

SZYMON BIJAK

Zróźnicowanie bonitacji wzrostowej drzewostanów dąglazjowych w Polsce*

Variability of the site index of Douglas fir stands in Poland

ABSTRACT

Bijak S. 2017. Zróźnicowanie bonitacji wzrostowej drzewostanów dąglazjowych w Polsce. Sylwan 161 (3): 208-217.

The objective of the study was to analyse the site index (SI) of Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*) stands in relation to the forest habitat type, soil type and relief characteristics. We utilised information available in the Information System of the State Forests in Poland that included selected parameters describing habitat conditions and dendrometric characteristics of Douglas fir stands. In total, processed data referred to 863 stands with a total area of 1,644.45 ha. As the SI distribution was not consistent with the normal one (Shapiro-Wilk test, $p < 0.0001$) we applied Kruskal-Wallis or Mann-Whitney tests to assess the significance of observed differences. Site index of surveyed stands ranged from 19.9 to 47.8 m, 32.6 m on average (standard deviation of 3.3 m). Douglas fir in northern and southern Poland characterized by higher SI than in western and south-western part of the country ($H_{K-W}=83.5$; $p < 0.001$; fig. 2). Forest habitat type significantly distinguished analysed stands ($H_{K-W}=30.1$; $p < 0.001$). The highest SI values were observed for mixed deciduous habitats (fig. 3). For more fertile fresh deciduous habitats Douglas fir achieved slightly lower site index, while the least fertile mixed coniferous habitats are characterized by significantly lower SI. Habitat moisture variant had no significant effect on the average SI values ($H_{K-W}=2.6$; $p=0.269$). The highest values were found in strongly fresh habitats (32.8 ± 4.1 m), while the lowest in the humid variant (31.7 ± 3.4 m). We found significant influence of soil type ($H_{K-W}=23.2$, $p < 0.001$) even though the average SI values for each category were relatively similar (fig. 4). The highest values were observed for Cambisols (33.3 ± 3.7 m), while the lowest for Arenosols (32.1 ± 3.0 m). Particle size distribution is an important factor for Douglas fir site index (tab.). We found that the heavier material (the higher the content of silt and clay), the significantly higher SI values ($H_{K-W}=16.9$; $p=0.001$). Mean SI for stands growing on former farmlands (32.0 ± 3.3 m) and on forest areas (32.7 ± 3.3 m) were not significantly different ($Z_{M-W}=1.73$; $p=0.084$). There was no significant effect of the relief forms on site index surveyed Douglas fir stands apart from the fact that stands growing on slopes are characterized by significantly higher SI ($Z_{M-W}=1.99$; $p=0.047$).

KEY WORDS

site index, soil type, forest site type, relief features, *Pseudotsuga menziesii*

ADDRESSES

Szymon Bijak – e-mail: szymon.bijak@wl.sggw.pl

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

*Praca powstała w ramach projektu „Ekologiczne, gospodarcze i urzędzeniowe konsekwencje występowania wybranych gatunków drzew obcych w Polsce” finansowanego przez Dyрекcję Generalną Lasów Państwowych.

Wstęp

Dendroflora środkowoeuropejskich lasów jest dość uboga pod względem gatunkowym, nie dziwią więc próby zwiększenia puli gatunków dostępnych gospodarce leśnej. Mimo że wprowadzanie obcych gatunków drzew nie jest już jednym z paradygmatów leśnictwa w Polsce, należy posiadać możliwie dokładną i szeroką wiedzę o ich przystosowaniu do środowiska w miejscu, gdzie są wprowadzane, oraz interakcjach z lokalnymi warunkami środowiskowymi. Z punktu widzenia gospodarki leśnej ważna jest kwestia wpływu lokalnych warunków siedliskowych na parametry wzrostowe i produkcyjne wprowadzanych gatunków.

Daglezja zielona (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) należy obok dębu czerwonego i robinii akacjowej do obcych gatunków drzew najbardziej rozpowszechnionych w polskich lasach [Gazda, Augustynowicz 2012]. Została introdukowana w połowie XIX wieku i aktualnie występuje na terenie 383 nadleśnictw, we wszystkich regionalnych dyrekcjach Lasów Państwowych. Według danych z Systemu Informatycznego Lasów Państwowych gatunek ten stwierdzono w ponad 26 tysiącach wydzieleń drzewostanowych, których łączna powierzchnia rzeczywista, czyli ważona udziałem daglezji, wynosi ponad 7850 ha. W Lasach Państwowych jest 1159 drzewostanów z dominującym udziałem tego gatunku i zajmują one 1726 ha powierzchni rzeczywistej.

Jakość siedliska może być zdefiniowana jako suma wszystkich czynników ekologicznych wpływających na jego zdolność do produkowania drewna i innej roślinności lub jako maksymalna ilość drewna możliwa do uzyskania w danym miejscu w danym czasie [Skovsgaard, Vanclay 2008, 2013]. Najczęściej wykorzystywaną i najszerzej akceptowaną obecnie w praktyce leśnej miarą jakości i potencjalnej zdolności produkcyjnej siedliska jest wskaźnik bonitacji (ang. site index, SI). Określany jest on przeważnie jako wysokość, jaką osiągnie, lub osiągnął, drzewostan w przyjętym wieku bazowym [Burkhart, Tome 2011; Socha i in. 2015; Zasada i in. 2015].

