

MICHAŁ ZASADA

Określanie bonitacji za pomocą młodocianego przyrostu wysokości w drzewostanach sosnowych

Site-index determination using growth intercept method in pine stands

Abstract. In this paper a method of determination of the site index in very young Scots pine stands is presented. The height of dominant and co-dominant trees at age of 100 years was used as the site index measure. Described method is successfully used in North America and some of European countries in addition to traditional methods of site index determination.

Keywords: Site index, site index curves, yield tables, top height, height increment, juvenile phase, early height increment, growth intercept, Scots pine

Wstęp

Określanie bonitacji za pomocą tradycyjnych metod opartych na tablicach zasobności i modelach bonitacyjnych w bardzo młodych drzewostanach może prowadzić do dużych błędów. Przede wszystkim młodociany wzrost drzew na wysokość, szczególnie w fazie uprawy i młodnika, jest zależny nie tylko od warunków siedliskowych, lecz również innych czynników, takich jak: jakość materiału sadzeniowego, wpływ konkurencji ze strony roślinności zielonej, działanie szkodników, choroby oraz warunki mikroklimatyczne. Wzrost we wczesnych latach uzależniony jest też od konkurencji o światło i konkurencji korzeniowej, co jest wynikiem wpływu zagęszczenia sadzonek i młodych drzewek. Zależy również od sposobu odnowienia, ponieważ siewki pochodzące z odnowienia naturalnego na skutek braku światła mogą mieć bardzo zahamowany przyrost na wysokość. W fazie uprawy i młodnika drzewka narażone są ponadto na choroby, uszkodzenia od zwierzyny, i szkodniki (Bruchwald, Żybura 1982). Wszystkie te czynniki powodują, że wysokość, jaką uzyskują młode osobniki w danym wieku, nie odzwierciedla dobrze warunków siedliskowych, a raczej wyraża działanie całego kompleksu czynników, z których większość ma niewiele wspólnego z późniejszą produktywnością drzewostanu (Carmean 1975).

Drugim powodem, dla którego sposoby stosowane w starszym wieku nie zdają egzaminu w fazie młodocianej, jest wpływ błędów określania wieku i wysokości na szacowaną

