

ARKADIUSZ BRUCHWALD, ELŻBIETA DMYTERKO, MAŁGORZATA DUDZIŃSKA

Funkcje do określania bonitacji drzewostanu dla ważniejszych gatunków drzew

Functions to determine site index of the principal forest species

ABSTRACT

Bruchwald A., Dmyterko E., Dudzińska M. 2020. Funkcje do określania bonitacji drzewostanu dla ważniejszych gatunków drzew. Sylwan 164 (11): 906-912. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylvan.2020091>.

We developed functions that describe the relationship between the stand top height and age for Scots pine (*Pinus sylvestris*), Norway spruce (*Picea abies*), silver fir (*Abies alba*), European larch (*Larix decidua*), English oak (*Quercus robur*), European beech (*Fagus sylvatica*), black alder (*Alnus glutinosa*) and silver birch (*Betula pendula*). We applied model proposed by Cieszewski for that purpose. The top height at the age of 100 years obtained from the developed models is a stand site index. Prior to the determination of function coefficients we analysed the height growth rate for each species to provide similar course of the height growth curves for the majority of trees. It required the elimination of trees whose height growth rate differed from the course parallel to the age axis. These were usually trees that remained under canopy for too long and reacted with an intensive increase in height growth after removal of the canopy, trees after insect gradation or trees growing in areas drained during their growth. The site index functions are the first stage of yield tables development. It is planned to introduce them into stand growth models, which will increase the accuracy of forecasting the development of wood resources.

KEY WORDS

site index functions, height growth rate, top height

ADDRESSES

Arkadiusz Bruchwald – e-mail: A.Bruchwald@ibles.waw.pl

Elżbieta Dmyterko – e-mail: E.Dmyterko@ibles.waw.pl

Małgorzata Dudzińska – e-mail: M.Dudzinska@ibles.waw.pl

Zakład Zarządzania Zasobami Leśnymi, Instytut Badawczy Leśnictwa; Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Raszyn

Wstęp

Powszechne zastosowanie w leśnictwie polskim ma bonitacja drzewostanu oceniająca jego możliwości produkcyjne, czyli ilość surowca drzewnego, jaką można uzyskać z danej powierzchni. Bonitacja stanowi więc prostą i wstępną ocenę wartości lasu.

Ocena bonitacji drzewostanu była prowadzona już przed około 200 laty [Oettelt 1764], a jej naukowe podstawy stworzył Heyer [1841], stwierdzając powiązanie między wzrostem wysokości i wzrostem miąższości drzewostanu. Eichhorn [1902], budując tablice zasobności dla jodły, zauważył związek średniej wysokości z miąższością drzewostanu, niezależnie od typu siedliskowego lasu. Stwierdzenie to weszło do nauki jako „prawo Eichhorna” i było wykorzystywane przy budowie tablic zasobności.

W Polsce na szeroką skalę zaczęto określać bonitację w latach międzywojennych XX wieku, a podstawą były tablice zasobności opracowane przez Schwappacha [1912]. Dla sosny zbudowano również polskie tablice zasobności oparte na wieku i pierśnicy [Jedliński 1932], a także wieku i średniej wysokości [Płoński 1937]. Te ostatnie uwzględniono w zestawie tablic Szymkiewicza [1952] i zalecane są do stosowania w drzewostanach, w których przeprowadza się słabsze zabiegi pielęgnacyjne.