Do ustalenia bonitacji można wykorzystać metody fito- lub geocentryczne [Skovsgaard, Vanclay 2008, 2013; Socha i in. 2014]. W przypadku pierwszej grupy do oszacowania bonitacji wykorzystuje się cechy roślinności, którymi są liczbowe parametry opisujące drzewostan [Socha 1997; Sharma i in. 2012; Socha i in. 2015]. Najczęściej są to wiek i wysokość górna drzewostanu (np. wysokość stu najgrubszych drzew na hektarze). Jednakże to podejście ma zasadnicze ograniczenia, gdyż powinno być stosowane jedynie do drzewostanów jednowiekowych lub o bardzo niewielkim zróżnicowaniu wieku. Dodatkowo znaczne błędy w wyznaczaniu wartości wskaźnika bonitacji uzyskuje się dla drzewostanów młodych lub o zróżnicowanym składzie gatunkowym [Skovsgaard, Vanclay 2008; Sharma i in. 2012]. Pewnym rozwiązaniem tych problemów może być zastosowanie do wyznaczania bonitacji metod geocentrycznych, w których parametr ten wyraża się przez charakterystyki siedliska (klimat, topografia, gleba) [Johansson 1995; Socha 2008; Bošela i in. 2011, 2013]. Uniezależnia to ocenę produktywności od cech drzewostanu, przez co możliwe staje się określenie potencjału danego siedliska dla gatunków niewystępujących na danym obszarze [Socha i in. 2014]. W przypadku tego podejścia zwraca się jednak uwagę na niepewność, jaką obarczona jest diagnoza zdolności produkcyjnych oparta tylko na właściwościach gleby i klimatu [Socha, Orzeł 2011, 2013; Skovsgaard, Vanclay 2013; Littke i in. 2016]

Badania nad bonitacją drzewostanów daglezjowych prowadzono przede wszystkim w naturalnym zasięgu występowania tego gatunku w Ameryce Północnej [King 1966; Nigh 1997; Flewelling i in. 2001; Temesgen, von Gadov 2004]. Dla polskich warunków oceniono jedynie przydatność niemieckich tablic Bergela do określania bonitacji drzewostanów daglezjowych [Zasada i in. 2015].

Kształtowaniem się bonitacji drzewostanów w zależności od zróżnicowanych warunków siedliskowych nauki leśne zajmują się od dawna. W Polsce zagadnienie to dla sosny analizowali Borowiec [1957], Bruchwald i Kliczkowska [1997], Sewerniak [2012a, b, 2013, 2016] oraz Pietrzykowski i in. [2015]. W przypadku górskich drzewostanów świerkowych relacji między siedliskiem a bonitacją szukali Socha [1998, 2008] oraz Kliczkowska i Bruchwald [2000]. Dla buka analizy takie przeprowadzili Socha i in. [2014]. Zależność bonitacji dąglezji od czynników środowiskowych badano we Włoszech [Corona i in. 1998], Francji [Curt i in. 2001], Portugalii [Fontes i in. 2003], Irlandii [Dunbar i in. 2002] i Szkocji [Tyler i in. 1996], a przede wszystkim w naturalnym zasięgu występowania tego gatunku [Radwan, Shumway 1984; Green i in. 1989; Carter, Klinka 1990; Klinka, Carter 1990; Monserud i in. 1990; Waring i in. 2006; Coops i in. 2007, 2010; Coops, Hember 2009]. Brak natomiast badań, które oceniałyby wpływ warunków siedliskowych na bonitację drzewostanów obcych gatunków drzew w Polsce.

Celem pracy było przedstawienie kształtowania się bonitacji wzrostowej drzewostanów dąglezjowych w odniesieniu do siedliskowych typów lasu, taksonów gleb i elementów rzeźby terenu.

Materiał i metody

W pracy wykorzystano informacje dostępne w bazach danych Systemu Informatycznego Lasów Państwowych i dotyczące wybranych parametrów opisujących warunki siedliskowe oraz charakterystyki dendrometryczne drzewostanów dąglezji zielonej (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco). Pozyskano dane na temat siedliskowego typu lasu i stopnia jego uwilgocenia, taksonów gleb (typu, podtypu i gatunku), cech rzeźby terenu, na którym rosły drzewostany (rodzaj, kategoria i wystawa stoku), oraz wieku i wysokości dąglezji. Uzyskane dane przefiltrowano, pozostawiając drzewostany o udziale dąglezji w składzie gatunkowym $\geq 50\%$ oraz z tym gatunkiem występującym w I piętrze drzewostanu. Wybrano te RDLP, w których stwierdzono ponad 30 drzewostanów dąglezjowych, zajmujących łącznie ponad 50 ha. Wyeliminowano rekordy zawierające przypadki rzadkich typów i podtypów gleb oraz przypadki pojedynczych siedliskowych typów lasu.

Do analiz użyto danych dotyczących 863 drzewostanów o łącznej powierzchni 1644,45 ha. Najwięcej (31,5%) z nich znajdowało się na terenie RDLP Szczecin. Zajmowały one 546,69 ha, co stanowiło 33,2% powierzchni wszystkich wybranych drzewostanów. Siedliska lasów mieszanych i lasów były najczęściej zajmowanym typem siedliskowym lasu (odpowiednio 48,3 i 30,9% liczby oraz 45,0 i 32,1% całkowitej powierzchni), a najczęstszym wariantem wilgotnościowym były siedliska świeże (77,3% przypadków). Wśród typów gleb dominowały gleby rdzawe i gleby brunatne (odpowiednio 42,2 i 32,4% liczby oraz 43,6 i 33,2% całkowitej powierzchni). Drzewostany na glebach porolnych zajmowały niecałe 310 ha (18,8%). Informacja o kategorii i nachyleniu stoku była dostępna jedynie dla niecałych 17% drzewostanów.