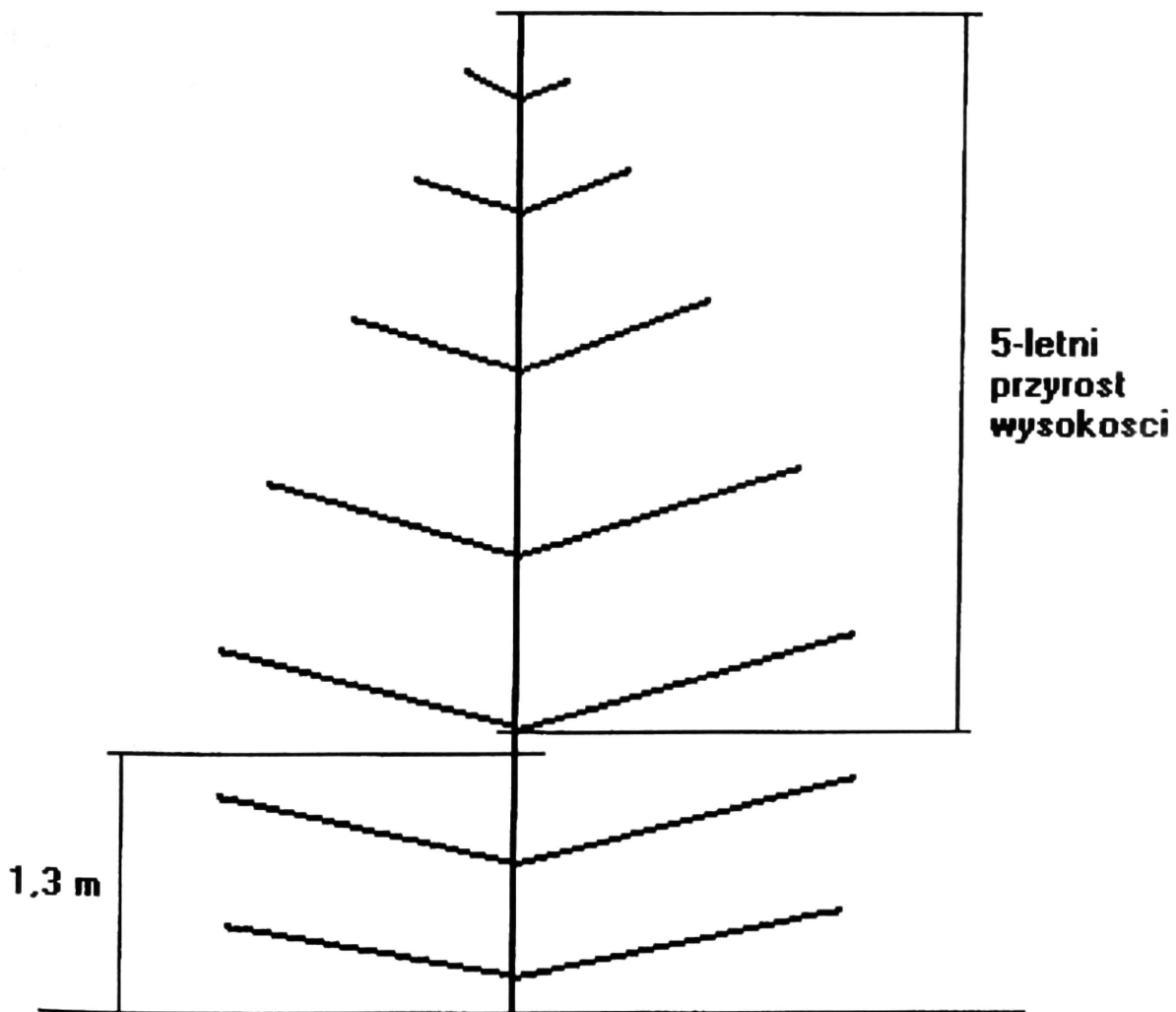
bonitację. W wielu wypadkach dokładne określenie całkowitego wieku uprawy czy młodnika jest trudne, a nawet niewielka bezwzględna różnica szacowanego wieku powoduje duże względne różnice w stosowanych modelach bonitacyjnych (np. tablicach zasobności), gdzie krzywe bonitacyjne przy początku układu współrzędnych przebiegają bardzo blisko siebie (Curtis i in. 1974). Szczególnie trudne jest określenie wieku upraw i młodników powstałych z odnowienia naturalnego, zwłaszcza gatunków cienioznośnych. Podobnie nawet niewielkie błędy w określaniu wysokości drzew mają duży wpływ na uzyskiwaną bonitację. Szczególnie duże błędy mogą powstać podczas pomiaru przegęszczonych młodników, w których widoczność wierzchołków drzew jest bardzo słaba (Carmean 1975).

Kolejną trudnością w stosowaniu krzywych bonitacyjnych w młodym wieku jest fakt, że część z nich, zwłaszcza zawarta w tradycyjnych tablicach zasobności, daje możliwość określania bonitacji w wieku najwcześniej 20-30 lat. Próba uzyskania krzywych dla młodszego wieku drogą ekstrapolacji, zwłaszcza krzywych harmonicznym, nie zdaje egzaminu z powodu różnego przebiegu schematu wzrostu wysokości na różnych siedliskach (Carmean 1975).

