

MODEL WZROSTU NIEPIELĘGNOWANYCH DRZEWOSTANÓW SOSNOWYCH*

II. LOKALNY MODEL BONITACYJNY PINUS

Cezary Beker, Tomasz Andrzejewski

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Streszczenie. Wieloletni program badawczy, prowadzony na stałych powierzchniach doświadczalnych, pozwolił opracować lokalny bonitacyjny model wzrostu drzewostanów sosnowych (PINUS). Na podstawie odpowiednio wyselekcjonowanego, pod względem ilościowym i jakościowym, materiału empirycznego oraz po pogrupowaniu drzewostanów o podobnym tempie wzrostu, dobrano najlepsze funkcje regresji. W ostatecznym wyborze funkcji i algorytmów kierowano się wielkością współczynników determinacji i wtórnych błędów procentowych. Korzystanie z modelu jest przyjazne dla użytkownika, albowiem funkcjonuje on w wersji elektronicznej środowiska EXCEL. Adekwatną bonitację ustalamy według wysokości średniej lub górnej w określonym wieku, wykorzystując do tego celu tablicę bonitacyjną (BON) lub wykresy wysokości średniej (WH) i wysokości górnej (WH_g). Korzystając z arkusza BON, wpisujemy do komórki X ustalony wiek drzewostanu. Następnie określoną w drzewostanie wysokość średnią (H) lub górną (H_g) porównujemy z wyświetlonymi w wierszu X danymi i wybieramy najlepiej dopasowaną bonitację. Dobieramy odpowiedni arkusz: B24-B34 i wpisujemy w nim do komórki X ustalony wiek drzewostanu. W wierszu X i wierszu powyżej zostaną wyświetlone dane cechy dla wieku X i $X-5$. Wszystkie cechy można uzyskać bezpośrednio z tablic: B24-B34, w 5-letnim odstopniowaniu wieku w zakresie od 20 do 120 lat. Opracowany model wzrostu może być wykorzystany do szacowania nadziemnej biomasy i sekwestracji węgla niepielęgnowanych drzewostanów sosnowych, w zakresie bonitacji: BON24-BON34, na terenie Leśnego Zakładu Doświadczalnego Murowana Goślina. W celu regionalnego stosowania modelu PINUS jest konieczna analiza jego dokładności w innych rejonach Polski i ewentualne korygowanie współczynników bazowych równań. W przyszłości jest także planowane uzupełnienie modelu o słabsze bonitacje poprzez rozszerzenie zasięgu badań o regiony, w których wyrastają takie drzewostany.

Słowa kluczowe: model wzrostu, sosna zwyczajna, drzewostany niepielęgnowane, lokalny model bonitacyjny

*Praca powstała w ramach projektu badawczego nr 0383/B/P01/2009/37, finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

WSTĘP

Lokalny referencyjny model wzrostu PINUS ZIELONKA pozwala na szacowanie nadziemnej biomasy i sekwestracji węgla niepielęgnowanych drzewostanów sosnowych na terenie Leśnego Zakładu Doświadczalnego Murowana Goślina [Beker i Andrzejewski 2013]. Nawet jednak w warunkach lokalnych dla bardziej precyzyjnego ustalania cech taksacyjnych konieczne jest opracowanie modelu bonitacyjnego.

Od początku XX wieku obserwujemy ewolucyjny rozwój modeli powiązanych z bonitacją siedliska. Pierwotnie miały one charakter statyczny jako tablice uwzględniające bonitacje względne, które były funkcją średniej wysokości i wieku.

Można tutaj wyróżnić tablice zasobności i przyrostu drzewostanów sosnowych opracowane ostatecznie dla pięciu klas bonitacji (I-V) przez Schwappacha [1912]. Dla drzewostanów na siedliskach najlepszych zostały one rozszerzone, poprzez ekstrapolację, o bonitację Ia przez Szymkiewicza [1949, 1966]. Przykładem wykorzystania bonitacji absolutnych, jako wysokości średnich lub górnych w wieku bazowym [Halaj i Petras 1998], są tablice Lembckego i in. [2000] oraz Rehaka [1980]. W latach osiemdziesiątych ubiegłego wieku nastąpił wielostronny rozwój modeli dynamicznych. Jako przykład można wymienić: stochastyczne modele drzewa indywidualnego (*MDI-I* i *MISK*) opracowane przez Bruchwalda [1986, 1988, 1991 a] i graniczny model wzrostu [Bruchwald 1991 b], symulator dla drzewostanów jednogatunkowych i mieszanych *PROGNAUS* [Sterba i in. 1995], program *BWIN* [Nagel 1998] oraz symulator *SILVA* [Pretzsch i in. 2002].

