{(H - 23,35958)^2 + \frac{2 \cdot H \cdot e^{10,1982467}}{W^{1,605845}}}$$

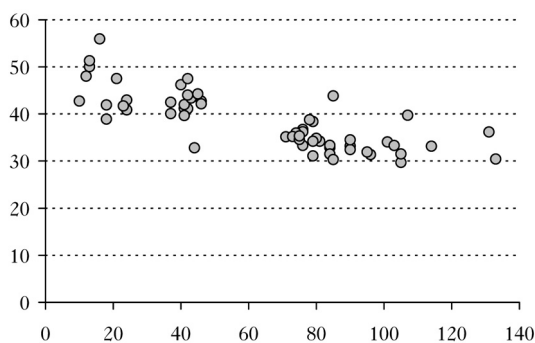
Zależność wskaźnika bonitacji określonego dla poszczególnych powierzchni za pomocą modelu [5] od wieku przedstawiono na rycinie 3.

Stwierdzono, że wraz z wiekiem przeciętna wartość wskaźnika bonitacji spada. Możliwe jest wyróżnienie dwóch istotnie różnych grup obiektów, tj. drzewostanów młodszych (I-III klasa wieku), charakteryzujących się znacznie wyższą wartością wskaźnika bonitacji (średnio 43,7 m) i starszych (VI-VII klasa wieku), o istotnie niższym wskaźniku bonitacji (średnio 34,3 m; $p < 0,0001$). Jednocześnie za pomocą testu Kruskala-Wallisa stwierdzono, że wartość wskaźnika bonitacji nie różni się istotnie między siedliskami Lśw i LMśw (wartości średnie odpowiednio 38,9 i 37,9 m; $p = 0,762$) ani krainami przyrodniczo-leśnymi I i III (wartości średnie odpowiednio 38,8 i 37,4; $p = 0,0825$).

Współczynnik *EN*, obliczony dla poszczególnych powierzchni doświadczalnych za pomocą wzoru [6], przyjmuje wartości od $-0,81$ do $+4,17$. Wartość tego współczynnika nie zależy od klasy wieku drzewostanu (test Kruskala-Wallisa; $p = 0,1931$), typu siedliskowego lasu ($p = 0,1083$) ani lokalizacji drzewostanu w krainie przyrodniczo-leśnej ($p = 0,9929$). Analiza regresji między wartością *EN* a wskaźnikiem bonitacji i wiekiem drzewostanu wykazała, że nie ma między tymi cechami istotnego związku liniowego (wartości *p* dla współczynników kierunkowych prostych regresji równe odpowiednio 0,185 i 0,879). Jednocześnie wskaźnik *EN* jest silnie powiązany ze wskaźnikiem zagęszczenia *SDI* ($R^2 = 0,67$).

Dla poszczególnych powierzchni badawczych określono stopień zagęszczenia, przyjmując jako punkt odniesienia zagęszczenie drzew określone na podstawie tablic dla trzebieży umiarkowanej i silnej (ryc. 4). Stwierdzono, że stopień zagęszczenia liczony według tablic dla trzebieży słabszych i silniejszych wynosi średnio odpowiednio 0,46 i 0,57 dla drzewostanów młodszych oraz 0,62 i 0,87 dla drzewostanów starszych.

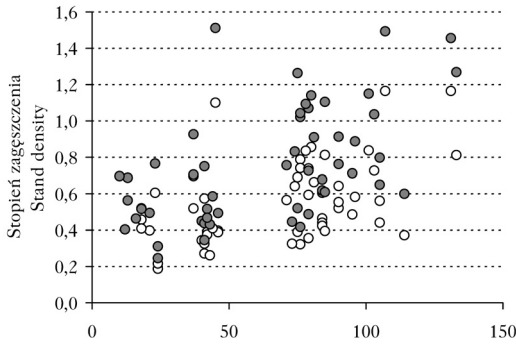
Korzystając z niezależnych danych, pochodzących z 6 stałych powierzchni doświadczalnych założonych na przełomie XIX i XX wieku przez pracowników Instytutu Badawczego Leśnictwa w Eberswalde i zamieszczonych w pracy Klimaszewskiej [1998], zbadano przebieg wskaźnika bonitacji określonego za pomocą modelu [5] w funkcji wieku. Podobną analizę przeprowadzono dla drzewostanów młodszych, wykorzystując dane z dwóch powierzchni badawczych położonych w nadleśnictwie doświadczalnym Chorin w niemieckiej Brandenburgii (ryc. 5).



