

JAROSŁAW SOCHA, STANISŁAW ORZEŁ

Dynamiczne krzywe bonitacyjne dla drzewostanów sosnowych Puszczy Niepołomickiej

Dynamic site index curves for Scots pine stands in Niepołomice Primeval Forest

ABSTRACT

Socha J., Orzeł S. 2011. Dynamiczne krzywe bonitacyjne dla drzewostanów sosnowych Puszczy Niepołomickiej. Sylwan 155 (5): 301-312.

The aim of the research was to evaluate, under the conditions of the Niepołomice Primeval Forest, the usefulness of site index models applied in forest practice in Poland and to develop a local system of site index curves for Scots pine. The research materials included measurement results for the trees growing on 74 circular, 0.05 ha sample plots. On the basis of the completed analyses, the age-related change in stand heights in the Niepołomice Primeval Forest is different than the height growth described by means of the site index models used in forest practice in Poland. As a result of several-stage analyses, a dynamic system of site index curves was developed for the Niepołomice Primeval Forest allowing calculation of the site index, as well as forecast of the height of stands at any age.

KEY WORDS

site index model, base-age invariant, height growth, *Pinus sylvestris* L.

ADDRESSES

Jarosław Socha – e-mail: rsocha@cyf-kr.edu.pl

Stanisław Orzeł – e-mail: rlorzel@cyf-kr.edu.pl

Katedra Dendrometrii; Uniwersytet Rolniczy; Al. 29 Listopada 46; 31-425 Kraków

Wstęp

Informacje o potencjalnej produktywności siedlisk mają kluczowe znaczenie dla prowadzenia gospodarki leśnej, mającej na celu trwałą i zrównoważony rozwój lasu. Stanowią bowiem podstawowe kryterium uwzględniane przy podejmowaniu specyficznych dla poszczególnych siedlisk i gatunków decyzji gospodarczych dotyczących zabiegów hodowlanych, ustalania wielkości etatu oraz wieku rębności [Chen i in. 1998; Kayahara i in. 1998; Splechtna 2001]. O produktywności drzewostanów decydują w głównej mierze warunki siedliskowe, które w praktyce opisuje się za pomocą siedliskowego typu lasu, zawierającego informacje o żyzności i wilgotności siedliska. O ile dosyć precyzyjnie opracowana została klasyfikacja wilgotności siedlisk, to dokładne zdefiniowanie żyzności siedliska jest bardziej skomplikowane z uwagi na jego powiązanie z wieloma czynnikami [Bruchwald, Kliczkowska 1997]. Zdaniem Assmanna [1968] duża niepewność, jaką obarczona jest diagnoza zdolności produkcyjnych, oparta tylko na właściwościach gleby i klimatu, powoduje potrzebę określania bonitacji na podstawie wydajności plonów. Za dogodną miarę bonitacji przyjęto wysokość drzewostanu w wieku bazowym, z uwagi na niewielki wpływ na jej wielkość warunków zewnętrznych i zabiegów gospodarczych. W praktyce bonitację siedliska określa się na podstawie krzywych bonitacyjnych opisujących zmiany z wiekiem wysokości drzewostanu. Przebieg tych zmian jest charakterystyczny dla poszczególnych

gatunków lasotwórczych. Inną przyczyną polimorfizmu krzywych bonitacyjnych jest regionalne zróżnicowanie warunków wzrostu. Zjawisko to stwierdzono między innymi w drzewostanach limbowych (*Pinus cembra* L.) w Hiszpanii [Calama i in. 2003] oraz sosny pospolitej w Polsce [Bruchwald i in. 2000]. Zdaniem Johanssona [1995] sam typ gleby może być przyczyną zróżnicowania przebiegu krzywych bonitacyjnych. W badaniach wzrostu świerka czarnego (*Picea mariana*) w Kolumbii Brytyjskiej wykazano natomiast istotny wpływ warunków klimatycznych na jego przebieg [Nigh i in. 2002]. O ile w młodym wieku przebieg wzrostu wysokości nie zależy od strefy klimatycznej, to u świerków w wieku powyżej 60-70 lat, wzrastających w strefie chłodnej, stwierdzono znaczne zahamowanie przyrostu wysokości. Specyfika warunków wzrostu sprawia, że krzywe bonitacyjne opracowane dla terenów nizinnych nie nadają się do zastosowania w górach [Socha 2008]. Poza odmiennymi warunkami geoklimatycznymi, na przebieg wzrostu wysokości drzewostanu wpływa również zmienność genetyczna i strategia adaptacyjna drzew [Chen, Klinka 2000; Kulej, Socha 2008]. W zależności od proveniencji krzywe wzrostu wysokości danego gatunku mogą się różnić między innymi parametrem opisującym asymptoty [Buford, Burkhardt 1987]. Stosowanie systemów krzywych bonitacyjnych niedostosowanych do warunków lokalnych może być przyczyną znacznych błędów oszacowania potencjalnej produktywności drzewostanów, a w konsekwencji i niewłaściwych decyzji gospodarczych [Socha 2008]. Dlatego budowa krzywych bonitacyjnych jest fundamentalnym zagadnieniem z zakresu produktywności lasu [Elfving, Kiviste 1997].

Celem badań była ocena przydatności w warunkach Puszczy Niepołomickiej modeli bonitacyjnych wykorzystywanych w praktyce leśnej w Polsce oraz opracowanie lokalnego systemu krzywych bonitacyjnych dla sosny.