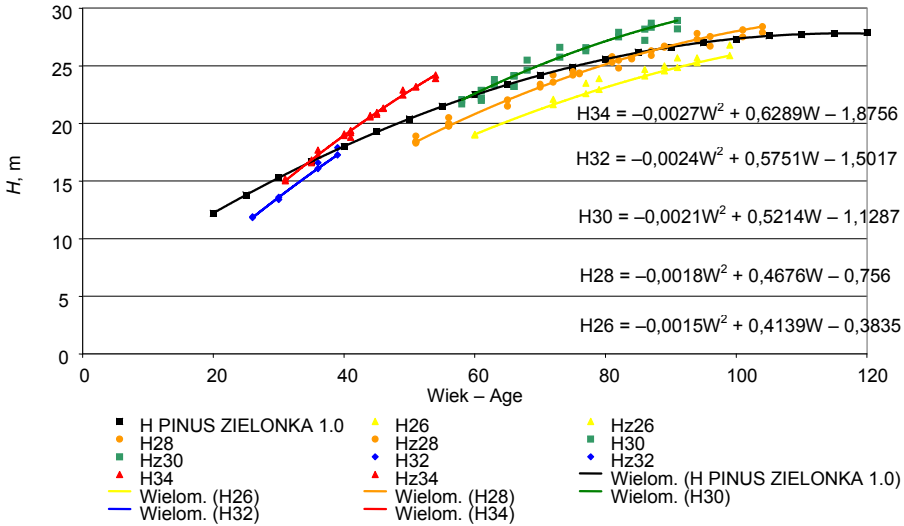
Celem drugiego etapu realizacji projektu badawczego było opracowanie lokalnego modelu bonitacyjnego wzrostu niepielęgnowanych drzewostanów sosnowych (PINUS). Do osiągnięcia wyznaczonego celu wykorzystano metodę wielokrotnego okresowego pomiaru obiektów obejmujących szeregi rozwojowe drzewostanów i wyselekcjonowanie drzewostanów o podobnym tempie wzrostu wysokości, na podstawie wysokości bazowej w wieku 100 lat.

MATERIAŁ EMPIRYCZNY I METODY

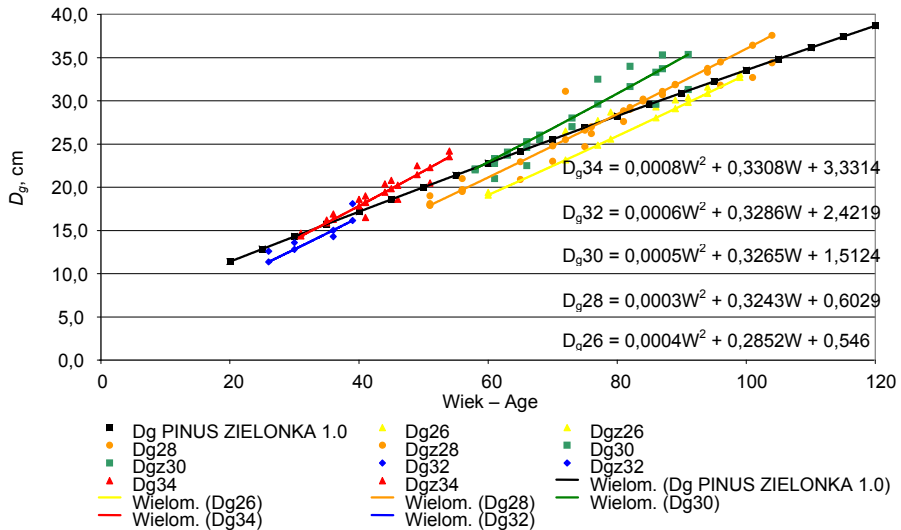
Obiekt i materiał empiryczny opisano w pracy Bekera [2009] oraz Bekera i Andrzejewskiego [2013]. Po opracowaniu modelu PINUS ZIELONKA, w celu konstrukcji modelu bonitacyjnego PINUS, pogrupowano drzewostany o zbliżonym tempie wzrostu wysokości. Cechy drzewostanów poszczególnych bonitacji (BONX, gdzie X – wysokość średnia w wieku 100 lat) scharakteryzowano z wykorzystaniem statystyk opisowych. Analogicznie jak w lokalnym modelu referencyjnym, dla jak najlepszego dopasowania zmian cech z wiekiem wykorzystano odpowiednie funkcje regresji [Beker i Andrzejewski 2013]. W celu wykonania analiz zastosowano program Statistica ver. 8.0.725.0 [Stanisz 2006].

