

## **MODEL WZROSTU NIEPIEŁĘGNOWANYCH DRZEWOSTANÓW SOSNOWYCH\***

### **I. LOKALNY MODEL REFERENCYJNY PINUS ZIELONKA**

Cezary Beker, Tomasz Andrzejewski

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

**Streszczenie.** Wieloletni program badawczy prowadzony na stałych powierzchniach doświadczalnych pozwolił skonstruować lokalny referencyjny model wzrostu drzewostanów (PINUS ZIELONKA). Na podstawie materiału empirycznego, odpowiednio wyselekcjonowanego pod względem ilościowym i jakościowym, dobrano funkcje regresji. W przypadku zależności stochastycznych, kiedy wartości przyjmowane przez zmienną zależną są obciążone błędami losowymi, w dopasowaniu funkcji zastosowano metodę najmniejszych kwadratów. W ostatecznym wyborze funkcji i algorytmów kierowano się wielkością współczynników determinacji i wtórnych błędów procentowych. Opracowany model wzrostu może być wykorzystany do szacowania nadziemnej biomasy i sekwestracji węgla niepiełęgnowanych drzewostanów sosnowych na terenie Leśnego Zakładu Doświadczalnego Murowana Goślina.

**Słowa kluczowe:** model wzrostu, sosna zwyczajna, drzewostany niepiełęgnowane, lokalny model referencyjny

## **WSTĘP**

Uwzględniając wzrost funkcji ochronnych lasu, istnieje zapotrzebowanie na badania obejmujące zjawiska naturalne zachodzące w ekosystemach leśnych, nakierowane na samoregulację procesów życiowych przebiegających w drzewostanach. Do realizacji tych celów jest wymagana wielostronna informacja o stanie lasu. Wszechstronnym narzędziem do pozyskania stosownych danych są modele wzrostu drzewostanów. Pierwotnie badania w tym zakresie były realizowane w drzewostanach sosnowych, w których prowadzono planową gospodarkę leśną. Można tu wymienić prace Schwappacha

---

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

[1896, 1908] i Wiedemanna [1925, 1948], które doprowadziły do opracowania empirycznego modelu wzrostowego drzewostanów sosnowych w formie tablicowej [Schwappach 1912].

Jest on przykładem modelu statycznego z pięcioma klasami bonitacji względnych (od I do V), wyznaczanych z zależności: średnia wysokość – wiek drzewostanu. Badania były kontynuowane przez Ertelda [1955, 1957] i Dittmara [1991], a ich finalizacja skutkowałą aktualnie obowiązującą, na terenach nizinnych północno-wschodniej części Niemiec, wersją tablic zasobności dla sosny (*Pinus sylvestris* L.) [Lembcke i in. 2000]. W tablicach uwzględniono bonitacje absolutne, odpowiadające wysokości drzewostanu w wieku 100 lat. Dodatkowo przedstawiono w nich zależność pomiędzy przeciętną i górną wysokością drzewostanu, zwiększając przez to ich funkcjonalność [Beker 2009]. Według podobnych zasad wypracowano tablicowy model dla sosny w dawnej Czechosłowacji, obowiązujący obecnie na terenie zarówno Czech, jak i Słowacji [Rehak 1980, Halaj i Petras 1998].

W latach międzywojennych w Polsce opracowano tablice zasobności dla drzewostanów sosnowych [Jedliński 1932, Płoński 1937]. Jednak nie znalazły zastosowania w praktyce: pierwsze z nich ze względów metodycznych, drugie z powodu przesunięcia po II wojnie światowej granic państwa na zachód. Większej aktualności nabrały u nas tablice Schwappacha [1912], ponieważ w granicach Polski znalazło się około 70% powierzchni próbnych, na podstawie których zestawił on tablice sosny. Dla drzewostanów na siedliskach najlepszych przez Szymkiewicza [1949, 1966] zostały one rozszerzone, poprzez ekstrapolację, o bonitację Ia [Beker 2009].

Dzięki kompleksowym programom badawczym, opartym na dużym materiale empirycznym, doprowadzono do wdrożenia dynamicznych modeli wzrostu drzewostanów. Na przykład można wymienić: stochastyczne modele drzewa indywidualnego (*MDI-1* i *MISK*) opracowane przez Bruchwalda [1986, 1988 a, 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]. W praktyce leśnej modele dynamiczne zastosowali m.in.: Siekierski [1995], Sterba [1995], Sterba i Monsured [1997], Hasenauer i in. [1998], Bruchwald i in. [2000], Bruchwald [2001], Monsured i in. [2005], Pretzsch i in. [2005] oraz Zasada [2007].