Rozwiązaniem tego problemu może być zastosowanie do szacowania bonitacji przyrostu wysokości wytworzonego przez drzewo w fazie młodocianej, w okresie kilku lat po przekroczeniu określonej wysokości. Metoda ta, po raz pierwszy opisana przez Wakeley'a w końcu lat trzydziestych (Wakeley i Marrero 1958), nosi nazwę "growth intercept method", co tłumaczone być może jako "metoda młodocianego przyrostu wysokości". Wszystkie metody wykorzystujące tę ideę polegają na pomiarze określonej liczby kolejnych rocznych przyrostów wysokości (odległości między okółkami), rozpoczynających się powyżej ściśle określonego miejsca na strzale, np., pierwszego okółka powyżej pierśnicy. Zasada pomiaru młodocianego przyrostu wysokości przedstawiona jest na rycinie 1. Określony w ten sposób przyrost może być użyty jako bezpośrednia miara jakości siedliska lub może stanowić element równania służącego do określania bonitacji (Carmean 1975). Wartość przyrostu wysokości dla drzewostanu określa się jako średnią arytmetyczną pomiarów dokonanych na próbie drzew. Najczęściej używany jest pomiar długości 5 przyrostów rocznych, czyli metoda przyrostu pięcioletniego. Przy tej długości okresu wykonanie pomiaru przyrostów przy pomocy, np. tyczki lub łaty jest stosunkowo proste, natomiast zanika już wpływ zmienności rocznych przyrostów wysokości, spowodowanej zmiennymi warunkami klimatycznymi (Carmean 1975). Zaletą opisanego sposobu jest to, że nie jest konieczne określanie całkowitego wieku młodnika. Ponadto dokładny pomiar przyrostu jest z reguły łatwiejszy, niż pomiar wysokości drzew górujących i panujących.

Metoda ta stosowana jest z powodzeniem w niektórych krajach, zwłaszcza w Ameryce Północnej, jako uzupełnienie tradycyjnych metod określania bonitacji (Ferree i in. 1958, Wakeley i Marrero 1958, Beck 1971, Alban 1972, Carmean i in. 1989, Brisco i New 1999, Nigh 1999a, 1999b, Nigh i Love 1999). W starszym wieku zalecane jest stosowanie sposobów określania bonitacji opartych o pomiary wieku i wysokości górnej (np., Clutter i in. 1983).

Niniejsza praca prezentuje metodę młodocianego przyrostu wysokości na przykładzie drzewostanów sosny pospolitej w Polsce. Aby uniknąć błędów pochodzących ze stosowania istniejących tablic zasobności lub krzywych bonitacyjnych, jako miara bonitacji posłużyła wysokość drzew dominujących i panujących w wieku 100 lat. Wysokość ta oraz



RYC. 1. Schemat określania młodocianego przyrostu wysokości

wielkość przyrostu wysokości w fazie młodocianej została uzyskana metodą analizy pniowej. Opisana metoda służyć może w praktyce do szacowania bonitacji w bardzo młodych drzewostanach sosnowych, gdzie stosowanie tradycyjnych krzywych bonitacyjnych prowadzi do znacznych błędów.

Materiał i metodyka

Materiał pomiarowy wykorzystany w niniejszej pracy pochodzi ze zbioru danych Zakładu Dendrometrii i Nauki o Produkcyjności Lasu SGGW (dawna Katedra Produkcyjności Lasu). Stanowią go wyniki analiz pniowych 118 sosen w wieku od 100 do 223 lat, wykonane na 59 powierzchniach badawczych Zakładu zlokalizowanych w Puszczech: Augustowskiej (5 powierzchni), Rominckiej (12 powierzchni) i Knyszyńskiej (9 powierzchni), Borach: Tucholskich (17 powierzchni) i Zielonogórskich (6 powierzchni) oraz w Lasach Janowskich (10 powierzchni). Powierzchnie reprezentują w większości siedliska boru świeżego i boru mieszanego świeżego. Szczegółowy opis poszczególnych powierzchni oraz warunków siedliskowych dostępny jest w literaturze (Bruchwald i Kliczkowska 2000).

Do pomiarów wybierane były drzewa górujące lub panujące, a więc te, które używane są do określania bonitacji na podstawie wysokości górnej. Przed ścięciem zaznaczono na nich

pierśnicę. Po ścięciu drzew strzały były dzielone na sekcje o różnej długości, na których liczone słoje. W celu uniknięcia błędów, liczenie odbywało się na dwóch prostopadłych kierunkach przekrojów poprzecznych pnia. Na podstawie wysokości położenia przekrojów, liczby słoja na poszczególnych przekrojach oraz wieku sosny określono moment, w którym drzewo uzyskało daną wysokość. Otrzymane dane posłużyły do określenia: wieku, w którym drzewa przekroczyły wysokość 1,30 m od ziemi, średniego rocznego przyrostu wysokości z okresu pięciu lat po przekroczeniu przez drzewo pierśnicy oraz wysokości w wieku 100 lat. Wartości zmiennych dla poszczególnych powierzchni określone zostały jako średnia z mierzonych drzew próbnych.