WYNIKI

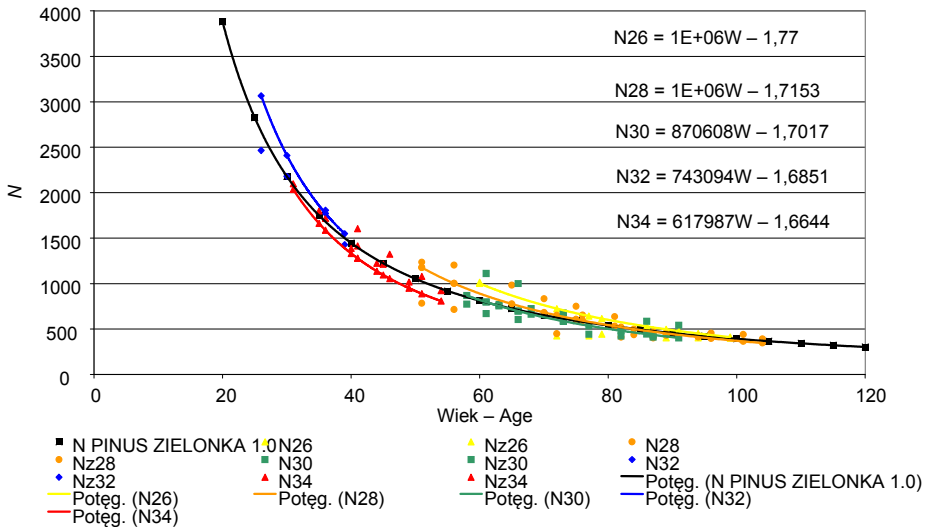
W celu opracowania modelu bonitacyjnego PINUS pogrupowano drzewostany o zbliżonym tempie wzrostu wysokości. Wyselekcjonowano drzewostany reprezentujące bonitacje: BON26, BON28, BON30, BON32, BON34 (rys. 1-3).



Rys. 1. Zmiana z wiekiem średniej wysokości drzewostanów bonitacji: BON26 – BON34
 Fig. 1. Change with age of mean height of stands site index: BON26 – BON34



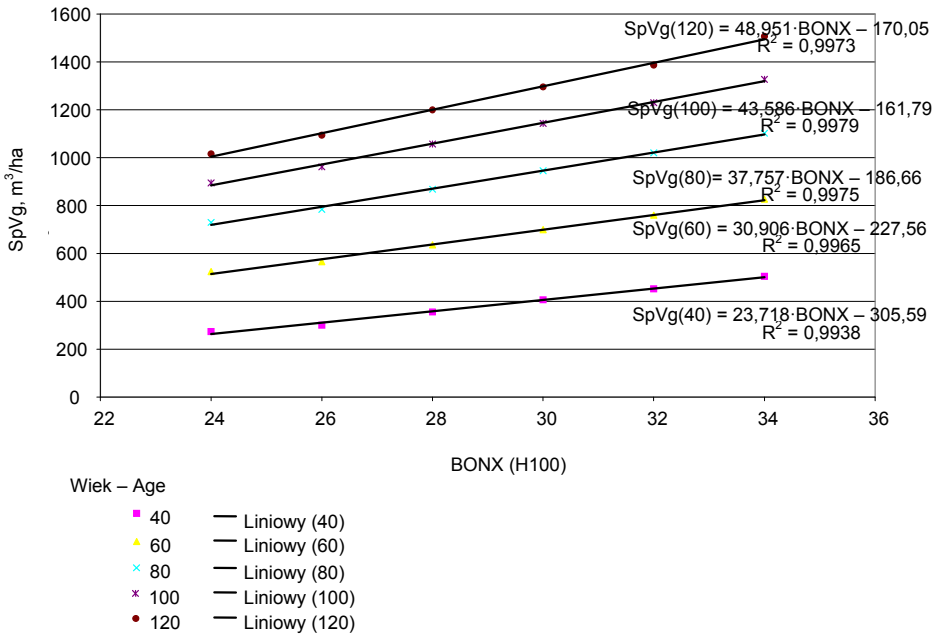
Rys. 2. Zmiana z wiekiem przeciętnej pierśnicy drzewostanów bonitacji: BON26 – BON34
 Fig. 2. Change with age of mean breast height diameter of stands site index: BON26 – BON34