Ryc. 3.

Zależności między wskaźnikiem bonitacji określonym za pomocą modelu [5] a wiekiem drzewostanu

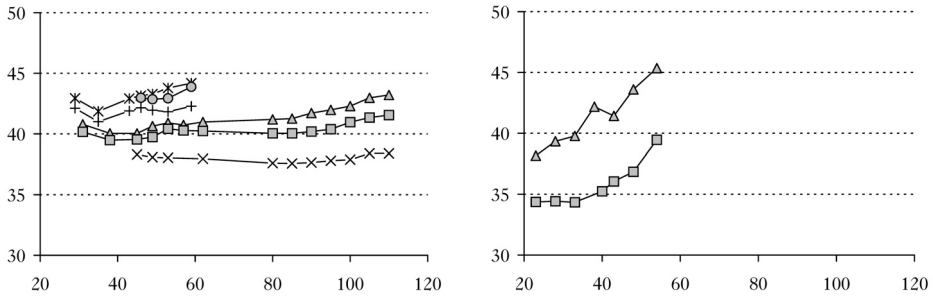
Site index determined with formula [5] in relations to stand age



Ryc. 4.

Zależność stopnia zagęszczenia względem tablic Bergela dla trzebieży umiarkowanych (białe) i silnych (szare) od wieku powierzchni referencyjnych

Relationship between Bergel yield tables based stand density index for moderate (white) and heavy (grey) thinnings and age of the reference plots



Ryc. 5.

Kształtowanie się z wiekiem wskaźnika bonitacji na stałych powierzchniach doświadczalnych zakładanych przez pracowników Instytutu Badawczego Leśnictwa w Eberswalde na terenach dzisiejszej zachodniej Polski (lewo) oraz w nadleśnictwie doświadczalnym Chorin, Brandenburgia (prawo)

Changes of site index values on permanent study plots established by Forest Research Institute in Eberswalde in present western Poland (left) and experimental forest range Chorin, Brandenburg (right)

Dyskusja

Na podstawie danych z tablic Bergela [1985] zbudowano matematyczny model bonitacyjny, który pozwala na obliczanie wysokości górnej drzewostanów dąglezjowych w dowolnym wieku na podstawie dowolnej pary pomiarów „wiek – wysokość górna”. W przypadku gdy wiekiem, dla którego określana jest wysokość, jest wiek bazowy (tu: 100 lat), obliczona na podstawie modelu wysokość jest jednocześnie wskaźnikiem bonitacji (bonitacją wzrostową) drzewostanu. Model ten został zbudowany przez jednoczesne dopasowanie do danych z wszystkich klas bonitacji, dzięki czemu można przypuszczać, że reprezentuje on dane zawarte w tablicach nawet lepiej niż oryginalne wartości – przyjęć można, iż model oparty na wspólnym opisie wszystkich danych i dopasowany równocześnie do wszystkich danych zawiera w każdym swoim punkcie informację uzyskaną na podstawie analizy całości danych i przez to jest lepszą reprezentacją modelowanego zjawiska niż pojedyncze modele [Cieszewski, Zasada 2003]. Wyjątkiem jest sytuacja, gdy zastosowany model wyjściowy jest niewystarczająco elastyczny do odpowiedniego opisanego zjawiska. Przykładem takiego modelu jest równanie [1], które można dopasować jednocześnie do wszystkich klas wieku i bonitacji, ale opisuje ono te dane gorzej niż model [2] dla tych danych. Kryterium dopasowania, czyli suma kwadratów odchyleń wartości tablicowych od linii regresji, jest w jego przypadku ponad czterokrotnie większa, a błąd standardowy 2 razy większy od analogicznych wartości dla modelu [2].