Zgodnie z tablicami zasobności zestawionymi przez Szymkiewicza [1952], bonitacja jest funkcją wieku i średniej wysokości drzewostanu. Wadą tej ostatniej cechy jest jej powiązanie z zabiegami pielęgnacyjnymi, zwłaszcza trzebieżą dolną. Średnia wysokość (a więc i bonitacja) przed zabiegiem jest niższa niż po zabiegu. Wadą tą w znacznie mniejszym stopniu obarczona jest wysokość górna, definiowana jako średnia wysokość 100 najgrubszych drzew przypadających na 1 ha [Assmann 1959]. Definicja ta będzie podstawą analiz prowadzonych w niniejszej pracy, której celem jest opracowanie krzywych wzrostu wysokości (a więc krzywych bonitacyjnych) dla 9 gatunków drzew: sosny zwyczajnej, świerka pospolitego, jodły pospolitej, modrzewia europejskiego, dębu szypułkowego, buka pospolitego, olszy czarnej, brzozy brodawkowatej i brzozy omszonej. Krzywe wzrostu wysokości zostaną oparte o funkcję, którą zastosowali Cieszewski i Zasada [2002, 2003a, b], a następnie Socha [2010, 2011], Socha i Orzeł [2013] oraz Socha i in. [2015, 2017].

Material i metody

Analizę wzrostu wysokości drzew przeprowadzono na 4655 drzewach należących do I i II klasy biosocjalnej według Krafca, wybranych z 964 drzewostanów litych, poza jodłą jednowiekowych (tab. 1). Po ścięciu drzew pobierano z nich wyrzynki, najczęściej z wysokości 0, 1,3, 2, 4 itd. m. Na wyrzynkach ustalano liczbę słoj, co zwłaszcza w przypadku liściastych gatunków drzew wymagało oszlifowania wyrzynka i użycia mikroskopu. Wysokość pobrania wyrzynka i ustalona na nim liczba słoj pozwalała na określenie wysokości drzewa w kolejnych latach jego życia: 5, 10, 15 itd.

Drzewostany poszczególnych gatunków drzew wybierano w różnych miejscach Polski. Sośniny reprezentują wszystkie nizinne krainy przyrodniczo-leśne, a największe ich skupisko występowało w Borach Tucholskich. Bardzo liczny materiał pozyskano z północy kraju, w świerczynach Krainy Mazursko-Podlaskiej, ale również z terenu Litwy i Białorusi. Świerk na południu kraju

Tabela 1.

Liczba drzewostanów (N) i liczba drzew (Nd) z przeprowadzoną analizą wzrostu wysokości poszczególnych gatunków drzew

Number of stands (N) and trees (Nd) used for height growth analyses for individual species

	N	Nd
So	256	540
Św północ	117	2065
Św południe	108	493
Jd	28	235
Md	80	231
Db	52	304
Bk	132	402
Ol	94	191
Brz br	66	132
Brz om	31	62

So – Scots pine, Św – Norway spruce (północ – northern range, południe – mountain range), Jd – silver fir, Md – European larch, Db – English oak, Bk – English beech, Ol – black alder, Brz br – silver birch, Brz om – downy birch

pochodzi głównie z Sudetów i Karpat. Zastrzeżenia budzi reprezentacja drzewostanów jodłowych, pochodzą one bowiem tylko z Gór Świętokrzyskich i Roztocza. Względnie dobrze reprezentują nasz kraj drzewostany modrzewiowe: na północy głównie nadleśnictwa Dobrzany i Kolbudy, w centralnej Polsce Nadleśnictwo Rogów i na południu nadleśnictwa Pińczów i Prudnik. Stosunkowo mało materiału dotyczy drzewostanów dębowych, co wynika z dużych trudności w jego pozyskaniu. Wschodnia Polska reprezentowana jest przez dębiny nadleśnictw Łochów i Sokołów Podlaski, zachodnia przez Nadleśnictwo Nowa Sól, a południowo-zachodnia przez Nadleśnictwo Wołów. Buczyny reprezentowane są przez najpiękniejsze drzewostany północy Polski, nadleśnictwa Gryfino i Kartuzy, środkową część kraju reprezentują buki z Nadleśnictwa Brzeziny, a południową z Nadleśnictwa Stuposiany. Olszyny i brzeziny reprezentowane są głównie przez północną część kraju, w tym brzoza omszona przez drzewostany Biebrzańskiego Parku Narodowego.

Funkcję wzrostu wysokości można przedstawić ogólnym wzorem [Bruchwald 1977]:

$$f_{(h)} = A \cdot B \quad [1]$$

gdzie:

A – standaryzowana funkcja wzrostu wysokości,

B – tempo wzrostu wysokości.