Zależność wysokości w wieku 100 lat od średniego rocznego przyrostu wysokości wyrównano do krzywej potęgowej metodą Newtona-Raphsona za pomocą procedury NLIN pakietu SAS (SAS Institute 1989). Dokonano również analizy błędów uzyskanego modelu.

Wyniki

Zależność wysokości w wieku 100 lat od średniego rocznego przyrostu wysokości przedstawiono na rycinie (ryc. 2). Do opisu tej zależności najlepszym okazał się potęgowy model regresji o postaci:

$$H_{100\text{lat}} = A \cdot GI^B + \delta$$

gdzie:

$H_{100\text{ lat}}$

– wysokość górna w wieku 100 lat (bonitacja wzrostowa),

GI

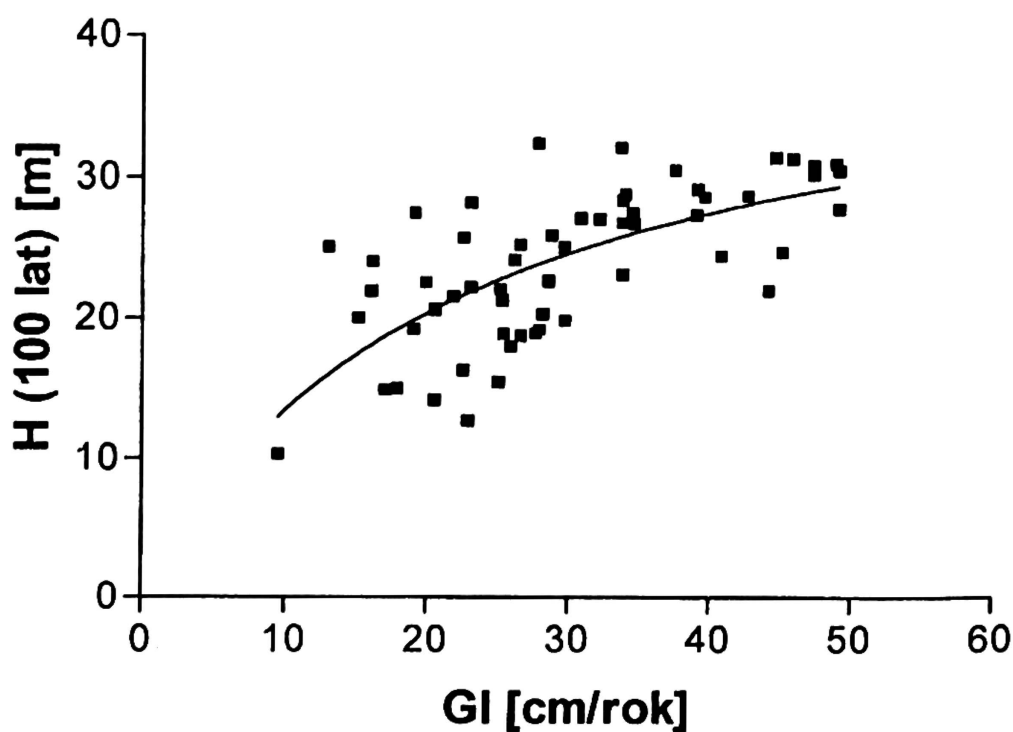
– średni roczny przyrost wysokości z 5 lat po przekroczeniu przez drzewo pierśnicy ("growth intercept"),