Materiał i metody

Materiał badawczy stanowią wyniki pomiarów drzew rosnących na 74 kołowych, 0,05 ha powierzchniach, wybranych ze 185, założonych w Puszczy Niepołomickiej w regularnej siatce (750×750 m) w ramach projektu Forest Environmental Monitoring and Management System (FOREMMS; 5FP IST) [Socha, Wężyk 2007]. Uwzględniono tylko powierzchnie założone w drzewostanach sosnowych w wieku powyżej 15 lat i zadrzewieniu przekraczającym 0,5.

Pomiarem objęto pierśnice wszystkich oraz wysokość części drzew rosnących na powierzchni. Wiek drzewostanów określono jako średnią arytmetyczną wieku co najmniej 6 sosen, określonego na podstawie odwiertów wykonanych w szyi korzeniowej świdrem przyrostowym Presslera. Z każdej powierzchni wybrano jedno drzewo o przeciętnych wymiarach, które po ścięciu poddano analizie pniowej. W tym celu pobrano krążki z wysokości: 0,0 m, 0,5 m, 1,3 m, 2,0 m, 4,0 m, i dalej co 2 m. Na podstawie liczby słoików rocznych na wysokości poszczególnych krążków uzyskano krzywe wzrostu wysokości, które wstępnie oceniono wzrokowo pod względem prawidłowości przebiegu wzrostu. Drzew, u których stwierdzono zaburzenia w przebiegu wzrostu, nie uwzględniono w dalszych analizach, co spowodowało, że do opracowania lokalnych krzywych bonitacyjnych wykorzystano dane z analizy pniowej 66 drzew próbnych.

Dla poszczególnych powierzchni próbnych wykreślono krzywe wysokości, które posłużyły do określenia wysokości przeciętnej wzorem Lorey'a oraz wysokości górnej. Za wysokość górną przyjęto, stosowaną powszechnie w krajach europejskich, średnią wysokość 100 najgrubszych drzew na hektarze. Bonitację drzewostanów określono na podstawie:

– modelu krzywych bonitacyjnych dla drzewostanów sosnowych Polski [Bruchwald i in. 2000]:

$$SI_B = \frac{H}{A} \quad [1]$$

gdzie:

- SI_B – wskaźnik bonitacji (wysokość górna w wieku bazowym 100 lat),
- H – wysokość górna drzewostanu,
- A – funkcja zależna od wieku drzewostanu T , określona wzorem:

$$A = \left(\frac{T}{22,222222 + 0,777778 \cdot T} \right)^2 \quad [1.1]$$

- tablic zasobności i przyrostu [Schwappach 1943], opisanych matematycznie przez Cieszewskiego i Zasadę [2003]:

$$SI_S = H_1 \frac{100^{1,44604} (T_1^{1,44604} R + e^{10,1971})}{T_1^{1,44604} (100^{1,44604} R + e^{10,1971})} \quad [2]$$

gdzie:

$$R = 5,15428 + H_1 + \sqrt{(5,15428 + H_1)^2 + \frac{2 \cdot H_1 \cdot e^{10,1971}}{T_1^{1,44604}}} \quad [2.1]$$

- H_1 – wysokość drzewostanu w wieku T_1 ,
- SI_S – bonitacja (wysokość w wieku 100 lat),
- e – podstawa logarytmu naturalnego.

Wstępną ocenę powyższych modeli w warunkach Puszczy Niepołomickiej oparto na zależności określonych bonitacji od wieku. Związek między bonitacją drzewostanów i wiekiem wynika bowiem na ogół z innego niż opisany za pomocą modeli rzeczywistego przebiegu wzrostu wysokości drzewostanów w lokalnych warunkach siedliskowych.

Dane o przebiegu wzrostu na wysokość uzyskane z analiz strzał 66 drzew posłużyły do numerycznego opisanego wzrostu wysokości drzewostanów sosnowych Puszczy Niepołomickiej. Założono, że system krzywych bonitacyjnych powinien się charakteryzować następującymi właściwościami:

- dopasowanie krzywych modelowych do danych empirycznych,
- polimorfizm krzywych bonitacyjnych, który pozwoli na uwzględnienie ewentualnych różnic w przebiegu wzrostu wysokości, wynikających z odmiennych warunków siedliskowych,
- zmienne asymptoty dla różnych siedlisk,
- równość wartości wskaźnika bonitacji i wysokości w wieku bazowym,
- możliwość biologicznej interpretacji parametrów równania bonitacji.

Biorąc pod uwagę powyższe kryteria, ze znanych z literatury funkcji krzywych bonitacyjnych [Monserud 1984; Elfving, Kiviste 1997; Cieszewski 2001; Splechtna 2001; Barrio Anta, Diéguez-Aranda 2005], do opracowania lokalnego modelu zakwalifikowano trzy równania:

- wzór Bailey'a i Cluttera [1974]:

$$H_2 = \exp \left(\psi_1 + \psi_2 \cdot \left(\frac{1}{T_2} \right)^{\psi_3} \right) \quad [3]$$

gdzie:

$$\psi_2 = (\log(H_1) - \psi_1) \cdot T_1^{\psi_3} \quad [3.1]$$

ψ_1, ψ_2, ψ_3 – parametry równania.

– model Cieszewskiego [2001] opracowany dla daglezi zielonej (*Pseudotsuga menziesii*):

$$H_2 = H_1 \frac{T_2^{\psi_1} (T_1^{\psi_1} R + \psi_2)}{T_1^{\psi_1} (T_2^{\psi_1} R + \psi_2)}, \quad [4]$$

gdzie:

$$R = Z_1 + \left(Z_1^2 + \frac{2\psi_2 H_1}{T_1^{\psi_1}} \right)^{0,5} \quad [4.1]$$

$$Z_1 = H_1 - \psi_3 \quad [4.2]$$

– wzór zbudowany na bazie równania Chapmana-Richardsa stosowany między innymi do modelowania krzywych bonitacyjnych dla głównych gatunków lasotwórczych Kanady [Payandeh, Wang 1994]:

$$H_2 = H_1 \cdot \left(\frac{1 - e^{\psi_1 \cdot T_2}}{1 - e^{\psi_1 \cdot T_1}} \right)^{\psi_2 \cdot H_1^{\psi_3}} \quad [5]$$

Wybrane modele spełniają wszystkie bądź większość przyjętych kryteriów oraz są powszechnie uznawane za odpowiednie z metodycznego punktu widzenia.