Rys. 3. Zmiana z wiekiem przeciętnej liczby drzew na hektar bonitacji: BON26 – BON34
 Fig. 3. Change with age of mean number trees per hectare of stands site index: BON26 – BON34

Wzrost średniej wysokości z wiekiem dla tak pogrupowanych drzewostanów charakteryzuje się bardzo silną zależnością. Współczynnik determinacji wynosi od 0,937 do 0,997. Podobną tendencję odnotowuje się dla wzrostu przeciętnej pierśnicy z wiekiem drzewostanów poszczególnych bonitacji. Odzwierciedleniem jest silny związek, współczynnik determinacji waha się od 0,839 do 0,969. Trzecia z analizowanych cech, zmiana zagęszczenia z wiekiem dla grup drzewostanów, wykazuje słabszą zależność. Współczynnik determinacji przyjmuje wartości od 0,556 do 0,941. Potwierdza to fakt największej dyspersji tej cechy. Współczynnik zmienności poszczególnych bonitacji kształtuje się od 22,9 do 42,3%. Duża zależność wyjściowych charakterystyk do modelowania wzrostu drzewostanów pozwoliła jak najlepiej dopasować cechy powiązane z nimi funkcyjnie. W celu zwiększenia zakresu funkcjonalności modelu PINUS, na podstawie znajomości trendu zmian cech dendrometrycznych dla bonitacji: BON26 – BON34, ekstrapolowano bonitację BON24. Miernikiem produktywności drzewostanu jest jego sumaryczna produkcja uwzględniająca miąższość drzewostanu głównego i sumę miąższości wydzielających się sosen do danego wieku – na podstawie dynamiki śmiertelności drzew w zakresie wieku od 20 do 120 lat. Związek sumarycznej produkcji z bonitacją (BONX) charakteryzuje zależność bardzo silna. Współczynnik determinacji, dla wieku drzewostanów od 40 do 120 lat, waha się od 0,994 do 0,998 (rys. 4).

Pomimo wyboru do konstrukcji modelu funkcji dobranych najlepiej do danych empirycznych, uzyskane z niego wielkości będą obarczone pewnym błędem. Niezgodność może wynikać z błędów dopasowania równania bazowego, ale także z błędów wynikających z niezgodności charakterystyk populacji lokalnych z cechami materiału badawczego. Jest to zjawisko powszechne przy stosowaniu w praktyce wszystkich bez wyjątku modeli i tablic. Należy zaznaczyć, że uwzględniona w modelu zmiana z wiekiem sumarycznej produkcji drzewostanu ma charakter wyłącznie przybliżony. Jest to wynikiem względnie krótkiego okresu badawczego dla dokładniejszego określenia tej cechy.



Rys. 4. Zależność sumarycznej produkcji grubizny na hektar od bonitacji

Fig. 4. Dependence of the total production of large timber per hectare from site index

Po opracowaniu modelu PINUS najpierw przetestowano dokładność opracowanych równań regresji w drzewostanach rosnących w obiekcie badań – Leśnym Zakładzie Doświadczalnym Murowana Goślina. W tym celu przeprowadzono statystyczną analizę wtórnych błędów procentowych: średnią arytmetyczną, minimum i maksimum oraz odchylenie standardowe błędów, dla poszczególnych cech dendrometrycznych wszystkich badanych drzewostanów (tab. 1) i z podziałem na klasy bonitacji: BON26 – BON34.