Przy niezmiennych warunkach wzrostu zakłada się, że bonitacja wzrostowa powinna być stała w funkcji wieku [Bruchwald 1979, 1986; Rymer-Dudzińska 1990; Siekierski 1991; Zasada 1995; Weiskittel i in. 2011; Dudzińska 2012], co w praktyce oznacza pokrywanie się krzywych wzrostu wysokości z modelem. Sytuacja, w której stwierdza się zależność między wskaźnikiem bonitacji i wiekiem, świadczyć może o złym doborze danych do budowy modelu [Monserud 1985; Weiskittel i in. 2011], niedopasowaniu modelu do wzrostu wysokości analizowanych drzewostanów [Socha 2010] bądź działaniu jakiegoś zjawiska lub czynnika, które modyfikują schemat wzrostu wysokości [Rymer-Dudzińska 1990]. Przeprowadzona analiza wykazała, że drzewostany młodsze (do 60 lat, a więc powstałe po II wojnie światowej) charakteryzują się istotnie wyższą średnią wartością wskaźnika bonitacji niż drzewostany starsze (ponad 60-letnie). Aby stwierdzić, jaka jest przyczyna takiego kształtowania się zależności bonitacji wzrostowej od wieku, przeprowadzono dodatkowe analizy.

Pierwsza wątpliwość dotyczy trafności doboru próby drzewostanów do analizy ich produktywności. Wydaje się, że w przypadku posługiwania się przy modelowaniu produktywności informacjami z jednorazowo mierzonych powierzchni próbnych, nawet w przypadku ich zestawienia w postaci chronosekwencji, istnieje duże ryzyko niereprezentatywności danych. Spowodowane jest to tym, że w gospodarstwach leśnych prowadzonych na zasadach, w których pierwszeństwo mają względy ekonomiczne, z jednej strony istnieje niewystarczająca reprezentacja drzewostanów starszych na lepszych siedliskach (gdyż są one użytkowane wcześniej), z drugiej zaś – nadreprezentacja młodych drzewostanów rosnących na siedliskach lepszych, gdyż te są preferowane podczas odnawiania lasu. Powoduje to, że krzywa wyrównująca wysokości (krzywa wiodąca, guide curve) będzie przechodziła za wysoko dla młodego i za nisko dla starszego wieku [Monserud 1985; Goelz, Burk 1996; Weiskittel i in. 2011]. W przypadku danych wykorzystanych w niniejszej pracy sytuacja taka nie powinna mieć miejsca. Po pierwsze, dane z powierzchni próbnych nie służyły do budowy modelu, a jedynie do określenia średniej wartości wskaźnika bonitacji. Po drugie, powierzchnie referencyjne zakładane były wyłącznie na siedliskach żyznych (LMśw i Lśw), na których daglezwia znajduje optimum wzrostu [Jaworski, Majerczyk 1975; Bellon i in. 1977; Fabianowski i in. 1980; Chylarecki 2004; Jaworski 2011]. Po trzecie, z uwagi na potrzebę podniesienia wiarygodności określenia bonitacji drzewostanów, szczególnie w przypadku młodszych klas wieku, uwzględniono również czynniki środowiskowe [West, Mattay 1993; Socha 2010]. Powierzchnie były zakładane na różnych wysokościach n.p.m. oraz w zróżnicowanych warunkami pluwiarno-termicznymi mezoregionach przyrodniczych i krainach przyrodniczo-leśnych. Po czwarte, drzewostany do badań wybrano drogą losowania bez zwracania.