Parametry wybranych funkcji określono z wykorzystaniem metody niezależnej od wieku bazowego [Bailey, Clutter 1974; Goelz, Burk 1996; Cieszewski 2001; Cieszewski, Zasada 2002], w której zastosowano dynamiczne postaci poszczególnych modeli. W tym celu w bazie danych umieszczono wszystkie możliwe dla poszczególnych analizowanych drzew kombinacje dwóch par wartości wiek-wysokość (T_1 - H_1 , T_2 - H_2).

Wyboru najlepszego modelu, stanowiącego lokalny system krzywych bonitacyjnych, dokonano w oparciu o 4 kryteria:

- średni błąd kwadratowy wyrównania (RMSE),
- udział wariancji wyjaśnionej przez model regresji (R_{adj}^2),
- rozkład wartości resztowych,
- rozrzut wartości resztowych względem przewidywanych.

Obliczone na podstawie wybranego modelu bonitacje porównano z bonitacjami ustalonymi w oparciu o krzywe bonitacyjne Bruchwalda [wzór 1] i Schwappacha [wzór 2].

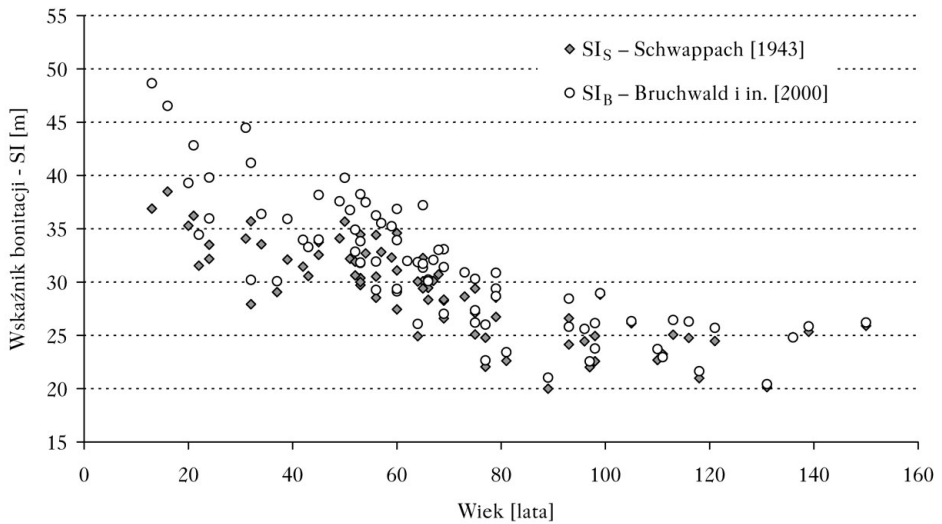
Większość analiz statystycznych wykonano programem STATISTICA (StatSoft, Inc.). Przy wyliczaniu parametrów modeli krzywych bonitacyjnych wykorzystano również oprogramowanie statystyczne SAS.

Wyniki

Wartości bonitacji wyliczone dla poszczególnych drzewostanów na podstawie modelu SI_B [wzór 1] oraz modelu SI_S [wzór 2] przedstawiono na rycinie 1. Zaobserwować można wyraźny związek tej cechy z wiekiem drzewostanu. Szczególnie wysokie wartości wskaźnika bonitacji, niespotykane w drzewostanach starszych, uzyskano dla powierzchni w wieku do około 30 lat. Wskaźnik bonitacji SI_S przekracza w niektórych przypadkach 35 m, a określony modelem Bruchwalda (SI_B) nawet 45 m. Obserwowana zależność świadczy o tym, że w lokalnych warunkach Puszczy Niepołomickiej przebieg zmiany z wiekiem wysokości drzewostanów jest inny niż przebieg wzrostu opisywany za pomocą modeli SI_B oraz SI_S , wykorzystywanych do określania bonitacji drzewostanów w praktyce leśnej w Polsce. Stosując te modele w lokalnych warunkach

Puszczy Niepołomickiej należy oczekiwać znacznego zawyżenia bonitacji drzewostanów młodszych klas wieku oraz jej zaniżania w drzewostanach starszych.

W wyniku oszacowania parametrów równań 3-5 (tab.) uzyskano 3 różniące się przebiegiem systemy krzywych bonitacyjnych (ryc. 2). Najlepsze dopasowanie do danych empirycznych uzyskano w przypadku zastosowania równania 4 (ryc. 3), co potwierdza najmniejsza, wynosząca 0,7603, wartość średniego błędu kwadratowego (RMSE) oraz największy udział wariancji wyjaśnionej ($R^2_{adj}=0,9884$). Nieco większe wartości średniego błędu kwadratowego i mniejszą wartość skorygowanego współczynnika determinacji uzyskano natomiast w przypadku równania 5. Najslabszym dopasowaniem do danych empirycznych charakteryzował się model Bailey'a i Cluttera (równanie 3).



Ryc. 1.