A, B

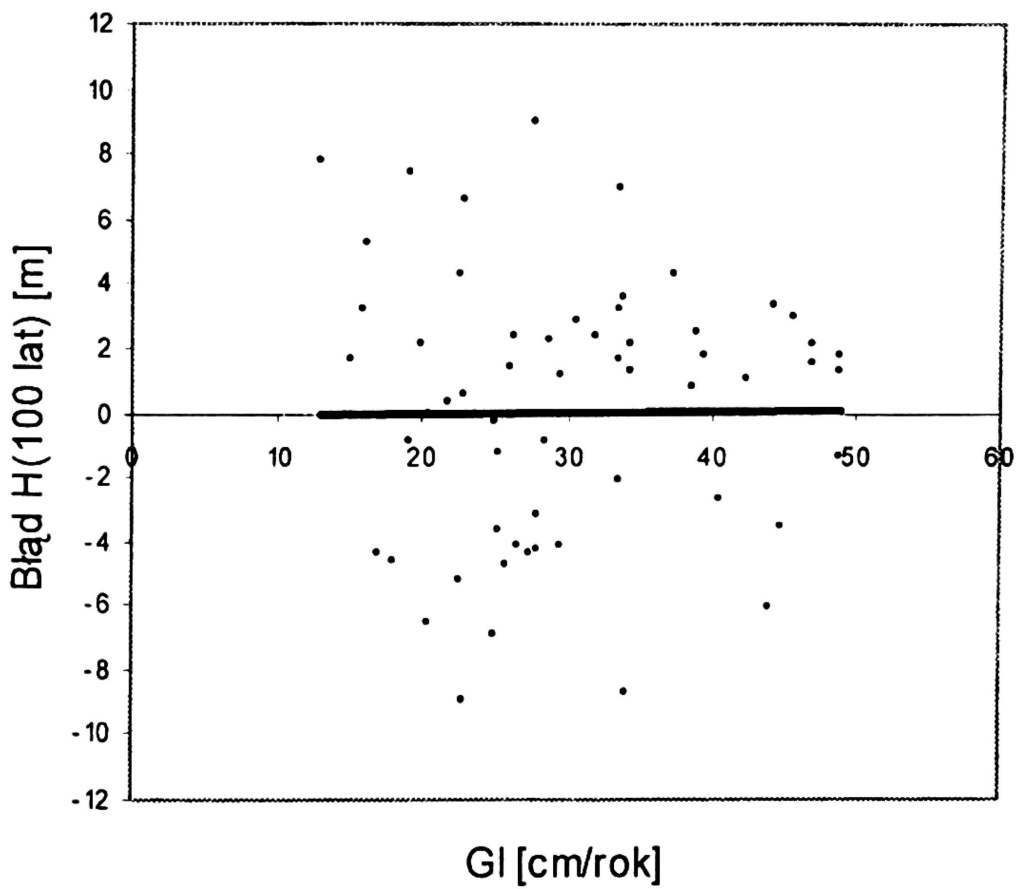
– współczynniki równania,

δ

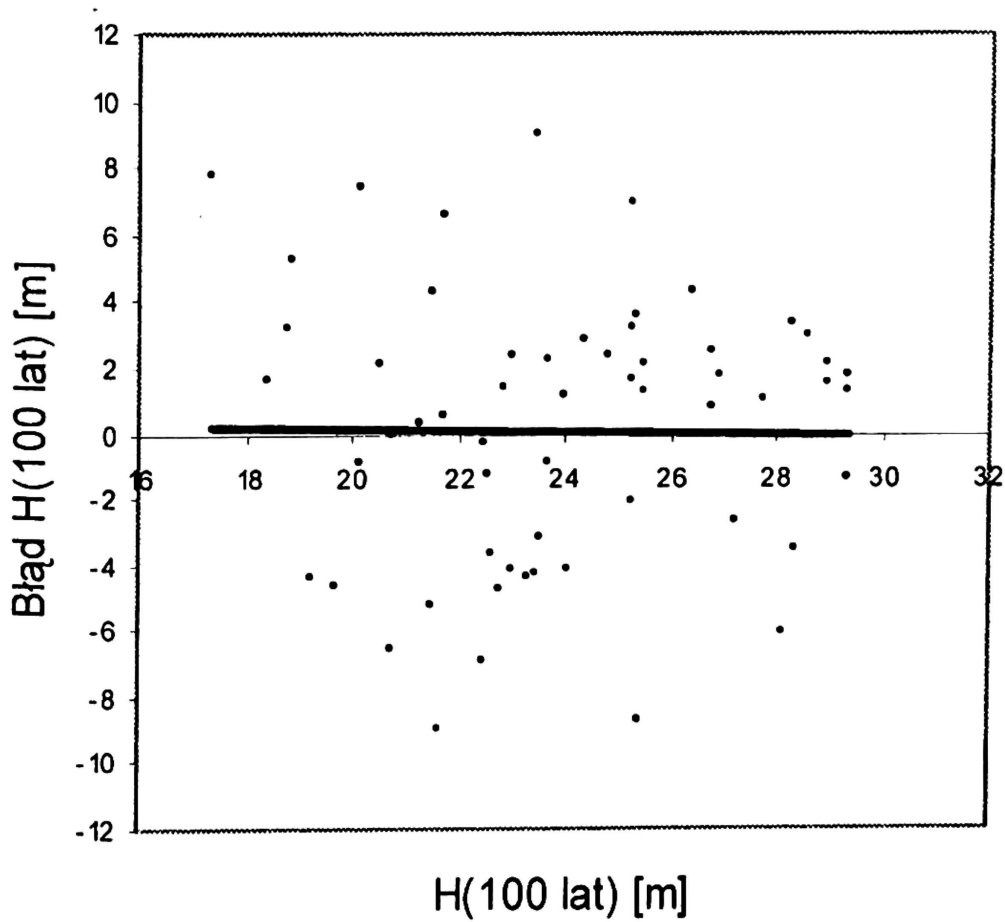
– składnik losowy.



RYC. 2. Zależność między wysokością drzewostanu w wieku 100 lat a młodocianym przyrostem wysokości



RYC. 3a. Zależność błędu określania wysokości w wieku 100 lat za pomocą młodocianego przyrostu wysokości od przyrostu wysokości



RYC. 3b. Zależność błędu określania wysokości w wieku 100 lat za pomocą młodocianego przyrostu wysokości od bonitacji

W wyniku wyrównania zależności uzyskano funkcję postaci:

$$H_{100\text{lat}} = 6,219 \cdot GI^{0,399}$$

Krzywą reprezentującą tę funkcję przedstawiono na rycinie (ryc. 2).

Badana zależność nie jest zbyt silna, bowiem stosunek korelacyjny R wynosi 0.584. Współczynnik determinacji R^2 wynosi 0,3415, a zatem niecałe 35% zmienności wysokości drzewostanu w wieku 100 lat da się wytłumaczyć zmiennością młodocianego przyrostu wysokości. Jest to jednak zależność istotna, wartość statystyki F wynosi bowiem 937,5. Oznacza to, że hipotezę zerową o braku związku między zmiennymi GI i $H_{100\text{ lat}}$ należy odrzucić przy poziomach istotności $>0,001$.