Uwzględniając średnią arytmetyczną oraz odchylenie standardowe błędów, dla poszczególnych cech dendrometrycznych wszystkich badanych drzewostanów i w ramach ustalonych bonitacji, najmniejszym błędem charakteryzuje się wysokość. Błąd średni (p_2) 0,32% i odchylenie standardowe błędów (δp_2) 2,32% (wszystkie drzewostany) oraz p_2 : od -0,89% (BON30) do 2,53% (BON26) i δp_2 : od 1,40% (BON26) do 2,82% (BON30). Dużą dokładnością charakteryzuje się pierścieniowa liczba kształtu grubizny, $p_2 = 2,61\%$ (wszystkie drzewostany) oraz od 1,21% (BON32) do 3,35% (BON34) i $\delta p_2 = 2,40\%$ (wszystkie drzewostany) oraz od 1,45% (BON30) do 3,56% (BON34). Największym błędem jest obarczone zagęszczenie, $p_2 = 1,76\%$ i $\delta p_2 = 19,35\%$ (wszystkie drzewostany) oraz p_2 : od -16,19% (BON26) do 7,59% (BON30) i δp_2 : od 7,80% (BON34) do 22,74% (BON30). Dużą niedokładność odnotowujemy także przy bieżącym rocznym przyroście miąższości grubizny, wprawdzie p_2 dla wszystkich drzewostanów wyniósł tylko -0,11%, ale przy $\delta p_2 = 19,65\%$. W kontekście bonitacji p_2 : od -5,73% (BON34) do 7,44% (BON26) i δp_2 : od 16,63% (BON34) do 26,06% (BON26) (tab. 1).

Tabela 1. Charakterystyka statystyczna wtórnych błędów procentowych dla cech dendrometrycznych

Table 1. Statistical characteristics of secondary error rates for the mensuration features

Cecha Feature	Charakterystyka statystyczna – Statistical characteristics			
	średnia average	minimum minimum	maksimum maximum	odchylenie standardowe standard deviation
H , m	0,32	-3,88	4,13	2,32
D_g , cm	0,48	-11,49	21,92	7,25
N , szt./ha	1,76	-41,25	43,38	19,65
G , m ² /ha	1,22	-24,27	21,22	12,05
F_g	2,61	-3,83	7,58	2,40
V_g , m ³ /ha	4,25	-21,96	26,63	13,24
ZVI_g , m ³ /ha	-0,11	-36,59	41,18	19,72

Rozpatrując poszczególne bonitacje, stwierdzono największą dokładność dla BON28. Błędy średnie (p_2) i odchylenia standardowe błędów (δp_2) dla poszczególnych cech dendrometrycznych wynoszą:

- średnia wysokość: $p_2 = 0,06\%$, $\delta p_2 = 2,06\%$
- przeciętna pierśnica: $p_2 = -1,38\%$, $\delta p_2 = 7,59\%$
- zagęszczenie: $p_2 = 1,85\%$, $\delta p_2 = 20,65\%$
- przekrój pierśnicowy: $p_2 = -2,61\%$, $\delta p_2 = 11,76\%$
- pierśnicowa liczba kształtu grubizny: $p_2 = 2,39\%$, $\delta p_2 = 1,91\%$
- miąższość grubizny: $p_2 = -0,13\%$, $\delta p_2 = 12,89\%$
- bieżący roczny przyrost miąższości grubizny: $p_2 = 3,81\%$, $\delta p_2 = 20,72\%$.

Należy zaznaczyć, że po opracowaniu modelu PINUS ZIELONKA stwierdzono jego największą zgodność z BON28 modelu PINUS. Wynika z tego, że badane drzewostany reprezentowały przeciętnie BON28 i w związku z tym dla tej bonitacji w obiekcie badań uzyskano największą dokładność.

DYSKUSJA

Po opracowaniu lokalnego referencyjnego modelu PINUS ZIELONKA, ze względu na zróżnicowanie tempa wzrostu poszczególnych drzewostanów, zaistniała konieczność skonstruowania lokalnego modelu bonitacyjnego [Beker i Andrzejewski 2013]. Wykorzystane przy jego budowie funkcje charakteryzuje dobre dopasowanie do warunków lokalnych. Największą zgodność uzyskano dla modelu wzrostu wysokości (współczynnik determinacji r^2 : od 0,937 do 0,997, średni wtórny błąd procentowy $p_2 = 0,32\%$). Niewiele mniejsze dopasowanie wykazuje model wzrostu przeciętnej pierśnicy (r^2 : od 0,839 do 0,969; $p_2 = 0,48\%$). W tym kontekście słabszą zgodność odzwierciedla model zagęszczenia (r^2 : od 0,556 do 0,941; $p_2 = 1,76\%$). Analizując poszczególne bonitacje, stwierdzono największą zgodność rozpatrywanych cech dla bonitacji 28. W porównaniu poszczególnych cech uzyskiwanych dla adekwatnych bonitacji z tablic zasobności