Do wyznaczenia bonitacji (SI) badanych drzewostanów dąglezjowych, definiowanej jako wysokość górna w wieku bazowym wynoszącym 100 lat, zastosowano model opracowany przez Sochę i in. [2015]:

$$R = H - 44,68 + \sqrt{(H - 44,68)^2 + \frac{1,428818 \cdot H}{w^{1,85}}}$$

gdzie:

H – wysokość drzewostanu w danym wieku [m],

w – wiek drzewostanu [lata].

Obliczona powyższym wzorem bonitacja wzrostowa drzewostanów dagleźjowych w istotny sposób była skorelowana z ich wiekiem (ryc. 1). Zwraca też uwagę różnica między drzewostanami I-III oraz IV i starszych klas wieku. Średnia wartość bonitacji dla drzewostanów młodszych wynosiła 34,5 m i była istotnie wyższa niż wskaźnik dla drzewostanów starszych (33,0 m; $p < 0,0001$). W celu usunięcia zależności wartości SI od wieku drzewostanu obliczono skorygowane wartości wskaźnika bonitacji według metodyki opisywanej przez Sewerniaka [2011] oraz Sochę i in. [2016]. Jako funkcję wyrównującą zastosowano równanie:

$$SI = 34,744 \cdot \exp \frac{(w-46,276)^2}{44598,8978}$$

gdzie:

w – wiek [lata].

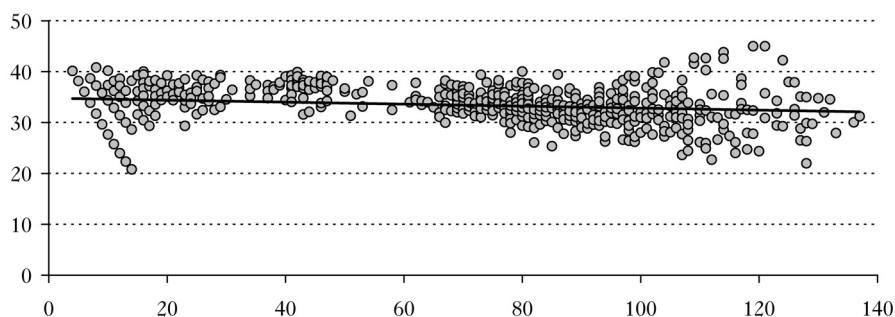
Uzyskany w powyższy sposób wskaźnik bonitacji jest niezależny od wieku drzewostanu ($r=0,0063$; $p=0,8545$). Różnice między wartościami SI, które można zauważyć dla drzewostanów w tym samym wieku, spowodowane są zatem czynnikami kształtującymi wzrost dagleźji, w tym analizowanymi w tej pracy parametrami opisującymi warunki siedliskowe.

Ponieważ rozkład skorygowanych wartości SI nie jest zgodny z rozkładem normalnym (test Shapiro-Wilka, $p < 0,0001$), to do określenia wpływu siedliskowego typu lasu, stopnia jego uwilgocenia, typu, gatunku i rodzaju gleby oraz cech rzeźby terenu na wskaźnik bonitacji drzewostanów dagleźjowych użyto nieparametrycznego testu Manna-Whitneya (porównania dwóch średnich) lub Kruskala-Wallisa (porównania wielu średnich). Obliczenia wykonano w programie PAST 3.14 [Hammer i in. 2001].

Wyniki

Bonitacja wzrostowa badanych drzewostanów dagleźjowych wahała się od 19,9 do 47,8 m, średnio wynosząc 32,6 m (odchylenie standardowe 3,3 m). Rozkład tej charakterystyki cechował się nieznaczną skośnością dodatnią (współczynnik asymetrii 0,187) oraz wyraźną smukłością (kurtoza 2,37).

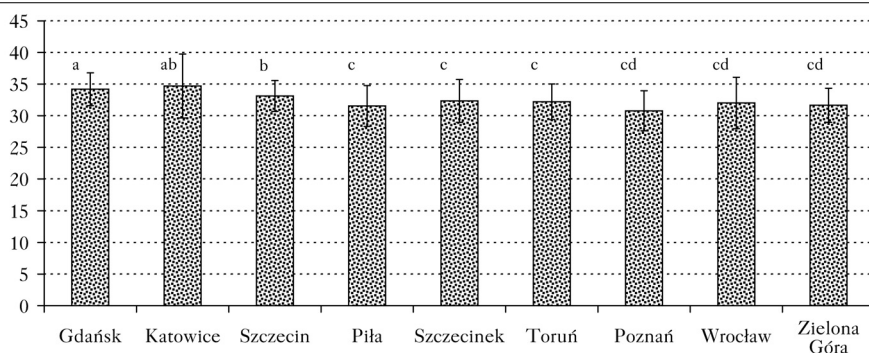
Lokalizacja drzewostanu istotnie wpływała na średnią bonitację dagleźji ($H_{K-W}=83,5$; $p < 0,001$). Drzewostany z północnej Polski (RDLP Gdańsk, Szczecinek i Szczecin) oraz z RDLP Katowice cechowały się wyższą bonitacją niż drzewostany z zachodniej i południowo-zachodniej części kraju (ryc. 2). Najwyższe wartości bonitacji wzrostowej stwierdzono dla drzewostanów rosnących w RDLP Katowice i Gdańsk (odpowiednio $34,7 \pm 5,1$ m oraz $34,2 \pm 2,6$ m), a najniższe obserwowano w przypadku RDLP Poznań ($30,8 \pm 3,2$ m).