Analizując zależność między wartościami wskaźnika bonitacji a wiekiem, stwierdzono, że przebieg krzywych obrazujących zmiany bonitacji wzrostowej w drzewostanach, które w dniu dzisiejszym mają ponad 100 lat (ryc. 5), jest zupełnie inny niż zależność przedstawiona na rycinie 3. Ponadto różnice między wartościami wskaźnika bonitacji dla poszczególnych powierzchni wynoszą średnio niecałe 2 m. Są to wahania stosunkowo niewielkie, zwłaszcza w porównaniu z grupami wyróżnionymi na rycinie 3, gdzie różnica między średnimi wartościami bonitacji wzrostowej wynosi prawie 10 m. Krzywe te odpowiadają również swoim kształtem zależnościom między wskaźnikiem bonitacji i wiekiem, jakie uzyskiwano podczas budowy i testowania modeli bonitacyjnych dla innych gatunków w Polsce [Zasada 1995; Bruchwald i in. 1999; Dudzińska 2012]. Oznacza to, że model zawarty w tablicach Bergela raczej dość dobrze opisuje przebieg wzrostu wysokości górnej starszych drzewostanów daglezwjowych, choć w ostatnim okresie zaobserwować można systematyczny wzrost wartości wskaźnika bonitacji. W młodszych drzewostanach następuje stały wzrost wartości wskaźnika bonitacji, szczególnie widoczny w ostatnich latach,

w okresie, który pokrywa się ze wzrostem obserwowanym w drzewostanach starszych. Przyjąc zatem można, że w ostatnich dekadach nastąpiła zmiana warunków wzrostu, odzwierciedlona w innym schemacie wzrostu wysokości niż w tablicach Bergela.

W ostatnim czasie obserwuje się w Europie zwiększony przyrost drzewostanów różnych gatunków. Bontemps i in. [2009] zauważyli zwiększony przyrost wysokości buka we Francji. Innym powodem wyższych wartości wskaźnika bonitacji w młodszych drzewostanach mogą być różnice w sposobie ich zagospodarowania. Niektóre zabiegi hodowlane mogą bowiem na trwałe zwiększyć produktywność siedliska [Weiskittel i in. 2009]. Nie bez znaczenia są również czynniki genetyczne. Drzewostany starsze powstawały często z materiału siewnego lub sadzeniowego nieznanego pochodzenia, w wielu wypadkach niedostosowanego do lokalnych warunków wzrostu. Do odnawiania drzewostanów po II wojnie światowej wykorzystywano już z reguły materiał sadzeniowy pochodzący z drzewostanów sprawdzonych w lokalnych warunkach. Nie pozostaje to bez wpływu na produktywność drzewostanów. Według Monseruda i Rehfeldta [1990] wskaźnik bonitacji może znacznie różnić się między generacjami drzewostanów. W przypadku daglezi różnice te mogą dochodzić nawet do 60%. Na tym etapie trudno jest stwierdzić, czy młodsze drzewostany w przyszłości rzeczywiście średnio będą przekraczać 40 m wieku 100 lat. Co prawda zdaniem Hanna i in. [2006] w drzewostanach dagleziowych wskaźnik bonitacji stabilizuje się w wieku około 30 lat, brak jest jednak na tym etapie danych pozwalających na weryfikację tej tezy.

Analiza zależności innych cech drzewostanów od wieku i bonitacji wskazuje, że tablice Bergela dostarczają logicznych danych, niewykazujących błędów systematycznych. Przede wszystkim brak jest zależności poziomu produktywności EN z wiekiem i wskaźnikiem bonitacji. Wskaźnik zagęszczenia SDI nie zależy od wskaźnika bonitacji ani od typu siedliskowego lasu, zaś nieznacznie (ale nieistotnie) rośnie z wiekiem. Wskaźnik SDI przyjmuje wartości między 430 a 500, i choć są to wartości o ponad 100 jednostek mniejsze niż podawane dla stanu Wyoming przez Mcmillina i Allena [2003], na powierzchniach referencyjnych nie obserwuje się symptomów prowadzenia zbyt silnych cięć.

Wnioski

- ✦ Tablice Bergela dość dobrze odzwierciedlają wzrost i strukturę drzewostanów dagleziowych w Polsce.
- ✦ W ostatnich dekadach – zarówno w drzewostanach młodszych, jak i starszych – obserwuje się wzrost wartości wskaźnika bonitacji, wskazujący na zmianę warunków wzrostu drzew. W związku z tym w drzewostanach młodszych należy z ostrożnością podchodzić do uzyskiwanych wartości wskaźnika bonitacji.
- ✦ Konieczne jest zbudowanie nowego modelu wzrostu wysokości daglezi, który uwzględni zaobserwowane zmiany w warunkach wzrostu i będzie wykorzystywał dane z młodszych drzewostanów, najlepiej mierzonych jako stałe powierzchnie badawcze.
- ✦ Mimo zastrzeżeń tablice Bergela mogą być z powodzeniem stosowane w Polsce zamiast używanych obecnie tablic zbudowanych dla innych gatunków.