i przyrostu miąższości drzewostanów Szymkiewicza [1966], badane drzewostany wykazują większy przekrój pierśnicowy, miąższość i przyrost miąższości. W głównej mierze jest to spowodowane większymi przeciętnymi pierśnicami drzew i od wieku 40 lat także większym zagęszczeniem drzewostanów wyrastających w obiekcie badań.

PODSUMOWANIE

Wieloletni program badawczy prowadzony na stałych powierzchniach doświadczalnych pozwolił opracować lokalny bonitacyjny model wzrostu drzewostanów sosnowych (PINUS). Na podstawie odpowiednio wyselekcjonowanego, pod względem ilościowym i jakościowym, materiału empirycznego oraz po pogrupowaniu drzewostanów o podobnym tempie wzrostu, dobrano najlepsze funkcje regresji. W ostatecznym wyborze funkcji i algorytmów kierowano się wielkością współczynników determinacji i wtórnych błędów procentowych. Korzystanie z modelu jest przyjazne dla użytkownika, ponieważ funkcjonuje on w wersji elektronicznej środowiska EXCEL. Adekwatną bonitację ustalamy według wysokości średniej lub górnej w określonym wieku, wykorzystując do tego celu tablicę bonitacyjną (BON) lub wykresy wysokości średniej (WH) i wysokości górnej (WH_g). Korzystając z arkusza BON, wpisujemy do komórki X ustalony wiek drzewostanu. Następnie określoną w drzewostanie wysokość średnią (H) lub górną (H_g) porównujemy z wyświetlonymi w wierszu X danymi i wybieramy najlepiej dopasowaną bonitację. Następnie dobieramy odpowiedni arkusz: B24-B34 i wpisujemy w nim do komórki X ustalony wiek drzewostanu. W wierszu X i wierszu powyżej zostaną wyświetlone dane cechy dla wieku X i $X-5$. Wszystkie cechy można uzyskać bezpośrednio z tablic: B24-B34, w 5-letnim odstopniowaniu wieku w zakresie od 20 do 120 lat. Opracowany model wzrostu może być wykorzystany do szacowania nadziemnej biomasy i sekwestracji węgla niepielęgowanych drzewostanów sosnowych, w zakresie bonitacji: BON24-BON34, na terenie Leśnego Zakładu Doświadczalnego Murowana Goślina. W celu regionalnego stosowania modelu PINUS konieczna jest analiza jego dokładności w innych rejonach Polski i ewentualne korygowanie współczynników bazowych równań. W przyszłości jest także planowane uzupełnienie modelu o słabsze bonitacje poprzez rozszerzenie zasięgu badań o regiony, w których wyrastają takie drzewostany.

PIŚMIENNICTWO

- Beker C., 2007. Wysokość górna w drzewostanach sosnowych. Sylwan 3, 36-42.
Beker C., 2008. Związek pomiędzy biologiczną i matematyczną wysokością górną w drzewostanach sosnowych. Sylwan 11, 40-46.
Beker C., 2009. Stan zdrowotny, struktura i przyrost niepielęgowanych drzewostanów sosnowych. Rozprawy Naukowe 400. Wyd. UP Poznań.
Beker C., Andrzejewski T., 2013. Model wzrostu niepielęgowanych drzewostanów sosnowych. I. Lokalny model referencyjny PINUS ZIELONKA. Acta Sci Pol., Silv. Colendar. Rat. Ind. Lignar. 12 (3), 5-13.
Bruchwald A., 1986. Simulation growth model MDI-1 Scots pine. Ann. Warsaw. Agric. Univ. SGGW-AR For. Wood Technol. 34, 47-52.
Bruchwald A., 1988. Przyrodnicze podstawy budowy modeli wzrostu. Sylwan 11-12, 1-10.