Standaryzowana funkcja wzrostu wysokości powiązana jest z wiekiem drzewa. Wychodzi z początku układu współrzędnych i dla wieku 100 lat przyjmuje wartość 1. Tempo wzrostu wysokości to wysokość, jaką drzewo uzyska lub uzyskało w wieku 100 lat. W przypadku zastosowania wysokości górnej odpowiednikiem tempa wzrostu wysokości drzewa jest bonitacja drzewostanu.

Z funkcji stosowanych do aproksymacji wzrostu wysokości wybrano zalecaną przez wielu autorów funkcję Cieszewskiego:

$$A = \frac{w^{b_1} (100^{b_1} R + e^{b_2})}{100^{b_1} (w^{b_1} R + e^{b_2})} \quad [2]$$

$$R = b_3 + h + \sqrt{(b_3 + B)^2 + 2Be^{b_2} / 100^{b_1}} \quad [3]$$

gdzie:

w – wiek drzewa lub drzewostanu,

h – wysokość drzewa lub wysokość górna drzewostanu,

B – tempo wzrostu wysokości drzewa lub bonitacja drzewostanu,

e – podstawa logarytmu naturalnego,

b_1, b_2, b_3 – współczynniki funkcji.

Najtrudniejszym problemem związanym z opracowaniem funkcji wzrostu wysokości jest dobór drzew, które będą wykorzystane do wyprowadzenia jej współczynników. Nie powinny to być drzewa opóźnione we wroście, należące do I, ewentualnie II klasy biosocjalnej według Krafta. Dodatkową komplikacją przy doborze drzew jest zróżnicowany wzrost wysokości w różnych regionach kraju, a także jego powiązanie z wysokością położenia drzewostanu nad poziomem morza.

Wyprowadzenie współczynników bardzo skomplikowanej funkcji A nie jest zagadnieniem prostym. Do tego celu Cieszewski i Zasada [2002, 2003a, b] opracowali specjalną procedurę nazwaną metodą różnic algebraicznych. Jej zastosowanie, poza specjalistycznym oprogramowaniem, wymaga sprawdzenia poprawności przebiegu funkcji. Poprawność tę ocenia się przebiegiem tempa wzrostu wysokości drzew, które dla różnego wieku drzewa powinno być jednakowe. Tempo to, stosując funkcję Cieszewskiego, określa się wzorem:

$$B = h \frac{100^{b_1} (\omega^{b_1} R + e^{b_2})}{\omega^{b_1} (100^{b_1} R + e^{b_2})} \quad [4]$$

W niniejszej pracy do określenia współczynników funkcji A zastosowano metodę kolejnych przybliżeń, zwaną również iteracyjną. Wartości współczynników funkcji dobierano tak długo, dopóki nie uzyskano w przybliżeniu takich samych wartości tempa wzrostu wysokości dla różnych lat życia większości drzew. Wymagało to również eliminowania drzew, u których wzrost wysokości wyraźnie różnił się od większości analizowanych. Były to np. drzewa rosnące zbyt długo pod okapem drzewostanu macierzystego czy drzewa po przeprowadzonej melioracji terenu.