Literatura

- Assmann E. 1961. Waldertragskunde, BLV Verlagsgesellschaft. München – Bonn – Wien.
- Barzdajn W. 2013. Porównanie rodów daglezi (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) w doświadczeniu w Nadleśnictwie Manowo. Sylwan 157 (3): 204-212.
- Bellon S., Tumiłowicz J., Król S. 1977. Obce gatunki drzew w gospodarstwie leśnym. PWRiL, Warszawa.
- Bergel D. 1969. Ertragskundliche Untersuchungen über die Douglasie in Nordwestdeutschland. Rozprawa doktorska. Göttingen.

- Bergel D. 1985. Douglasien-Ertragstafel für Nordwestdeutschland. Abteilung Waldwachstum der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt.
- Bergel D. 1986. Douglasien-Ertragstafel für Nordwestdeutschland 1985. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 157 (3/4): 49-59.
- Białobok S., Chylarecki H. 1965. Badania nad uprawą drzew obcego pochodzenia w Polsce w warunkach środowiska leśnego. Arboretum Kórnickie 10: 211-275.
- Biehler R. 1922. Hodowla lasu. Część ogólna z dodatkiem wykazującym normy wydajności pracy przy robotach wchodzących w zakres hodowli lasu. Trzaska, Evert i Michalski, Hotel Europejski, Warszawa.
- Bontemps J.-D., Herve J. C., Dhote J.-F. 2009. Long-term changes in forest productivity: A consistent assessment in even-aged stands. Forest Science 55: 549-564.
- Bruchwald A. 1979. Zmiana z wiekiem wysokości górnej w drzewostanach sosnowych. Sylwan 123 (2): 1-11.
- Bruchwald A. 1986. Simulation growth model MDI-1 for Scots pine. Annals of Warsaw Agricultural University – SGGW-AR, Forestry and Wood Technology 34: 47-52.
- Bruchwald A. 1988. Introductory program of the MDI-1 growth model for Scots pine. Annals of Warsaw Agricultural University – SGGW-AR, Forestry and Wood Technology 36: 3-9.
- Bruchwald A., Dudek A., Michalak K., Rymer-Dudzińska T., Wróblewski L., Zasada M. 1999. Model wzrostu dla drzewostanów świerkowych. Sylwan 143 (1): 19-31.
- Bruchwald A., Michalak K., Wróblewski L., Zasada M. 2000. Analiza funkcji wzrostu wysokości dla różnych regionów Polski. W: Przestrzenne zróżnicowanie wzrostu sosny. Fundacja „Rozwój SGGW”. 84-91.
- Chylarecki H. 1986. Ergebnisse des 100jährigen Anbaus der Douglastanne (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) FRANCO) in Polen. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 157 (9): 165-175.
- Chylarecki H. 2004. Daglezja w lasach Polski. Bogucki Wyd. Naukowe, Poznań.
- Cieszewski C. J., Zasada M. 2002. Dynamiczna forma anamorficznego modelu bonitacyjnego dla sosny pospolitej w Polsce. Sylwan 146 (7): 17-24.
- Cieszewski C. J., Zasada M. 2003. Model bonitacyjny dla sosny na podstawie tablic zasobności Szymkiewicza. Sylwan 147 (1): 51-62.
- Curtis R. O. 1992. A new look at an old question – Douglas-fir culmination age. Western J. Applied Forestry 7 (4): 97-99.