Zależność między bonitacją określoną na podstawie modelu Bruchwalda i in. [2000] [wzór 1] i Schwappacha [1943] [wzór 2] a wiekiem drzewostanu

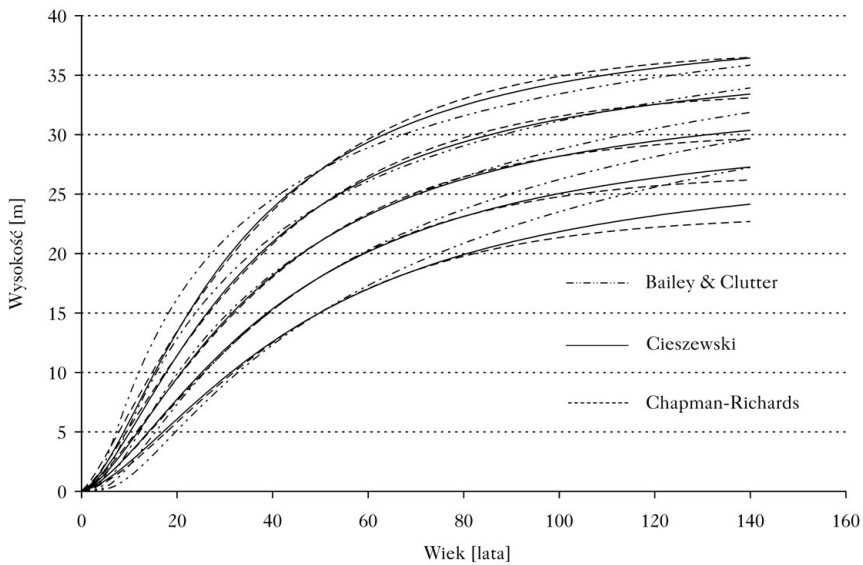
Dependence of site indices predicted on the base of Bruchwald i in. [2000] [formula 1] and Schwappach [1943] [formula 2] models and age of the stand

Tabela.

Parametry różnych postaci lokalnych modeli bonitacyjnych opracowanych na danych z analiz strzał metodą niezmienną od wieku bazowego dla równań 3-5

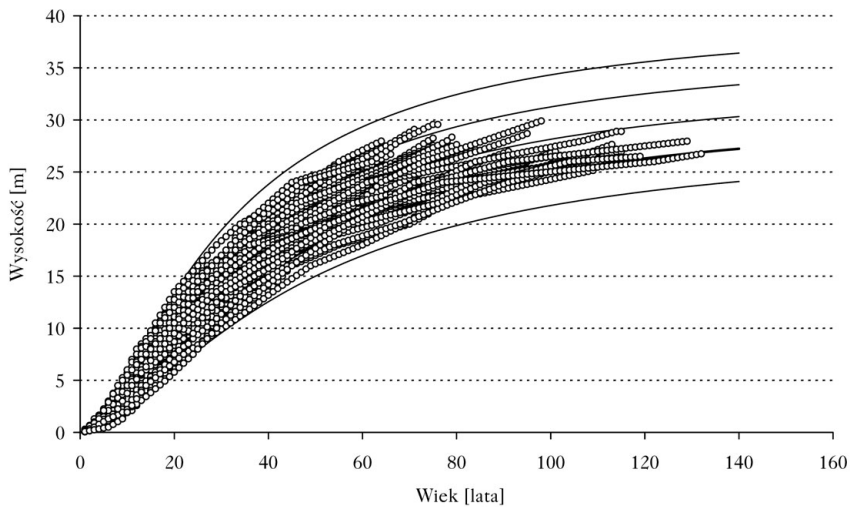
Parameters of different forms of local site index models elaborated with use of stem analysis data using base age invariant method for equations 3-5

Model	Parametr	Wartość parametru	Błąd standardowy	Statystyka t	Poziom prawdopodobieństwa	RMSE	R^2_{adj}
Wzór 3	Ψ_1	3,82699	0,00909	420,9	<0,00001	1,0779	0,9831
	Ψ_3	0,73716	0,00697	105,8	<0,00001		
Wzór 4	Ψ_1	1,54676	0,00740	209,0	<0,00001	0,7603	0,9884
	Ψ_2	9989,67	747,451	13,4	<0,00001		
	Ψ_3	15,4689	1,43058	10,8	<0,00001		
Wzór 5	Ψ_1	-0,53534	0,02673	-20,0	<0,00001	0,7860	0,9880
	Ψ_2	-0,03041	0,00022	-137,0	<0,00001		
	Ψ_2	7,55102	0,63474	11,9	<0,00001		



Ryc. 2.

Krzywe wzrostu wysokości wyrównane za pomocą równań 3-5
 Height growth curves fitted with the use of equations 3-5



Ryc. 3.

Krzywe bonitacyjne dla drzewostanów sosnowych Puszczy Niepołomickiej na tle krzywych wzrostu wysokości uzyskanych z analiz strzał

Site index curves for Scott pine stands of Niepołomice Primeval Forest on the background of height growth curves attained from stem analysis

Model Cieszewskiego [wzór 4] spełnia podstawowe kryteria stawiane przed nowoczesnymi systemami krzywych bonitacyjnych (polimorfizm, zmienne asymptoty, równość bonitacji i wysokości wyznaczonej w wieku bazowym oraz możliwość teoretycznej interpretacji parametrów), dlatego też krzywe wzrostu wysokości opisane za pomocą tego modelu uznano za lokalny system krzywych bonitacyjnych Puszczy Niepołomickiej SI_{PN} (wzór [6], ryc. 3):

$$SI_{PN} = H \frac{100^{1,54647} (T^{1,54647} R + 15,4689)}{T^{1,54647} (100^{1,54647} R + 15,4689)} \quad [6]$$

gdzie:

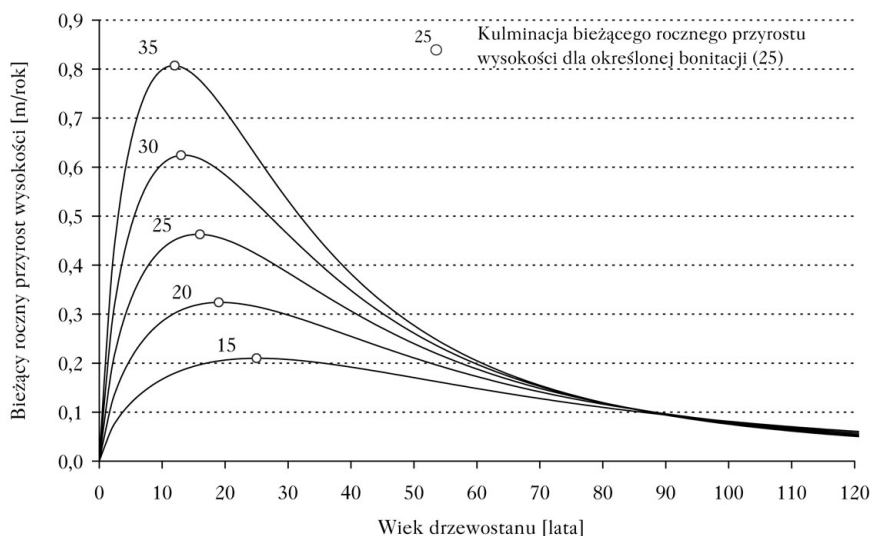
$$R = (H - 9989,67) + \left((H - 9989,67)^2 + \frac{2 \cdot 15,4689 \cdot H}{T^{1,54676}} \right)^{0,5} \quad [6.1]$$

Analiza modelowych krzywych przyrostu wysokości pozwala na stwierdzenie, że w lokalnych warunkach Puszczy Niepołomickiej kulminacja bieżącego przyrostu wysokości zależy od warunków siedliskowych i występuje w wieku od około 12 lat dla bonitacji 35 m do wieku 25 lat dla bonitacji 15 m (ryc. 4).

Zastosowanie lokalnego modelu krzywych bonitacyjnych nie spowodowało całkowitego wyeliminowania związku bonitacji drzewostanów z wiekiem (ryc. 5). Dla drzewostanów w wieku powyżej 80 lat bonitacje są nadal nieco niższe niż obserwowane w drzewostanach młodszych klas wieku. Dla drzewostanów młodych obliczone wskaźniki są jednak znacznie mniejsze od określonych na podstawie modelu Schwappacha czy modelu Bruchwalda. W drzewostanach V i starszych klas wieku opracowaną funkcją [wzór 6] uzyskano nieco wyższe wartości niż modelami SI_B czy SI_S (ryc. 5).

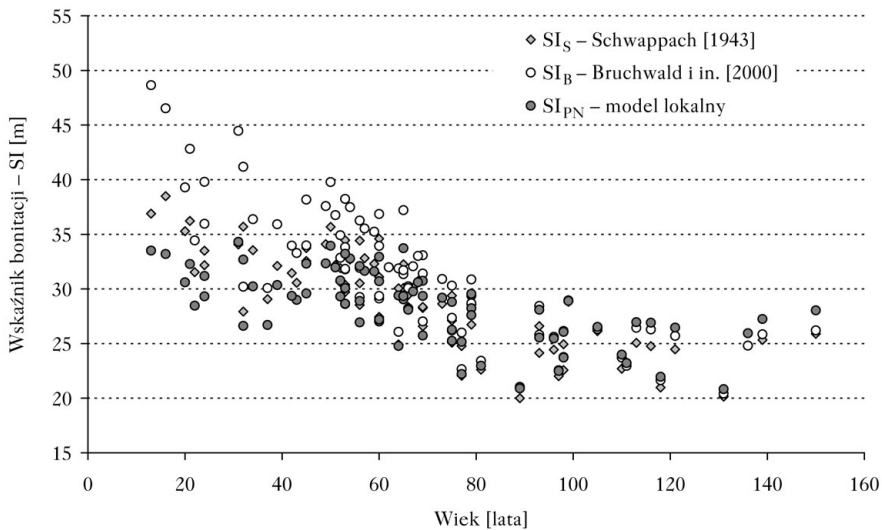
Dyskusja

Wyniki przeprowadzonych badań wskazują na lokalną specyfikę wzrostu wysokości drzewostanów sosnowych Puszczy Niepołomickiej, przejawiającą się przebiegiem wzrostu odmiennym od opisywanego stosowanymi w praktyce rozwiązaniami modelowymi. Spostrzeżenie to nie jest odosobnione. W literaturze podawane są różne przyczyny mające istotny wpływ na przebieg wzrostu wysokości. Calama i in. [2003] regionalne zróżnicowanie krzywych wzrostu wysokości sosny pini (*Pinus pinea*) i sosny nadmorskiej (*Pinus pinaster*) w Hiszpanii wyjaśniają zmiennymi



Ryc. 4.

Przebieg bieżącego rocznego przyrostu wysokości według opracowanego modelu krzywych bonitacyjnych (SI_{PN})
 Course of current annual height increment according to elaborated site index model (SI_{PN})



Ryc. 5.