Ryc. 1.

Zależność wskaźnika bonitacji wzrostowej [m] drzewostanów dagleźjowych od wieku
Relationship between site index [m] of Douglas fir stands and their age

Również siedliskowy typ lasu jest czynnikiem istotnie różnicującym bonitację drzewostanów dąglazjowych ($H_{K,W}=30,1$; $p<<0,001$). W gradiencie żyznościowym BM-LM-L najwyższe wartości obserwuje się na siedliskach lasu mieszanego (ryc. 3). Na żyzniejszych siedliskach lasowych dąglazja uzyskuje nieznacznie niższą bonitację, natomiast najmniej żyzne z wymienionych siedliska boru mieszanego cechują się istotnie niższą od pozostałych grup siedliskowych bonitacją wzrostową tego gatunku ($31,3 \pm 3,1$ m). W obrębie lasu mieszanego wartości wskaźnika bonitacji wzrastają w układzie siedliska nizinne – wyżynne – górskie, jednakże jedynie bonitacja dąglazji rosnącej na LMG istotnie różni się od wartości stwierdzonych w pozostałych wariantach LM. W przypadku siedlisk lasowych nie zaobserwowano istotnych różnic między wariantami nizinnymi, wyżynnymi i górkimi. Wariant uwilgocenia siedliska nie wpływał w istotny sposób na średnie wartości bonitacji dąglazji ($H_{K,W}=2,6$; $p=0,269$). Najwyższe wartości stwierdzono na siedliskach silnie świeżych ($32,8 \pm 4,1$ m). W wariantcie świeżym średnia bonitacja wynosiła $32,5 \pm 3,1$ m, a w wariantcie wilgotnym – $31,7 \pm 3,4$ m.

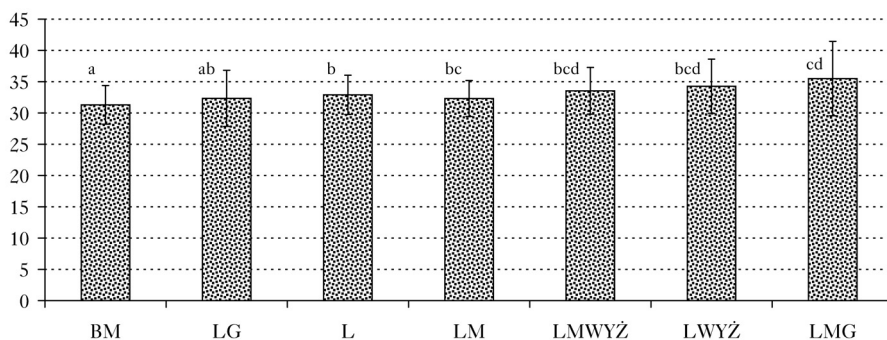


Ryc. 2.

Średnia (słupki) \pm odchylenie standardowe (wąs) bonitacja wzrostowa [m] drzewostanów dąglazjowych w poszczególnych RDLP

Mean (bar) \pm standard deviation (whisker) site index [m] of Douglas fir stands with regard to regional directorate of the State Forests

ta sama litera oznacza brak istotnych różnic przy $p=0,05$; the same letter indicates lack of significant differences at $p=0,05$



Ryc. 3.

Średnia (słupki) \pm odchylenie standardowe (wąs) bonitacja wzrostowa [m] drzewostanów dąglazjowych w zależności od siedliskowego typu lasu

Mean (bar) \pm standard deviation (whisker) site index [m] of Douglas fir stands with regard to the forest site types

ta sama litera oznacza brak istotnych różnic przy $p=0,05$; the same letter indicates lack of significant differences at $p=0,05$; BM – lowland mesotrophic, LM – lowland oligotrophic, LMWYŻ – upland oligotrophic, LMG – mountain oligotrophic, L – lowland eutrophic, LWYŻ – upland eutrophic, LG – mountain eutrophic

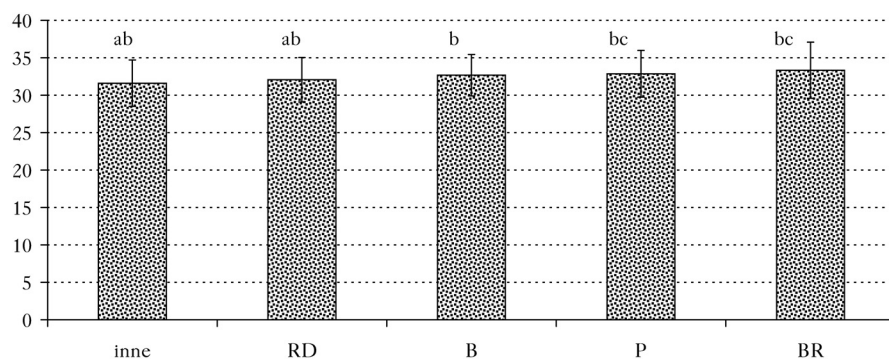
Stwierdzono istotny wpływ typu gleby na bonitację drzewostanów dąglęzjowych ($H_{K-W}=23,2$; $p<0,001$), mimo że średnie wartości dla poszczególnych kategorii były zbliżone (ryc. 4). Najwyższą średnią bonitację zaobserwowano dla gleb brunatnych ($33,3 \pm 3,7$ m), a najniższą dla gleb rdzawych ($32,1 \pm 3,0$ m) oraz zbiorczej kategorii „inne” ($31,6 \pm 3,1$ m), obejmującej pojedyncze przypadki z szerokiej gamy typów i podtypów gleb, na których rośnie dąglęzja. W obrębie gleb brunatnych najniższą bonitacją drzewostanów dąglęzjowych cechowały się gleby brunatne bielcowe ($32,1 \pm 3,0$ m) i gleby szarobrunatne ($32,1 \pm 0,9$ m), a najwyższą i istotnie różną od pozostałych podtypów – nieopisane co do podtypu gleby brunatne ($35,2 \pm 4,7$ m). W przypadku gleb płowych najniższą bonitację stwierdzono dla podtypu gleb płowych bielcowych ($31,1 \pm 1,9$ m), a najwyższą i istotnie różną od pozostałych podtypów – dla płowych brunatnych ($34,2 \pm 3,1$ m). Podtyp gleb rdzawych nie różnicował istotnie bonitacji dąglęzji. Najniższe wartości odnotowano dla gleb rdzawych bielcowych ($31,5 \pm 3,2$ m), a najwyższe – rdzawych brunatnych ($32,5 \pm 2,8$ m).