- Curtis R. O., Clendenen G. W., Reukema D. L., DeMars D. J. 1982. Yield tables for Managed stands of coast Douglas-fir. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. PNW 128.
- Decourt N. 1962. Douglasien-Ertragstafel Frankreich. W: Vannier B. Tables de production pour le forêts françaises. ENGREF, Nancy.
- Dudzińska M. 2012. Model wzrostu wysokości buków rosnących w drugim piętrze drzewostanów bukowo-sosnowych. Sylwan 156 (5): 343-348.
- Forestry Commission. 1928. Growth and Yield of Conifers in Great Britain. Bull. 10.
- Gerhardt E. 1926. Über die Bestandswachstumsverhältnisse der grünen Douglasie. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung: 6-15.
- Goelz J. C. G., Burk T. E. 1996. Development of well-behaved site index equation: Jack pine in north central Ontario. Canadian Journal of Forest Research 22: 776-784.
- Hamilton G. J., Christie J. M. 1971. Forest Management Tables (metric). London.
- Hann D. W., Marshall D. D., Hanus M. L. 2006. Re-analysis of the SMC-OGANON equations for diameter-growth rate, height-growth rate, and mortality rate Douglas fir. Contribution 49. OSU, Forest Research Laboratory, Corvallis, OR.
- Hanzlik E. J. 1914. A study of the growth and yield of Douglas fir on various soil qualities in western Washington and Oregon. Forestry Quarterly 12: 440-451.
- Hengst E. 1956. Die Douglasie 1954, eine ertragskundliche und waldbauliche Untersuchung in den mittleren Lagen Deutschlands. Rozprawa doktorska. Tharandt.
- Hengst E. 1958. Ertragskundliche Untersuchungen der Douglasie in Sachsen, Thüringen und im Harz. W: Göhre K. [red]. Die Douglasie und ihr Holz, Akademie Verlag Berlin. 21-75.
- Jaworski A. 2011. Hodowla lasu. Charakterystyka hodowlana drzew i krzewów leśnych. PWRiL, Warszawa.
- Jaworski A., Majerczyk K. 1975. Ocena przydatności gospodarczej ważniejszych gatunków drzew leśnych obcego pochodzenia w lasach krynickich. Sylwan 119 (11): 41-56.
- Kanzow H. 1937a. Die Douglasie. Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen 69 (2): 65-93.
- Kanzow H. 1937b. Die Douglasie. Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen 69 (3): 113-119.
- Kanzow H. 1937c. Die Douglasie. Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen 69 (5): 241-271.
- Karlberg S. 1961. Douglasien-Ertragstafel. W: Stat. Forstl. Forsögsv. Skovbrugstabeller. Kopenhagen.
- Kenk G., Hradetzky J. 1984. Behandlung und Wachstum der Douglasien in Baden-Württemberg. Wyd. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg.
- Klimaszewska J. 1998. Model wzrostu dla daglezji. Praca magisterska. Samodzielna Pracownia Dendrometrii i Nauki o Produktyności Lasu, Wydział Leśny SGGW w Warszawie.
- Long J. N. 1985. A practical approach to density management. Forest Chronicle 61: 23-37.