Wyniki

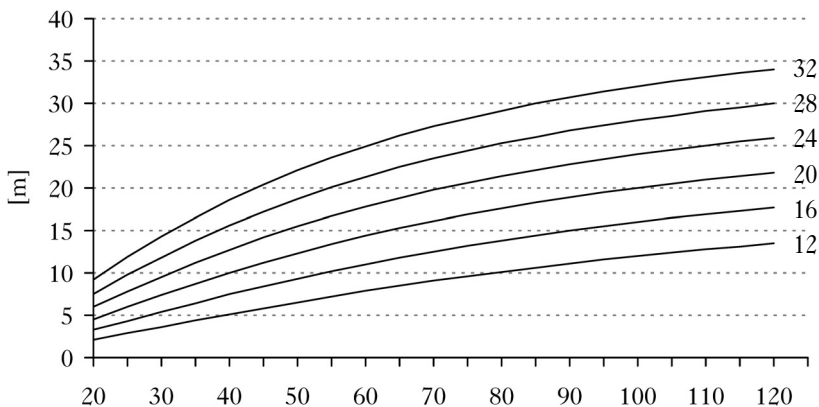
Współczynniki równania 4 dla poszczególnych gatunków drzew zawarto w tabeli 2. Opracowane krzywe wzrostu wysokości, a więc związek między wysokością i wiekiem drzewa, przyjęto za krzywe bonitacyjne (ryc.). W tym celu należało założyć, że opracowane krzywe wzrostu wysokości drzewa charakteryzują również przebieg z wiekiem wysokości górnej, a tempo wzrostu wysokości drzewa charakteryzuje także bonitację drzewostanu. Opracowane funkcje pozwalają na określenie bonitacji z dowolnym zaokrągleniem, np. do 1 m.

Tabela 2.

Współczynniki funkcji bonitacji dla różnych gatunków drzew
Coefficients of site index functions for analysed species

	b1	b2	b3
So	1,48	9,5	-10
Św	1,9	10,9	-20
Jd	1,9	8,1	-38
Md	1,44	8,17	-32
Db	1,8	9,7	-20
Bk	1,6	9,9	-20
Ol	1,3	8,8	-23
Brz br	1,6	9,6	-12
Brz om	2,0	11,5	42

species denotes as in table 1



Ryc.

Krzywe wzrostu wysokości sosny z podziałem na bonitacje
Height growth curves of Scots pine for various site index values

Opracowane funkcje bonitacyjne pozwalają też na śledzenie zmiany z wiekiem bieżącego i przeciętnego przyrostu wysokości drzewostanu. Przyrost bieżący w młodym wieku przyjmuje niskie wartości, potem szybko wzrasta, uzyskuje kulminację, po czym maleje. Dla sosny wiek kulminacji przyrostu bieżącego wynosi 13 lat przy bonitacji 32 m i 26 lat przy bonitacji 12 m. Dla modrzewia wiek kulminacji wynosi 9 lat, gdy bonitacja wynosi 40 m oraz 16 lat przy bonitacji 16 m. Przeciętny przyrost wysokości kulminuje później niż przyrost bieżący. Dla sosny wiek tej kulminacji wynosi 23 lata dla bonitacji 32 m i 47 lat, gdy bonitacja wynosi 12 m. Dla modrzewia wiek kulminacji przyrostu przeciętnego wynosi 16 lat, gdy bonitacja jest równa 40 m oraz 46 lat, gdy wynosi 20 m.

Dyskusja

Bonitacja drzewostanu jest bardzo ważnym wskaźnikiem oceny wydajności siedliska. Może ona służyć nie tylko do oceny wartości lasu, ale również do planowania składu gatunkowego drzewostanu w okresie jego przebudowy lub po rozpadzie. Odgrywa bardzo ważną rolę przy budowie tablic zasobności lub we współczesnym ujęciu przy budowie modeli wzrostu drzewostanu [Bruchwald 1986, 1989]. Ważnym problemem jest więc prawidłowe zdefiniowanie bonitacji i następnie opracowanie modelu służącego do jej określania [Beker 2007].

Na przebieg z wiekiem wysokości drzewa, a więc również kształtowanie się tempa jej wzrostu, ma wpływ bardzo dużo czynników – zarówno międzypopulacyjnych, jak i zachodzących wewnątrz populacji, którą stanowi drzewostan.