W niepielęgnowanych drzewostanach sosnowych prowadzono niewiele badań. Dotyczyły głównie drzewostanów młodych [Szymański 1963, 1964, Ważyński 1967] lub długofalowych obserwacji na stałych powierzchniach badawczych [Bruchwald i Zasada 1995, Bruchwald 1997, Lockow 2001, Beker 2005, 2008 a, 2009, Beker i Wudarczyk 2007].

Celem pierwszego etapu realizacji projektu badawczego było opracowanie lokalnego modelu referencyjnego wzrostu niepielęgnowanych drzewostanów sosnowych (PINUS ZIELONKA). Do realizacji wyznaczonego celu wykorzystano metodę wielokrotnego okresowego pomiaru obiektów obejmujących szeregi rozwojowe drzewostanów.

## MATERIAŁ EMPIRYCZNY I METODY

W obiekcie badawczym znajduje się 14 stałych powierzchni doświadczalnych Zakładu Dendrometrii i Produkcji Lasu, Katedry Urządzania Lasu, Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu. Powierzchnie założono w latach 1990-1991 w litych, po-

chodzących z odnowienia sztucznego, drzewostanach sosnowych położonych na terenie Leśnego Zakładu Doświadczalnego Murowana Goślina. Obszar ten przynależy do III Wielkopolsko-Pomorskiej krainy przyrodniczo-leśnej, dzielnicy Niżu Wielkopolsko-Kujawskiego. Drzewostany zostały wybrane od II do V klasy wieku, dla każdej podklasy wyznaczono drzewostan na gruncie leśnym i porolnym. Od 1990 roku na powierzchniach nie prowadzono zabiegów pielęgnacyjnych, a jedynie cyklicznie usuwano drzewa martwe [Beker 2009].

Drzewostany wyrastają na siedliskach: boru świeżego, boru mieszanego świeżego i lasu mieszanego świeżego. W trakcie okresu badań przeprowadzono cztery pełne taksacje w odstępach pięcioletnich. W tym okresie wiek drzewostanów wynosił od 26 do 104 lat. W pierwszym okresie drzewostany reprezentowały: bonitacje [Szymkiewicz 1966] od Ia,0 do I,7; liczbę drzew od 405 do 2465 i miąższość grubizny od 160,5 do 399,8 m<sup>3</sup> na hektar. Przekładało się to na współczynnik zagęszczenia w zakresie 0,66-1,21 i czynnik zadrzewienia 0,71-1,15. Wskaźniki wyznaczano według tablic zasobności Szymkiewicza [1966].

W drugim okresie zakres bonitacji wynosił Ia,0-I,4, zmniejszyła się liczba drzew – 404-2100 i zwiększyła zasobność – 234,5-454,9 m<sup>3</sup>. Wzrósł współczynnik zagęszczenia – 0,75-1,45 i czynnik zadrzewienia 0,78-1,30. W trzecim okresie bonitacja wahała się w zakresie Ia,0-I,3, pozostałe charakterystyki utrzymały tendencję z poprzedniego okresu. W drzewostanach występowało od 401 do 1720 sosen o zasobności od 282 do 502 m<sup>3</sup> oraz wskaźniku: zagęszczenia 0,85-1,57 i zadrzewienia 0,82-1,32. W czwartym okresie bonitacja utrzymywała się w przedziale: Ia,0-I,2, pozostałe charakterystyki zachowały trend z poprzednich okresów. W drzewostanach występowało od 393 do 1415 sosen o zasobności od 309 do 529 m<sup>3</sup> oraz wskaźniku: zagęszczenia 0,92-1,60 i zadrzewienia 0,87-1,33. We wrześniu każdego roku ewidencjonowano ilościowo i miąższościowo wydziałający się posusz na wszystkich powierzchniach, pozwoliło to na ustalenie dynamiki śmiertelności drzew i wykorzystanie tych danych do wyznaczania zagęszczenia, przekroju pierśnicowego, miąższości i przyrostu miąższości drzewostanu [Beker 2005, 2009].

Wszystkie dane uzyskiwane w trakcie prac terenowych archiwizowano w arkuszach kalkulacyjnych Excel, oddzielnie dla każdej powierzchni. Następnie grupowano je według cech i okresów. Przygotowane dane posłużyły do obliczeń i analiz. Cechy drzewostanów scharakteryzowano z wykorzystaniem statystyk opisowych (tab. 1).