Kolejnym krokiem analizy było badanie precyzji przewidywań uzyskiwanych za pomocą otrzymanego modelu. Odchylenie standardowe różnic wartości $H_{100\text{ lat}}$ i rzeczywistej wysokości górnej drzewostanu w wieku 100 lat wynosi 4,29 m. Średnia arytmetyczna wartości bezwzględnej odchylenia wynosi 3,5. W praktyce oznacza to różnicę jednej klasy bonitacji określanej za pomocą tablic Schwappacha dla sosny (Szymkiewicz 1971).

Dokonano również analizy dokładności uzyskanego modelu. Średnia arytmetyczna odchylenia poszczególnych pomiarów od krzywej regresji wynosi 0.009089. Badanie testem t -Studenta wykazało, że jest to wartość nie różniąca się istotnie od zera nawet przy minimalnym poziomie istotności. Sprawdzone również rozkład błędów w zależności od przyrostu wysokości i wysokości górnej (ryc. 3). W obydwu przypadkach nie stwierdzono istotnej zależności między błędami a tymi cechami. Za pomocą testu Kołmogorowa-Smirnowa stwierdzono także, że hipotezy o zgodności rozkładu empirycznego błędów z rozkładem normalnym, przy poziomie istotności $\alpha=0,05$, nie można odrzucić. Oznacza to, że zbudowany model nie daje błędów systematycznych, czyli dostarcza nieobciążonego oszacowania wysokości drzewostanu w wieku 100 lat ($H_{100\text{ lat}}$) na podstawie przyrostu młodocianego (GI).