Skład granulometryczny gleby ma istotne znaczenie dla bonitacji drzewostanów dąglęzjowych (tab.). Stwierdzono, że im cięższy materiał (większa zawartość części spławialnych), tym istotnie wyższa jest bonitacja dąglęzji ($H_{K-W}=16,9$; $p=0,001$). Z kolei zróźnicowanie w obrębie frakcji piaszczystej nie wpływało w istotny sposób na analizowany parametr ($H_{K-W}=3,1$; $p=0,208$). Również pochodzenie gruntów nie miało wpływu na bonitację wzrostową dąglęzji. Średnie wartości dla drzewostanów rosnących na gruntach porolnych ($32,0 \pm 3,3$ m) i leśnych ($32,7 \pm 3,3$ m) nie różniły się istotnie ($Z_{M-W}=1,73$; $p=0,084$).

Nie zaobserwowano istotnego wpływu rzeźby terenu na wskaźnik bonitacji wzrostowej badanych drzewostanów dąglęzjowych. Lokalizacja drzewostanu na terenie górskim, wyżynnym czy nizinnym nie przekładała się na istotnie wyższą lub niższą wartość SI ($H_{K-W}=3,6$; $p=0,162$). Stwierdzono jedynie, że drzewostany rosnące na stoku cechują się istotnie wyższą bonitacją wzrostową dąglęzji niż pozostałe ($Z_{M-W}=1,99$; $p=0,047$). Jednakże ani stopień nachylenia, ani ekspozycja stoku nie różnicowały badanych drzewostanów pod kątem wartości SI (odpowiednio $H_{K-W}=4,9$; $p=0,298$ oraz $H_{K-W}=8,3$; $p=0,308$).

Dyskusja

Wiarygodna i precyzyjna ocena możliwości produkcyjnych danego gatunku w konkretnych warunkach siedliskowych ma kluczowe znaczenie dla podejmowania decyzji hodowlanych. Jest to



Ryc. 4.

Średnia (słupek) \pm odchylenie standardowe (wąs) bonitacja wzrostowa [m] drzewostanów dąglęzjowych w zależności od typu gleby

Mean (bar) \pm standard deviation (whisker) site index [m] of Douglas fir stands with regard to regional soil type
 ta sama litera oznacza brak istotnych różnic przy $p=0,05$; the same letter indicates lack of significant differences at $p=0,05$; B – Podzols, BR – Cambisols, P – Luvisols, RD – Arenosols, inne – other types

Tabela.

Średnia (M), najniższa (min) i najwyższa (max) oraz odchylenie standardowe (SD) bonitacji [m] drzewostanów dąglęzjowych w zależności od gatunku gleby (n – liczba przypadków)

Mean (M), minimum (min), maximum (max) and standard deviation (SD) of site index [m] for Douglas fir stands with regard to particle size (n – number of records)

	n	M	min	max	SD
Piasek Sand	140	31,9	23,1	39,2	2,7
Piasek gliniasty Loamy sand	13	31,3	24,9	37,2	3,1
Piasek słabo gliniasty Fine loamy sand	57	31,8	24,8	39,2	2,8
Piasek luźny Loose sand	70	32,2	23,1	37,2	2,6
Pył Silt	8	39,6	28,8	47,5	6,9
Gлина Loam	26	33,8	28,4	40,5	3,2
Ил Clay	7	36,0	27,5	45,3	7,5

szczególnie istotne w kontekście obserwowanych zmian klimatu i ich potencjalnego oddziaływania na ekosystemy leśne [Chmura i in. 2010; Isaac-Tenton i in. 2014; Bolibok i in. 2016]. W niniejszej pracy oceniono wpływ siedliskowego typu lasu, stopnia jego uwilgocenia, typu gleby oraz cech rzeźby terenu na wskaźnik bonitacji wzrostowej drzewostanów dąglęzi zielonej. Poznanie tych zależności umożliwi właściwe wykorzystanie potencjału produkcyjnego tego gatunku, tym bardziej że zakres warunków klimatycznych w naturalnym zasięgu występowania dąglęzi pozwala na jej hodowlę na całym obszarze Polski [Isaac-Tenton i in. 2014]. Dodatkowo jest to istotne ze względu na wysoką odziedziczalność cech o znaczeniu hodowlanym i ekonomicznym, jaką charakteryzuje się ten gatunek [Barzdajn 2013].