Porównanie wskaźników bonitacji drzewostanów sosnowych Puszczy Niepołomickiej obliczonych na podstawie opracowanego lokalnego modelu krzywych bonitacyjnych [wzór 6] ze wskaźnikami bonitacji wyliczonymi na podstawie modeli Bruchwalda i in. [2000] oraz Schwappacha [1943]

Comparison of site indices for Scots pine stands of Niepołomice Primeval Forest calculated on the basis of elaborated, local site index model [equation 6] with the site indices calculated on the basis of site index models of Bruchwald i in. [2000] and Schwappach [1943]

warunkami środowiskowymi. Z badań Chena i in. [1998] wynika natomiast, że przebieg krzywych bonitacyjnych topoli osiki w Kolumbii Brytyjskiej uwarunkowany jest czynnikami klimatycznymi. Z tego też powodu problematycznym staje się stosowanie tych samych krzywych bonitacyjnych w różnych regionach klimatycznych. Na typ gleby jako jedną z przyczyn zróżnicowania krzywych bonitacyjnych świerka wskazują badania Johanssona [1995]. Wpływ zmienności genetycznej na przebieg wzrostu wysokości drzew stwierdzili m.in.: Bałut [1989], Kulej [2001], Adams i in. [2006], Orzeł i Kulej [1999] oraz Orzeł i Sabor [1994]. Z badań Buforda i Burkhardta [1987] wynika, że krzywe bonitacyjne opracowane dla gatunków analizowanych proveniencji różnią się parametrem opisującym asymptoty.

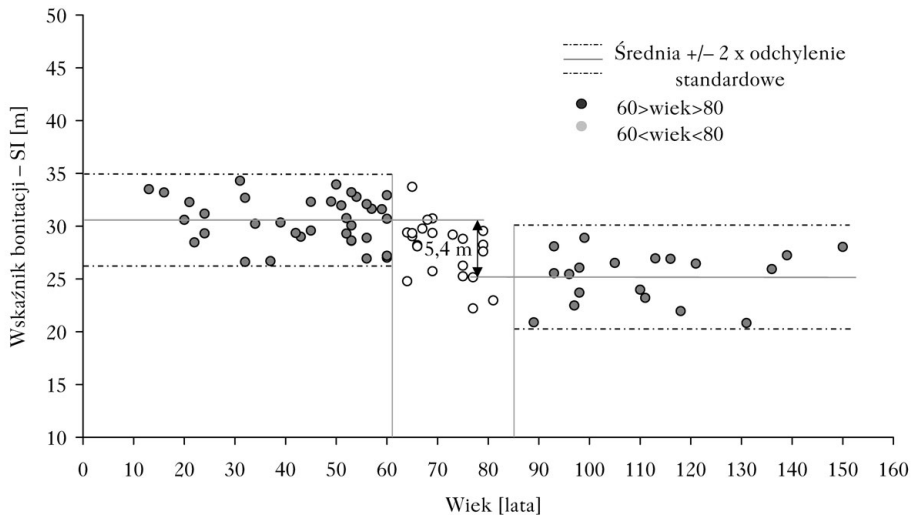
Przytoczone przykłady badań wskazują na konieczność opracowania lokalnych krzywych bonitacyjnych. Stosowanie krzywych błędnie opisujących przebieg wzrostu wysokości, w warunkach lokalnych, może mieć poważne konsekwencje. Jest bowiem między innymi przyczyną niewłaściwego określenia takich cech taksacyjnych jak: bonitacja, wskaźnik zadrzewienia oraz przyrost drzewostanów. Cechy te istotnie wpływają na podejmowane decyzje gospodarcze. W przypadku pojedynczych drzewostanów chodzi m.in. o ustalenie ich składu gatunkowego oraz zabiegów pielęgnacyjnych, zaś w skali gospodarstw czy jednostek wyższego rzędu o ustalenie poziomu pozyskania surowca drzewnego. Zagadnienie to jest tym ważniejsze, że na podstawie modeli wzrostu, w których głównym komponentem są krzywe bonitacyjne, w Systemie Informatycznym Lasów Państwowych wykonywana jest automatyczna aktualizacja stanu zasobów leśnych.

Poza czynnikami wpływającymi na lokalną zmienność przebiegu wzrostu wysokości drzew, istotną przyczynę błędnego określania cech taksacyjnych drzewostanów może także stanowić sposób budowy krzywych bonitacyjnych. W anamorficznym systemach krzywych bonita-

cyjnych przebieg wzrostu opisany jest za pomocą równania pojedynczej krzywej, a pozostałe szeregi rozwojowe tworzone są przez jej ekstrapolację. Zasadniczą wadą takiego, dość często stosowanego rozwiązania jest nieuwzględnienie w opracowanych modelach krzywych bonitacyjnych wpływu warunków siedliskowych na wiek kulminacji przyrostu wysokości.

Wstępną informację o dostosowaniu krzywych bonitacyjnych do lokalnych warunków wzrostu może stanowić analiza korelacyjnego związku określonej na ich podstawie bonitacji z wiekiem drzewostanów. Sposób ten mógłby być uznany za dość precyzyjną metodę weryfikacji opracowanych krzywych bonitacyjnych w przypadku równomiernego rozkładu drzewostanów w poszczególnych klasach wieku i warunkach siedliskowych. Korelacja między bonitacją i wiekiem może bowiem wynikać nie tylko z odmiennego od założonego w modelu krzywych bonitacyjnych tempa wzrostu wysokości, ale także nierównomiernego rozkładu drzewostanów.