Dyskusja

Opisany model daje nieobciążone oszacowanie bonitacji na podstawie przeciętnego przyrostu wysokości w fazie młodocianej. Zastrzeżenia budzić jednak może precyzja prezentowanego modelu. Przeciętne odchylenie modelowanej wysokości w wieku 100 lat od modelu na poziomie kilku metrów może powodować, że praktyczne zastosowanie metody będzie niecelowe. Sytuacja powyższa może być spowodowana kilkoma czynnikami, które w przyszłości będzie można wyeliminować:

- Prezentowany model zbudowany został na stosunkowo małej próbie 59 powierzchni zlokalizowanych w różnych miejscach Polski. Powoduje to, że uzyskane błędy modelu są dość duże.
- Powierzchnie zlokalizowane w niektórych regionach kraju mogą charakteryzować się różnym przebiegiem opisywanej zależności bonitacji od młodocianego przyrostu wysokości. Oprócz różnic regionalnych, które pozostają na razie niezbadane, istnieć mogą również różnice spowodowane różnym zagospodarowaniem bada-

nych drzewostanów (np. niektóre powierzchniowo zlokalizowane w Lasach Janowskich były w przeszłości meliorowane). Stwierdzenie wymienionych różnic było niemożliwe z powodu niewielkiej liczebności próby.

- Określanie bonitacji opartej na starszym wieku bazowym (tu: 100 lat) zawsze będzie mniej dokładne, niż przy niższym wieku bazowym (np. 50 lat). W niniejszej pracy przyjęto jednak ten wyższy wiek, by zachować kompatybilność modelu z istniejącym w Polsce modelem wzrostu wysokości dla sosny (Bruchwald 1977, 1979). W krajach Europy Zachodniej i Ameryki Północnej stosuje się najczęściej wysokość górną drzewostanu w wieku 50 lat jako definicję bonitacji (np., Carmean i in. 1989). Dla tej wartości wieku bazowego uzyskiwane odchylenia są znacznie mniejsze (np., Nigh 1995).
- W niniejszej pracy wysokość górną powierzchni próbnych oraz przyrost wysokości w fazie młodocianej dla poszczególnych drzewostanów określano na podstawie tylko dwóch drzew próbnych. W praktyce należałoby tę liczbę zwiększyć.

Podsumowanie i wnioski

- Określanie bonitacji za pomocą tradycyjnych metod opartych na tablicach zasobności i modelach bonitacyjnych w bardzo młodych drzewostanach może prowadzić do dużych błędów. Rozwiązaniem tego problemu jest zastosowanie do szacowania bonitacji metody młodocianego przyrostu wysokości.
- W niniejszej pracy na przykładzie drzewostanów sosnowych Polski, zaprezentowana została metoda określania bonitacji na podstawie młodocianego przyrostu wysokości. Po dodatkowych badaniach, szczególnie obejmujących zmienność regionalną młodocianego przyrostu wysokości oraz wpływ zabiegów gospodarczych na ten przyrost, a także zweryfikowaniu uzyskanego modelu na niezależnym materiale empirycznym, można polecić tę metodę do stosowania w praktyce.

Literatura

- Alban D.H., 1972. An improved growth intercept method for estimating site index of red pine. USDA For. Serv., St. Paul MN, Res. Pap. NC-80. 7p.
- Beck, D.E. 1971. Polymorphic site index curves for white pine in the southern Appalachians. USDA For. Serv. Res. Pap. SE-80. 8 pp.
- Brisco D., New D., 1999. Growth Intercept Models for Western Larch. Ministry of Forest Research Program, British Columbia, Extension Note 38, 4p.
- Bruchwald A., 1977. Change in top height of pine forest stands with age. Bull. Acad. Pol. Sc., Ser. Biol., 5: 335-342
- Bruchwald A., 1979. Zmiana z wiekiem wysokości górnej w drzewostanach sosnowych. Sylwan, 2: 1-11.