Uzyskane wartości bonitacji, a więc wysokości górnej drzewostanu w wieku bazowym 100 lat, wskazują na wysoki potencjał produkcyjny dąglęzi na terenie Polski w porównaniu z gatunkami rodzimymi, co stwierdzano we wcześniejszych badaniach tego gatunku [Barzdajn, Wesoły 1975; Chylarecki 1976, 2004; Barzdajn 2013]. Jednakże porównując otrzymane wyniki ($SI_{maks} = 47,8$ m) z danymi zawartymi w tablicach zasobności opracowanymi dla dąglęzi w różnych krajach, zauważa się zdecydowanie niższą bonitację osiąganą przez ten gatunek w Polsce niż w naturalnym zasięgu występowania na zachodzie Ameryki Północnej czy w Europie Zachodniej [Zasada i in. 2015].

Mimo że wykorzystany w pracy wskaźnik bonitacji nie zależał istotnie od wieku drzewostanu, to można zauważyć dość wyraźny podział na drzewostany młodsze i starsze, z granicą w wieku około 60 lat (ryc. 1). Średnia bonitacja drzewostanów młodszych jest istotnie wyższa niż wskaźnik dla drzewostanów starszych. Podobną prawidłowość zauważyli Zasada i in. [2015]. Być może przyczyną jest zmiana sposobu gospodarowania lub źródła pochodzenia nasion wykorzystywanych przy odnowieniu. Jak wskazują wyniki badań porównawczych rodów dąglęzi w doświadczeniu w Nadleśnictwie Manowo, pochodzenie materiału sadzeniowego ma wpływ na osiągnięte przez dąglęzję wymiary [Barzdajn 2013]. Również Isaac-Tenton i in. [2014] stwierdzili znaczne zróżnicowanie wysokości uzyskiwanej przez różne proveniencje w testach pochodzeniowych prowadzonych w całej Europie.

Stwierdzony w niniejszej pracy istotny wpływ żyzności siedliska na bonitację dąglezji znajduje potwierdzenie w literaturze. Jak na podstawie wieloletnich doświadczeń w Brandenburgii podaje Panka [2012], chcąc osiągnąć wysoką produktywność tego gatunku, nie powinno się wprowadzać dąglezji na siedliskach uboższych od lasu mieszanego. Także i w Polsce drzewostany z siedlisk borowych cechowały się niższą potencjalną produktywnością niż te rosnące na siedliskach żyzniejszych. Nigh [2006] podaje, że również w Kolumbii Brytyjskiej (Kanada) dąglezja osiąga istotnie wyższą bonitację na stanowiskach zasobniejszych. Podobne obserwacje dla Masywu Centralnego we Francji poczynili Curt i in. [2001].

Wiele prac podkreśla silny związek produktywności dąglezji i dostępności wody w glebie [Carter, Klinka 1990; Nigh 2006; Coops, Hember 2009; Littke i in. 2016]. W niniejszych badaniach zależność ta nie jest widoczna bezpośrednio. Nie stwierdzono, by wariant uwilgocenia siedliska wpływał w istotny sposób na średnie wartości bonitacji dąglezji, jednak istotnie większe wartości obserwowano dla drzewostanów rosnących na glebach z większą zawartością części spławialnych w składzie granulometrycznym. Mniej przepuszczalne podłoże może magazynować wodę, która jest wówczas dostępna dla roślin przez dłuższy czas. Również w przypadku badań Curta i in. [2001] oraz Littkego i in. [2016] wykazano zależność bonitacji od zawartości frakcji ilastej.

Na silną zależność bonitacji dąglezji od warunków glebowych zwracali uwagę Radwan i Shumway [1984], Carter i in. [1998], Fontes i in. [2003] czy Nigh [2006]. Jak podają Carter i Klinka [1990], cechą gleby, która istotnie wpływa na bonitację dąglezji, jest zawartość azotu w profilu glebowym. Podobne obserwacje poczynili Littke i in. [2016], którzy stwierdzili również istotne znaczenie stopnia mineralizacji materii określonego stosunkiem C:N w wierzchniej warstwie gleby. Istotny związek tej właściwości gleby z bonitacją dąglezji odnotowali także Carter i in. [1998].

Obserwowany brak wpływu rzeźby terenu na bonitację wzrostową badanych drzewostanów dąglezjowych znajduje częściowe potwierdzenie w literaturze. Littke i in [2016] nie zaobserwowali istotnej korelacji wskaźnika bonitacji z nachyleniem stoku, ale taki związek stwierdzili w przypadku wysokości nad poziomem morza. Z kolei Curt i in. [2001] podają istotne znaczenie wystawy i wysokości nad poziomem morza w przypadku dąglezji rosnącej na wyżynnym terenie Masywu Centralnego we Francji.

Przyszłościowym rozwiązaniem wydaje się wykorzystanie do określania bonitacji, a więc możliwości produkcyjnych drzewostanu, danych pozyskiwanych metodami zdalnymi. W przypadku dąglezji badania w tym zakresie prowadzili m.in. Waring i in. [2006] oraz Weiskittel i in. [2011], którzy wykorzystali parametry środowiskowe określane na podstawie modeli 3-PG oraz danych z satelity MODIS.

Wnioski

- ✦ Uzyskane wartości bonitacji wzrostowej wskazują na wysoki potencjał produkcyjny dąglezji na terenie Polski w porównaniu z gatunkami rodzimymi.
- ✦ Czynniki istotnie różnicującymi bonitację drzewostanów dąglezjowych w naszym kraju są położenie (RDLP), siedliskowy typ lasu, typ i podtyp gleby oraz skład granulometryczny gleby.
- ✦ Nie stwierdzono istotnego wpływu wariantu uwilgocenia siedliska oraz charakterystyk rzeźby terenu na wskaźnik bonitacji wzrostowej badanych drzewostanów dąglezjowych.