Do czynników międzypopulacyjnych można zaliczyć takie, których fluktuacja zachodzi w długim przedziale czasu i powiązana jest zwłaszcza z warunkami klimatycznymi, glebowymi i hydrologicznymi. Kształtują one warunki siedliskowe lasu, na które, zwłaszcza w górach, wpływa również orografia terenu. Wymienione czynniki decydują głównie o różnej wielkości bonitacji dla poszczególnych drzewostanów, a w przypadku budowy tablic zasobności o ich liczbie i zakresie opracowania. Z badań wynika, że na tych samych typach siedliskowych lasu drzewostany świerkowe Karpat mają przeciętnie wyższą bonitację niż świerczyny Sudetów [Bruchwald i in. 2019]. Podobnie drzewostany Beskidu Żywieckiego mają wyższą bonitację niż Beskidu Śląskiego, co wynika z różnic w podłożu geologicznym tych terenów [Socha 2010].

Duże trudności w opracowaniu krzywych bonitacyjnych wynikają ze zmienności populacyjnej badanego związku. Na związek ten wpływają średniookresowe zmiany warunków wzrostu, spowodowane np. sposobem odnowienia lasu, w tym liczbą lat młodego pokolenia drzew rosnącego pod okapem drzewostanu macierzystego, rodzajem i częstością wykonanych zabiegów pielęgnacyjnych, sposobem mieszania poszczególnych gatunków drzew, pochodzeniem nasion itd. Duże zróżnicowanie wzrostu wysokości drzew może również wynikać z wpływu czynników biotycznych i antropogenicznych, również regulacji stosunków wodnych przeprowadzonych na określonym terenie. Bardzo duże zmiany we wzroście drzew może spowodować wiatr, a jeszcze większe susza prowadząca do zamierania drzewostanów [Dmyterko, Bruchwald 2019, 2020].

Dla drzew rosnących w niezakłóconych warunkach wzrostu można ustalić takie wartości współczynników funkcji 4, przy których przebieg ich tempa wzrostu wysokości (wartość B) jest równoległy do osi wieku lub niewiele odbiega od tej prawidłowości. Eliminuje to niektóre drzewa z poszukiwań współczynników funkcji wzrostu wysokości i jednocześnie pozwala postawić pytanie: jaka jest przyczyna lub przyczyny, które spowodowały różny od przeciętnego przebieg tempa wzrostu wysokości, a w konsekwencji zróżnicowany przebieg z wiekiem bonitacji drzewostanu. Poszukiwania takie prowadzą do lepszego poznania procesów przyrodniczych zachodzących w danej populacji drzew.

Wnioski

- ✚ Dla dziewięciu gatunków drzew – sosny, świerka, jodły, modrzewia, dębu, buka, olszy, brzozy brodawkowatej i brzozy omszonej – opracowano krzywe wzrostu wysokości drzew i na tej podstawie krzywe określające bonitację drzewostanu. Bonitację oparto na wieku i wysokości górnej drzewostanu, definiowanej jako średnia wysokość 100 najgrubszych drzew w przeliczeniu na powierzchnię 1 ha.
- ✚ Do wyznaczenia bonitacji wykorzystano funkcję, którą zastosowali Cieszewski i Zasada [2002, 2003a, b]. Jest to funkcja stale rosnąca, wychodząca z początku układu współrzędnych, a ustalona na jej podstawie kulminacja bieżącego i przeciętnego przyrostu wysokości powiązana jest z bonitacją drzewostanu: przyrost wysokości kulminuje wcześniej w drzewostanach wyższych bonitacji.
- ✚ Współczynniki funkcji bonitacji określono, analizując wzrost wysokości drzew I lub II klasy biosocjalnej według Krafca, rosnących w niezakłóconych warunkach wzrostu. Wymagało to przeprowadzenia wizualnej oceny tempa wzrostu wysokości drzew i eliminowania drzew odbiegających od przeciętnego przebiegu tego tempa.
- ✚ Funkcje bonitacyjne opracowano z myślą o ich wprowadzeniu do modelu wzrostu drzewostanu, co powinno zwiększyć dokładność jego funkcjonowania. Mogą one również stanowić pierwszy etap budowy tablic zasobności dla poszczególnych gatunków drzew.