Całkowitego wyeliminowania zależności bonitacji od wieku drzewostanów nie osiągnięto nawet w przypadku opracowanych lokalnych krzywych bonitacyjnych dla drzewostanów sosnowych Puszczy Niepołomickiej (ryc. 6). Okazało się, że średnia wartość wskaźnika bonitacji drzewostanów w wieku do 60 lat wynosząca 30,6 m jest o 5,4 m wyższa niż drzewostanów w wieku powyżej 85 lat (25,2 m). Prawdopodobną przyczyną obserwowanej zmienności wskaźnika bonitacji była wykonana w latach sześćdziesiątych XX wieku regulacja stosunków wodnych [Suliński 1981], w wyniku której nastąpiła poprawa warunków wzrostu sosny. Drzewostany około 40-50-letnie wzrastały w warunkach uregulowanych stosunków wodnych. Z analizy ryciny 6 wynika, że wysokimi bonitacjami charakteryzują również drzewostany nieco starsze, co mogłoby wskazywać na ich korzystną reakcję przyrostową na przeprowadzenie melioracji. Tę pozytywną reakcję przyrostową wykazały drzewostany, których wiek w momencie regulacji stosunków wodnych wynosił do około 45-50 lat. Im był on bliższy podanej granicy, tym reakcja wzrostowa była słabsza. Przedstawiona hipoteza, mimo że potwierdza wyniki badań Ostrowskiego [1971] o istotnym wpływie wieku na reakcję przyrostową drzewostanu na odwodnienie, wymaga prze-



Ryc. 6.

Różnica pomiędzy średnimi wartościami wskaźnika bonitacji drzewostanów Puszczy Niepołomickiej w wieku do 60 lat i powyżej 85 lat

Difference between mean values of site index for Niepołomice Primeval Forest stands in age below 60 years and over 60 years

prowadzenia bardziej szczegółowych analiz związku czynników środowiskowych z bonitacją drzewostanów sosnowych, uwzględniających między innymi warunki glebowe zarówno pod względem żyzności, jak i wilgotności.

Wnioski

- ✦ Opracowany w oparciu o model Cieszewskiego [2001] dynamiczny systemem krzywych bonitacyjnych dla Puszczy Niepołomickiej umożliwia stosowanie dowolnego wieku bazowego i pozwala zarówno na obliczanie wskaźnika bonitacji, jak i prognozowanie wysokości drzewostanu dla dowolnego przedziału czasowego.
- ✦ Stosowane powszechnie w praktyce leśnej modele krzywych bonitacyjnych znacznie zawyżają ocenę bonitacji młodych, szczególnie I i II klasy wieku, drzewostanów Puszczy Niepołomickiej.
- ✦ Ze względu na liczne przyczyny polimorfizmu przebiegu wzrostu wysokości oraz uproszczenia zastosowane przy opracowaniu dotychczasowych rozwiązań, zachodzi potrzeba walidacji stosowanych w praktyce krzywych bonitacyjnych głównych gatunków lasotwórczych Polski.
- ✦ Istnieje konieczność opracowania wiarygodnej i łatwej do praktycznego stosowania metody oceny dopasowania krzywych bonitacyjnych do lokalnych warunków wzrostu drzewostanów, która byłaby podstawą do podjęcia decyzji o konieczności ich weryfikacji. Z uwagi na praktyczne możliwości zastosowania takiego rozwiązania, w opracowanej metodzie powinny być wykorzystywane dane zbierane podczas standardowych prac inwentaryzacyjnych oraz ogólnodostępne informacje środowiskowe.
- ✦ Wstępną ocenę dopasowania krzywych bonitacyjnych do lokalnych warunków wzrostu może stanowić zależność wskaźnika bonitacji od wieku drzewostanów. Nie może to być jednak jedyne kryterium oceny adekwatności krzywych bonitacyjnych.

Literatura

- Adams J. P., Matney T. G., Land S. B., Belli K. L., Duzan H. W. 2006. Incorporating genetic parameters into a loblolly pine growth-and-yield model. *Can. J. For. Res.* 36: 1959-1967.
- Assmann E. 1968. Nauka o produktywności lasu. PWRiL, Warszawa.
- Bailey R. L., Clutter J. L. 1974. Base age invariant polymorphic site curves. *For. Sci.* 20 (2): 155-159.
- Bałut S. 1989. Zróżnicowanie wysokości w wieku 20 lat europejskich pochodzeń świerka pospolitego (*Picea abies* (L.) Karst.) doświadczenia IPTNS-IUFRO 64/68 na powierzchni doświadczalnej w Krynicy. *Sylvan* 134 (11/12): 19-27.
- Barrio Anta M., Diéguez-Aranda U. 2005. Site Quality of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) stands in Galicia (northwest Spain). *Eur. J. For. Res.* 124: 19-28.
- Bruchwald A., Kliczkowska A. 1997. Kształtowanie się bonitacji dla drzewostanów sosnowych Polski. *Prace IBL. Ser. A*: 838.
- Bruchwald A., Michalak K., Wróblewski L., Zasada M. 2000. Wzrost wysokości sosny w różnych regionach Polski. W: Bruchwald A. [red.]. *Przestrzenne zróżnicowanie wzrostu sosny*. Fundacja „Rozwój SGGW”. 77-83.
- Buford M., Burkhart H. E. 1987. Genetic Improvement Effects on Growth and Yield of Loblolly Pine Plantations. *For. Sci.* 33 (3): 707-724.
- Calama R., Cañadas N., Montero G. 2003. Inter-regional variability in site index models for even-aged stands of stone pine (*Pinus pinea* L.) in Spain. *Ann. For. Sci.* 60: 259-269.
- Chen H. Y., Klinka K. 2000. Height Growth Models for High-Elevation Subalpine Fir, Engelmann Spruce, and Lodgepole Pine in British Columbia. *West. J. For. Sci.* 15 (2): 62-69.
- Chen H. Y., Klinka K., Kabzems R. D. 1998. Site index, site quality, and foliar nutrients of trembling aspen: relationships and prediction. *Can. J. For. Res.* 28: 1743 - 1755.
- Cieszewski C. J. 2001. Three methods of deriving advanced dynamic site equations demonstrated on inland Douglas-fir site curves. *Can. J. For. Res.* 31: 165-173.
- Cieszewski C. J., Zasada M. 2002. Uniwersalna Metoda Różnic Algebraicznych: uogólnione wyprowadzanie dynamicznych równań bonitacyjnych opartych na teoriach biologicznych. *Sylvan* 147 (11): 51-62.
- Cieszewski C. J., Zasada M. 2003. Model bonitacyjny dla sosny na podstawie tablic zasobności Szymkiewicza. *Sylvan* 148 (1): 51-62.