Literatura

Barzdajn W. 2013. Porównanie rodów dąglezji (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) w doświadczeniu w Nadleśnictwie Manowo. Sylwan 157 (3): 204-212.

- Barzdajn W., Wesoły W. 1975. Wyniki uprawy daglezi zielonej (*Pseudotsuga menziesii* Franco) w Nadleśnictwie Łopuchówko. Roczn. AR w Poz. 78: 3-13.
- Bolibok L., Zajączkowski J., Dobrowolska D., Mionskowski M. 2016. Potencjalny zasięg klimatyczny jodły (*Abies alba* Mill.) w Polsce. Sylwan 160 (6): 519-528.
- Borowiec S. 1957. Próba oceny wpływu niektórych czynników glebowych na bonitację drzewostanów sosnowych na utworach dyluwalnych. Sylwan 101 (9): 35-53.
- Bošela M., Málíš F., Kulla L., Šebeň V. 2013. Ecologically based height growth model and derived raster maps of Norway spruce site index in the Western Carpathians. Eur. J. For. Res. 132: 691-705.
- Bošela M., Petráš R., Šmelko Š. 2011. Site classification vs. wood production: a case study based on silver fir growth dynamics in the Western Carpathians. J. For. Sci. 57 (10): 409-421.
- Bruchwald A., Kliczkowska A. 1997. Kształtowanie się bonitacji dla drzewostanów sosnowych Polski. Prace IBL, ser. A 838.
- Burkhardt H. E., Tomé M. 2012. Modeling forest trees and stands. Springer, Dordrecht, Heidelberg, New York, London.
- Carter R. E., Klinka K. 1990. Relationships between growing-season soil water deficit, mineralizable soil nitrogen and site index of coastal Douglas-fir. For. Ecol. Manage. 30: 301-311.
- Carter R. E., McWilliams E. R. G., Klinka K. 1998. Predicting response of coastal Douglas-fir to fertilizer treatments. For. Ecol. Manage. 107: 275-289.
- Chmura D. J., Howe G. T., Anderson P. D., St.Clair J. B. 2010. Przystosowanie drzew, lasów i leśnictwa do zmian klimatycznych. Sylwan 154 (9): 587-602.
- Chylarecki H. 1976. Badania nad daglezią w Polsce w różnych warunkach ekologicznych. Arb. Kórn. 21: 15-123.
- Chylarecki H. 2004. Daglezia w lasach Polski. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań.
- Coops N. C., Hember R. A., Waring R. H. 2010. Assessing the impact of current and projected climates on Douglas-fir productivity in British Columbia, Canada, using a process-based model (3-PG). Can. J. For. Res. 40 (3): 511-524
- Coops N. C., Coggins S., Kurz W. 2007. An investigation of the environmental limitations to growth of Douglas-fir stands in the Coastal Pacific Northwest. Tree Phys. 27: 805-815.
- Coops N. C., Hember R. A. 2009. Physiologically derived predictions of Douglas-fir site index in British Columbia. For. Chron. 85 (5): 733-744.
- Corona P., Scotti R., Tarchiani N. 1998. Relationship between environmental factors and site index in Douglas-fir plantations in central Italy. For. Ecol. Manage. 110: 195-207.
- Curt Th., Bouchaud M., Agrech G. 2001. Predicting site index of Douglas-fir plantations from ecological variables in the Massif Central area of France. For. Ecol. Manage. 149: 61-74.
- Dunbar A., Dhubbain A. N., Bulfin M. 2002. The productivity of Douglas-fir in Ireland. Forestry 75: 537-545.
- Flewelling J., Collier R., Gonyea R., Marshall D., Turnblom E. 2001. Height-age curves for planted stands of Douglas-fir, with adjustments for density. Stand Management Cooperative: Seattle, WA. Working Paper 1.
- Fontes L., Tome M., Thompson F., Yomans A., Sales Luis J., Savill, P. 2003. Modelling Douglas-fir [*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco] site index from site factors in Portugal. Forestry 76 (5): 491-507.
- Gazda A., Augustynowicz P. 2012. Obce gatunki drzew w polskich lasach gospodarczych: co wiemy o puli obcych gatunków drzew oraz o rozmieszczeniu wybranych taksonów. Stud. i Mat. CEPL 33: 53-61.
- Green R. N., Marshall P. L., Klinka K. 1989. Estimating Site Index of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco) from Ecological Variables in Southwestern British Columbia. For. Sci. 35: 50-63.
- Hammer Ø., Harper D. A. T., Ryan P. D. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. Palaeo. Electr. 4 (1).
- Isaac-Tenton M. G., Roberts D. R., Hamann A., Spiecker H. 2014. Douglas-fir plantations in Europe: a retrospective test of assisted migration to address climate change. Glo. Change Biol. 20: 2607-2617. DOI: 10.1111/gcb.12604.
- Johansson T. 1995. Site index curves for Norway spruce plantations on farmland with different soil types. Stud. For. Succ. 198: 1-19.
- King J. E. 1966. Site index curves for Douglas-fir in the Pacific Northwest. Weyerhaeuser Forestry Paper 8.
- Kliczkowska A., Bruchwald A. 2000. Kształtowanie się bonitacji drzewostanów świerkowych na terenach górskich. Sylwan 144 (9): 5-15.
- Klinka K., Carter R. E. 1990. Relationships between site index and synoptic environmental factors in immature coastal Douglas-fir stands. For. Sci. 36 (3): 815-830.
- Littke K., Harrison R., Zabowski D. 2016. Determining the effects of biogeoclimatic properties on different site index systems of Douglas-fir in the coastal Pacific Northwest. For. Sci. 62 (5): 503-512.
- Monserud R. A., Moody U., Breuer D. W. 1990. A soil-site study for inland Douglas-fir. Can. J. For. Res. 20: 686-695.
- Nigh G. D. 1997. A Growth Intercept Model for Coastal Douglas-Fir. B. C. Ministry of Forests Research Program. Res. Rep. 10.
- Nigh G. D. 2006. Impact of climate, moisture regime, and nutrient regime on the productivity of Douglas-fir in coastal British Columbia, Canada. Clim. Change 76: 321-337.