- McArdle R. E., Meyer W. H. 1930. The yield of Douglas-fir in the Pacific Northwest. Washington, DC. USDA Forest Service Tech. Bul. 201: 64.
- McArdle R. E., Meyer W. H., Bruce D. 1949. The yield of Douglas fir in the Pacific Northwest. Washington, DC. USDA Forest Service Tech. Bul. 201: 72.
- McMillin J. D., Allen K. K. 2003. Effects of Douglas-firbeetle (*Coleoptera: Scolytidae*) infestations on forest overstory and understory conditions in western Wyoming. *Western North American Naturalist* 63 (4): 498-506.
- Miklaszewski J. 1928. Lasy i leśnictwo w Polsce. Tom I. Zakłady Graficzne „Nasza Drukarnia”, Warszawa.
- Monserud R. A. 1985. Comparison of Douglas fir site index and height growth curves in the Pacific Northwest. *Canadian Journal of Forest Research* 15: 673-679.
- Monserud R. A., Rehfeld G. E. 1990. Genetic and environmental components of variation of site index in inland DF. *Forest Science* 36: 1-9.
- Munger T. T. 1911. The growth and management of Douglas fir in the Pacific Northwest. Washington, DC. USDA Forest Service Circ. 175: 27.
- Munns E. N. 1926. Methods of preparing volume and yield tables: report of the committee on standardization of volume and yield tables. *Journal of Forestry* 24 (6): 653-666.
- Potapiuk M. 1994. Kształtowanie się struktury drzewostanu dąglazjowego na stałej powierzchni doświadczalnej w Nadleśnictwie Bystrzyca Kłodzka. Praca magisterska. Samodzielna Pracownia Dendrometrii i Nauki o Produktowności Lasu, Wydział Leśny SGGW w Warszawie.
- Reineke L. H. 1933. Perfecting a stand-density index for even-aged forest. *Journal of Agricultural Research* 46: 627-638.
- Rymer-Dudzińska T. 1990. Change of the height growth rate in pine stands growing under the influence of industrial emissions. *Ann. Warsaw Agric. Univ. – SGGW-AR, For. and Wood Technol.* 40: 19-25.
- Sagan J. 2014. Historia, stan i perspektywy hodowli dąglazji zielonej (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) w Polsce. Praca doktorska. Samodzielna Pracownia Dendrometrii i Nauki o Produktowności Lasu, Wydział Leśny SGGW w Warszawie.
- Sagan J., Wilczyński S., Tomusiak R., Potocki M., Zasada M. 2013. Do dąglazji trzeba przekonać. *Las Polski* 6.
- Schwappach A. 1920. Beiträge zur Kenntnis der Wachstumsleistungen von *Pseudotsuga Douglasii*. *Deutsche Dendrologische Gesellschaft*: 262-269.
- Siekierski K. 1991. An individual tree based growth model for mixed Norway spruce – Scots pine stands in north-eastern Poland. *Ann. Warsaw Agric. Univ. – SGGW, For. and Wood Technol.* 42: 7-11.
- Sika A., Vins B. 1980. Growth of Douglas fir in forest stands in Bohemia and Moravia. *Prace Vyzkumneho Ustavu Lesního Hospodarství a Myslivosti* 57: 73-95.
- Socha J. 2010. Metoda modelowania potencjalnych zdolności produkcyjnych świerka w górach. *Zeszyty naukowe UR im. Hugona Kołłątaja w Krakowie* 461.
- Socha J., Orzeł S. 2011. Dynamiczne krzywe bonitacyjne dla drzewostanów sosnowych Puszczy Niepołomickiej. *Sylvan* 155 (5): 301-312.
- Socha J., Zasada M. 2014. Zagęszczenie i dynamika procesu wydzielania drzew w młodocianych drzewostanach brzoźowych na gruntach porolnych. *Sylvan* 158 (5): 340-351.
- Szymanowski T. 1959. Zagadnienie aklimatyzacji obcych drzew w Polsce. *Ochrona Przyrody* 26: 261-319.
- Szymkiewicz B. 2001. Tablice zasobności i przyrostu drzewostanów ważniejszych gatunków drzew leśnych. PWRiL, Warszawa.
- Weiskittel A. R., Hann D. W., Kershaw J. A., Vanclay J. K. 2011. *Forest growth and yield modeling*. Wiley-Blackwell, Chichester.
- West P. W. 2004. *Tree and forest measurement*. Springer Verlag, Berlin – Heidelberg.
- West P. W., Mattay J. P. 1993. Yield prediction models and comparative growth rates for six eucalypt species. *Australian Forests* 56: 211-225.
- Vacchiano G., Motta R., Long J., Shaw J. 2008. A density management diagram for Scots pine (*Pinus sylvestris* L.): A tool for assessing the forest's protective effect. *Forest Ecology and Management* 255: 2542-2554.
- Zasada M. 1995. Empiryczny model wzrostu wysokości jodły. *Sylvan* 129 (5): 71-78.
- Zasada M. 2000. Porównanie różnych tablic zasobności dla jodły. *Sylvan* 144 (2): 79-98.
- Zeide B. 2005. How to measure stand density. *Trees* 19: 1-14.