- Elfving B., Kiviste A. 1997. Construction of site index equations for *Pinus sylvestris* L. using permanent plot data in Sweden. For. Ecol. Manage. 98: 125-134.
- Goelz J. C. G., Burk T. E. 1996. Measurement error causes bias in site index equations. Can. J. For. Res. 26: 1586-1593.
- Johansson T. 1995. Site index curves for Norway spruce plantations on farmland with different soil types. Studia Forestalia Suecica 198: 1-19.
- Kayahara G. J., Klinka K., Marshall P. L. 1998. Testing site index-site-factor relationships for predicting *Pinus contorta* and *Picea engelmannii* × *P. glauca* productivity in central British Columbia, Canada. For. Ecol. Manage. 110: 141-150.
- Kulej M. 2001. Zmienność oraz wartość hodowlana modrzewi różnych pochodzeń z terenu Polski w warunkach siedliskowych Beskidu Sądeckiego. Zesz. Nauk. AR w Krakowie, ser. Rozprawy 273.
- Kulej M., Socha J. 2008. Effect of provenance on the volume increment of grand fir (*Abies grandis* Lindl.) under mountain conditions of Poland. J. For. Sci. 54 (1): 1-8.
- Monserud R. A. 1984. Height growth and site index curves for inland Douglas-fir based on stem analysis data and forest habitat type. For. Sci. 30 (4): 943-965.
- Nigh G. D., Krestov P. V., Klinka K. 2002. Height growth of black spruce in British Columbia. The Forestry Chronicle 78 (2): 306-313.
- Orzeł S., Kulej M. 1999. Bark thickness of larches of various Polish provenances in an experimental area of the Forest Experimental Station in Krynica. Folia Forestalia Polonica, ser. A 41: 25-35.
- Orzeł S., Sabor J. 1994. Wstępna dendrometryczna charakterystyka wybranych cech sosny zwyczajnej na powrońien-cyjnej powierzchni doświadczalnej w Polankach k. Grybowa. Acta Agr. Silv., ser. Silv., 32: 37-44.
- Ostrowski S. 1971. Wpływ stosunków wodnych i ich regulacji na produktywność lasu. W: Myczkowski S. [red.]. Z zagadnień zwiększania produktywności lasów w Polsce. PWRiL, Warszawa. 226-234.
- Payandeh B., Wang Y. 1994. Modified site index equations for major Canadian timber species. For. Ecol. Manage. 64: 97-101.
- Schwappach D. 1943. Ertragstabeln der wichtigeren Holzarten. Druckerei Merkur, Praga.
- Socha J. 2008. Effect of topography and geology on the site index of *Picea abies* in the West Carpathian, Poland. Scand. J. For. Res. 23: 203-213.
- Socha J., Wężyk P. 2007. Allometric equations for estimating the foliage biomass of Scots pine. Eur. J. For. Res. 126: 263-270.
- Splechna B. E. 2001. Height growth and site index models for Pacific silver fir in southwestern British Columbia. BC Journal of Ecosystems and Management 1: 1-14.
- Suliński J. 1981. Zarys klimatu, rzeźby terenu i stosunki wodne w Puszczy Niepołomiczej. Studia Ośrodka Dokumentacji Fizjograficznej 9: 25-67.

SUMMARY

Dynamic site index curves for Scots pine stands in Niepołomicze Primeval Forest

The aim of the research was to evaluate, under the conditions of the Niepołomicze Primeval Forest, the usefulness of site index models applied in forest practice in Poland and to develop a local system of site index curves for Scots pine.

The research material included measurement results for the trees growing on 74 circular, 0.05 ha sample plots, selected out of 185, established in the Niepołomicze Forest on a regular (750×750 m) grid. Site indexes were calculated for individual sample plots on the basis of the models elaborated for Scots pine stands in Poland (SI_B ; formula 1) and Schwappach's yield and growth tables (SI_S ; formula 2), described mathematically by Cieszewski and Zasada [2003].

As a result of the completed analyses, a clear correlation of site index with age (fig.1) is shown. The observed correlation confirms that in the local Niepołomicze Primeval Forest conditions the age-related change in stand height is different than the growth process described by means of the analyzed models SI_B and SI_S used for determining stand site indexes in forest practice in Poland. By using these models under the local conditions of the Niepołomicze

Primeval Forest a significant overrating of site indexes for younger stands and their underrating for older stands should be anticipated (fig.1).

On the basis of several criteria used in the evaluation process, it was shown that among the initially selected model types (formulas 2-5), Cieszewski's model (formula 4) was the most suitable for the description of height growth in the studied pine stands in the Niepołomice Primeval Forest. The dynamic system of site index curves developed on the basis of this model enables use of any optional base age and calculation of the site index and forecasting stand height for any time interval.

Due to the numerous causes of height growth polymorphism and simplifications used in the development of to-date solutions, a need arises to validate the site index curves used in practice for the main forest tree species in Poland. Moreover, it is necessary to develop a reliable and easy-to-use method to evaluate the suitability of site index curves for the local stand growth conditions that would be the basis for making a decision about their verification. Given the practical possibilities of application of such a solution in the developed method, use should be made of the data collected during standard inventory works, as well as generally accessible environmental data. The correlation between site index and stand age can be a preliminary assessment of fitness of site index curves to the local growth conditions. However, this cannot be the only criterion of adequacy of site index curves.