- Panka S. 2012. Gatunki drzew obcego pochodzenia na leśnych powierzchniach doświadczalnych Brandenburgii. Roczn. Pol. Tow. Dendro. 60: 21-42.
- Pietrzykowski M., Socha J., van Doorn N. S. 2015. Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) site index in relation to physico-chemical and biological properties in reclaimed mine soils. New For. 46 (2): 247-266. DOI: 10.1007/s11056-014-9459-z.
- Radwan M. A., Shumway J. S. 1984. Site index and selected soil properties in relation to response of Douglas-fir and western hemlock to nitrogen fertilizer. W: Stone E. [red.]. Forest Soils and Treatment Impacts, Proceedings of the Sixth North American Forest Soils Conference, June 1983, The University of Tennessee, Knoxville. 89-104.
- Sewerniak P. 2011. Wpływ uziarnienia gleby na bonitację drzewostanów sosnowych w południowo-zachodniej Polsce. Leśn. Pr. Bad. 72 (4): 311-319.
- Sewerniak P. 2012a. Wpływ właściwości gleb piaszczystych na bonitację drzewostanów sosnowych w południowo-zachodniej Polsce. I. Odczyn, zawartość CaCO₃ i cechy związane z głębokością gleby. Sylwan 156 (6): 427-436.
- Sewerniak P. 2012b. Wpływ właściwości gleb piaszczystych na bonitację drzewostanów sosnowych w południowo-zachodniej Polsce. II. Wybrane właściwości chemiczne. Sylwan 156 (7): 518-525.
- Sewerniak P. 2013. Bonitacja drzewostanów sosnowych w południowo-zachodniej Polsce w odniesieniu do typów siedliskowych lasu i taksonów gleb. Sylwan 157 (7): 516-525.
- Sewerniak P. 2016. Wpływ rzeźby terenu na bonitację i cechy wzrostowe drzewostanów sosnowych na wydmach Kotliny Toruńskiej. Sylwan 160 (8): 656-665.
- Sharma R. P., Brunner A., Eid T. 2012. Site index prediction from site and climate variables for Norway spruce and Scots pine in Norway. Scand. J. For. Res. 27: 619-636. DOI: m10.1080/02827581.2012.685749.
- Skovsgaard J. P., Vanclay J. K. 2008. Forest site productivity: a review of the evolution of dendrometric concepts for even-aged stands. Forestry 81 (1): 13-31.
- Skovsgaard J. P., Vanclay J. K. 2013. Forest site productivity: a review of spatial and temporal variability in natural site conditions. Forestry 86 (3): 305-315.
- Socha J. 1997. Matematyczne ujęcie bonitacji siedliska. Sylwan 141 (2): 31-36.
- Socha J. 1998. Zależność bonitacji drzewostanów świerkowych od wysokości położenia nad poziomem morza. Sylwan 142 (9):25-32.
- Socha J. 2008. Effect of topography and geology on the site index of *Picea abies* in the West Carpathians, Poland. Scan. J. For. Res. 23: 203-213.
- Socha J., Coops N. C., Ochał W. 2016. Assessment of age bias in site index equations. iForest 9: 402-408. DOI: 10.3832/ifor1548-008.
- Socha J., Ochał W., Grabczyński S., Maj M. 2015. Modele bonitacyjne dla gatunków lasotwórczych Polski opracowane na podstawie tablic zasobności. Sylwan 159 (8): 639-649.
- Socha J., Ochał W., Maj M., Grabczyński S., Lach J., Gruba P. 2014. Wpływ wzniesienia nad poziom morza i podłoża geologicznego na produktywność siedlisk Beskidu Żywieckiego dla buka. Sylwan 158 (11): 850-859.
- Socha J., Orzeł S. 2011. Dynamiczne krzywe bonitacyjne dla drzewostanów sosnowych Puszczy Niepołomickiej. Sylwan 155 (5): 301-312.
- Socha J., Orzeł S. 2013. Dynamiczne krzywe bonitacyjne dla sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) z południowej Polski. Sylwan 157 (1): 26-38.
- Temesgen H., von Gadow K. 2004. Generalized height-diameter models – an application for major tree species in complex stands of interior British Columbia. Europ. J. For. Res. 123 (1): 45-51.
- Tyler A. L., Macmillan D. C., Dutch J. 1996. Models to predict the General Yield Class of Douglas-fir, Japanese larch and Scots pine on better quality land in Scotland. Forestry 1: 13-24.
- Waring R. H., Milner K. S., Jolly W. M., Phillips L., McWethy D. 2006. Assessment of site index and forest growth capacity across the Pacific and Inland Northwest USA with MODIS satellite-derived vegetation index. For. Eco. Manage. 228: 285-291.
- Weiskittel A. R., Crookston N. L., Radtke P. J. 2011. Linking climate, gross primary productivity, and site index across forests of the western United States. Can. J. For. Res. 41 (8): 1710-1721.
- 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.