- Bruchwald A., Żybura H.**, 1982. Problemy oceny wartości hodowlanej odnowień. Sylwan 1, 2, 3: 1-6.
- Bruchwald A., Kliczkowska A.**, 2000. Charakterystyka przyrodniczo-leśna powierzchni badawczych (Nature - Forest Description of Study Plots). W: Przestrzenne zróżnicowanie wzrostu sosny. Fundacja Rozwój SGGW: 10-16.
- Carmean W.H.**, 1975. Forest site quality evaluation in the United States. Adv. Agron. 27: 209-269.
- Carmean W.H., Hahn J.T., Jacobs R.D.**, 1989. Site index curves for forest tree species in the eastern United States. Gen. Tech. Rep. NC-128. St. Paul, MN: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station. 142 p.
- Clutter C.L., Forston J.C., Pienaar L.V., Brister G.H., Bailey R.L.**, 1983. Timber Management: A Quantitative Approach. John Wiley & Sons Inc., New York. 333 p.
- Curtis R.O., D.J. DeMars, F.R. Herman**, 1974. Which dependent variable in site index-height-age regression? For. Sci. 20(1): 74-87.
- Feerree M.J., Shearer T.D., Stone E.J.**, 1958. A method of evaluating site quality in young red pine plantations. J. For. 56: 328-332.
- Nigh G.D.**, 1995. Variable growth intercept models for lodgepole pine in the Sub-Boreal Spruce biogeoclimatic zone, British Columbia. B.C. Min. For. Res. Br., Victoria, B.C., Res. Rep. 05.
- Nigh G.D.**, 1999a. Growth intercept models and tables for British Columbia: interior species. 3rd edition. B.C. Min. For. Res. Br. Land Manage. Handb. Field Guide Insert 10.
- Nigh G.D.**, 1999b. Growth intercept models and tables for British Columbia: coastal species. 3rd edition. B.C. Min. For. Res. Br. Land Manage. Handb. Field Guide Insert 9.
- Nigh G.D., Love B.A.**, 1999. A model for estimating juvenile height of lodgepole pine. For. Ecol. And Management 123: 157-166.
- SAS Institute Inc. 1989. SAS/STATTM users guide. Release 6.04 ed. SAS Institute, Cary, N.C.
- Szymkiewicz B.**, 1971. Tablice zasobności i przyrostu drzewostanów. PWRiL Warszawa.
- Wakeley P.C., Marrero J.**, 1958. Five-year height intercept as site index in southern pine plantations. J. For. 56: 332-336.

*Zakład Dendrometrii i Nauki o Produkcyjności Lasu
Wydział Leśny SGGW, Warszawa
zasada@delta.sggw.waw.pl*

Summary

Site-index determination using growth intercept method in pine stands

Site index determination based on yield tables and site index models in very young stands can lead to huge errors. A solution of this problem is utilization of average tree height increment based on e.g., 5 years after the tree has reached certain height, e.g., breast height for site index assessment. This method was described by Wakeley at the end of 30s. It was called "growth intercept method".

This paper presents growth intercept method on the example of Scots pine in Poland. Height of dominant and co-dominant trees at age of 100 years was used as the site index measure. Heights were assessed using stem analysis of trees from 56 sample plots located in Poland on typical pine sites.

The empirical equation was developed for relationship of top height at the age of 100 and 5-year growth intercept [2]. The curve for this relationship is shown on the picture 2 (Fig. 2).

The relationship is not very strong (coefficient of determination $R^2=0.3415$), but statistically significant. Standard deviation of residuals is 4.29 m. Average error is 3.5 m. Analysis of residuals showed that the model does not give systematic errors, which means that it gives unbiased assessment of stand's top height at the age of 100 ($H_{100 \text{ lat}}$) based on early height growth (growth intercept).

After verification described method can be used in practice for site index determination in very young Scots pine stands.