Literatura

- Assmann E. 1959. Höhenbonität und wirkliche Ertragsleistung. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 78 (1-2): 1-20.
- Beker C. 2007. Wysokość górną w drzewostanach sosnowych. *Sylvan* 151 (3): 36-42. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylvan.2006035>.
- Bruchwald A. 1977. Change in top height of pine forest stands with. *Bull. Acad. Pol. Sc., Ser. Biol.* 5: 335-342.
- Bruchwald A. 1986. Simulation growth model MDI-1 for Scots pine. *Ann. Warsaw Agricult. Univ. SGGW-AR, For. and Wood Technol.* 34: 47-52.
- Bruchwald A. 1989. Polnische Stochastische Ertragsmodelle für Kiefer. Conference on Forest Statistics IUFRO 6.02. Freiburg i.Br.: 103-108.
- Bruchwald A., Dmyterko E., Mionskowski M., Wrzesiński P. 2019. Dynamika procesu śmiertelności drzew w Sudetach w latach 2002-2018. *Sylvan* 163 (12): 969-979. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylvan.2019116>.
- Cieszewski C. J., Zasada M. 2002. Dynamiczna forma anamorficznego modelu bonitacyjnego dla sosny pospolitej. *Sylvan* 146 (7): 17-24.
- Cieszewski C. J., Zasada M. 2003a. Model bonitacyjny dla sosny na podstawie tablic zasobności Szymkiewicza. *Sylvan* 147 (1): 51-62. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylvan.2003006>.
- Cieszewski C. J., Zasada M. 2003b. Wyprowadzanie ogólnych dynamicznych równań bonitacyjnych za pomocą uniwersalnej metody różnic algebraicznych. *Sylvan* 147 (3): 40-46. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylvan.2003027>.
- Dmyterko E., Bruchwald A. 2019. Zastosowanie modelu ryzyka uszkodzenia drzewostanu przez wiatr do oceny procesu śmiertelności drzew w Sudetach w latach 2015-2017. *Sylvan* 163 (11): 903-912. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylvan.2019049>.
- Dmyterko E., Bruchwald A. 2020. Ocena szkód w lasach Polski spowodowanych przez huragan z sierpnia 2017 roku. *Sylvan* 164 (5): 355-364. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylvan.2019073>.
- Eichhorn F. 1902. *Ertragstabellen für die Weißtanne*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-662-41354-8>.
- Heyer C. 1841. *Die Waldetrags-Regelung*. Verlag von B.C. Ferber, Giessen.
- Jedliński W. 1932. *Tablice zasobności i przyrostu drzewostanów sosnowych w Polsce*. Warszawa.
- Oettelt K. C. 1764. *Practischer Beweis, daß die Mathesis bey dem Forstwesen unentbehrliche Dienste thue*. Joh. Andreas Schill, Arnstadt.
- Płoński W. 1937. *Tablice zasobności i przyrostu drzewostanów. Sosna. Seria B, nr 4*. IBL, Warszawa.
- Schwappach A. 1912. *Ertragstabellen der wichtigeren Holzarten in tabellarischer und graphischer Form*. Verlag von J. Neumann, Neudamm.
- Socha J. 2010. *Metoda modelowania potencjalnych zdolności produkcyjnych świerka w górach*. Zeszyty Naukowe UR im. Hugona Kołłątaja w Krakowie 461 (338).

- Socha J. 2011. Krzywe bonitacyjne świerka pospolitego na siedliskach górskich. Sylwan 155 (12): 816-826. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylvan.2011067>.
- Socha J., Ochał W. 2017. Dynamic site index model and trends in changes of site productivity for *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. in southern Poland. Dendrobiology 77: 45-57. DOI: <https://doi.org/10.12657/denbio.077.004>.
- 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. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylvan.2015011>.
- Socha J., Orzeł S. 2013. Dynamiczne krzywe bonitacyjne dla sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) z południowej Polski. Sylwan 157 (1): 26-38. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylvan.2012094>.
- Szymkiewicz B. 1952. Tablice zasobności i przyrostu drzewostanów. Ważniejszych gatunków drzew leśnych, zestawione na podstawie tablic Schwappacha i tablic radzieckich. PWRiL, Warszawa.