- Bruchwald A., 1991 a. MISK growth model for pine. Ann. Warsaw Agric. Univ. SGGW-AR For. Wood Technol. 41, 3-7.
- Bruchwald A., 1991 b. Graniczny model wzrostowy dla sosny. W: Metody oceny stanu i zmian zasobów leśnych. Wyd. SGGW Warszawa, 171-181.
- Halaj J., Petras R., 1998. Rastove tabuľky hlavných drevín. Slovak Akad. Press Bratislava.
- Lembcke G., Knapp E., Dittmar O., 2000. Ertragstafel für die Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) im nordostdeutschen Tiefland. Vieth + Vieth Eberswalde.
- Lemke J., Beker C., Kaźmierczak K., Najgrakowski T., Turski M., 2002. Tablice aparatu asymilacyjnego sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.). Maszyn. Kat. Urząd. Lasu UP Poznań.
- Nagel J., 1998. Konzeptionelle Überlegungen zum schrittweisen Aufbau eines waldwachstumskundlichen Simulationssystem für Nordwestdeutschland. Schr. Forstl. Fak. Univ. Göttingen, Bd. 128.
- Pretzsch H., Biber P., Dursky J., 2002. The single tree-based stand simulator SILVA: construction, application and evaluation. For. Ecol. Manag. 162, 3-21.
- Rehak J., 1980. Vyzkum a konstrukce rustovych tabulek hlavnich drevin CSSR – etapa borovice (Zaverena zprava). Vedecky lesnický ústav. Kostelec n. C. I.
- Schwappach A., 1912. Ertragstafeln der wichtigeren Holzarten. J. Neumann.
- Stanisz A., 2006. Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem *STATISTICA PL* na przykładzie z medycyny. T. 1. Statystyki podstawowe. Stat Soft Kraków.
- Sterba H., Moser M., Monsured R.A., 1995. Prognaus – ein Waldwachstumssimulator für Rein- und Mischbestände. Öster. Forstztg. 5, 20-21.
- Szymkiewicz B., 1949. Rozszerzenie tablic zasobności Schwappacha dla sosny o klasę Ia. Sylwan 3-4, 78-93.
- Szymkiewicz B., 1966. Tablice zasobności i przyrostu drzewostanów. PWRiL Warszawa.
- Turski M., Beker C., Kaźmierczak K., Najgrakowski T., 2008. Allometric equations for estimating the mass and volume of fresh assimilational apparatus of standing scots pine (*Pinus sylvestris* L.) trees. For. Ecol. Manag. 255, 2678-2687.

GROWTH MODEL OF UNTHINNED SCOTS PINE STANDS

II. LOCAL SITE INDEX MODEL PINUS

Abstract. Long-term research program carried out on permanent experimental plots allowed to develop a local site index model of unthinned Scots pine stands (PINUS). On the basis of appropriately selected, in terms of quantity and quality of empirical material and grouping stands with similar growth rates, the best equations of regression were selected. The final choice of functions and algorithms was guided by the size of the coefficients of determination and secondary error rates. Using the model is user-friendly because it functions in an EXCEL electronic environment. Adequate bonitations were set according to the average height or the top height of a certain age, using a table of valuation (BON) or the charts of average height (WH) and of the top height (WH_g). The spreadsheet BON cell type X set age stand was used. Then, the average height (H) or top height (H_g) were defined comparing the displayed data in row X and the best suited bonitations were selected. Then the appropriate sheet: B24-B34 was chosen, and the prescribed age is entered into the X cell. At the command line, X and above, characteristics of age X and age X-5 are seen. All features can be accessed directly from the tables: B24-B34, in the 5-year age range from 20 to 120 years. The developed growth model can be used to estimate over-ground biomass and carbon sequestration of unthinned Scots pine stands for the bonitations: BON24-BON34, in the Forest Experimental Station Murowana Goślina. For the regional application of the PINUS model it is necessary to analyse its accuracy in other

Polish regions and possible corrections constant of factors equations. In the future it is also planned to supplement the model on the weaker bonitations by extending the scope of research in regions where such stands grow.

Key words: growth model, Scots pine, unthinned stands, local site index model

Accepted for print – Zaakceptowano do druku: 3.10.2013

For citation – Do cytowania: Beker C., Andrzejewski R., 2013. Model wzrostu niepielęgowanych drzewostanów sosnowych. II. Lokalny model bonitacyjny PINUS. Acta Sci. Pol., Silv. Colendar. Rat. Ind. Lignar. 12(3), 15-23.