Następnie przystąpiono do opracowania referencyjnego modelu lokalnego (PINUS ZIELONKA). Konstrukcję modelu oparto na bazowych równaniach regresji przedstawiających zależność pomiędzy cechą dendrometryczną (X) a wiekiem (W). Dla jak najlepszego dopasowania zmian cech z wiekiem wykorzystano funkcje:

- wielomianową  $n$ -stopnia:  $Y = a_0 + a_1 \cdot X + a_2 \cdot X^2 + \dots$
- potęgową:  $Y = a \cdot X^b$ .

Za pomocą powyższych funkcji scharakteryzowano:

- średnią wysokość:  $H = a_0 + a_1 \cdot W + a_2 \cdot W^2 + \dots$
- przeciętną pierśnicę:  $D_g = a_0 + a_1 \cdot W + a_2 \cdot W^2 + \dots$
- zagęszczenie:  $N = a \cdot W^b$
- przekrój pierśnicowy:  $G = a_0 + a_1 \cdot W + a_2 \cdot W^2 + \dots$
- pierśnicową liczbę kształtu całego drzewa:  $F_{cd} = a \cdot W^b$
- bieżący przyrost roczny miąższości grubizny:  $ZVI_g = a_0 + a_1 \cdot W + a_2 \cdot W^2 + \dots$

Tabela 1. Charakterystyka statystyczna materiału empirycznego  
Table 1. Statistical characteristics of empirical material

Cecha Feature	Charakterystyka statystyczna – Statistical characteristics				współczynnik zmienności changeability coefficient %
	średnia average	minimum	maximum	odchylenie standardowe stadard deviation	
Wiek, lata Age, years	66	26	104	21	31,7
$H$ , m	22,8	11,9	28,7	3,9	17,2
$D_g$ , cm	24,7	12,6	35,3	6,2	25,1
$N$ , szt./ha	885	393	2465	521	58,9
$G$ , m <sup>2</sup> /ha	34,4	22,5	42,6	4,8	14,0
$F_g$	0,463	0,435	0,489	0,012	2,7
$V_g$ , m <sup>3</sup> /ha	365,2	160,5	529,1	88,6	24,3
$ZVI_g$ , m <sup>3</sup> /ha	12,7	6,0	21,0	3,7	28,9
$F_{cd}$	0,535	0,493	0,616	0,028	5,2
$V_{cd}$ , m <sup>3</sup> /ha	418,1	227,2	584,5	89,9	21,5
$ZVI_{cd}$ , m <sup>3</sup> /ha	13,5	6,4	22,4	4,1	30,3
$Ugc$ , t/ha	20,2	13,9	34,3	4,6	22,7
$Ic$ , t/ha	14,3	9,7	22,0	2,7	19,1

W celu stabilizowania modelu zagęszczenia, ze względu na zdecydowanie największą zmienność tej cechy wśród wszystkich analizowanych charakterystyk ( $V_N = 58,9\%$ ) (tab. 1), ostatecznie posłużono się równaniem:

$$N = G / [((\pi/40\ 000) \cdot D_g^2)], \text{ gdzie: } G \text{ (m}^2\text{), } D_g \text{ (cm).}$$

Pozostałe charakterystyki wyznaczono z zależności pomiędzy wyznaczonymi cechami:

– pierśnicową liczbę kształtu grubizny:

$$F_g = a_0 + a_1 \cdot F_{cd} + a_2 \cdot F_{cd}^2 + a_3 \cdot F_{cd}^3 + a_4 \cdot F_{cd}^4$$

– miąższość grubizny:  $V_g = H \cdot G \cdot F_g$

– miąższość całego drzewa:  $V_{cd} = a_0 + a_1 \cdot V_g$

– bieżący przyrost roczny miąższości całego drzewa:  $ZVI_{cd} = a_0 + a_1 \cdot ZVI_g$ .

Wysokość górną uzyskano ze związku z wysokością średnią [Beker 2007, 2008 b]:

$$H_g = -0,8181 + 1,1705 \cdot H + 0,0032 \cdot H^2.$$

Masę aparatu asymilacyjnego obliczono z równań allometrycznych [Lemke i in. 2002, Turski i in. 2008]:

– masę ulistnionych gałązek:  $Ugc = (0,67705 \cdot W^{-0,537} \cdot D_g^{3,192} \cdot H^{1,384}) \cdot N$

– masę igliwia:  $Ic = (0,29486 \cdot W^{-0,4179} \cdot D_g^{3,192} \cdot H^{1,384}) \cdot N$ .

W celu wykonania analiz zastosowano program Statistica ver. 8.0.725.0 [Stanisz 2006].

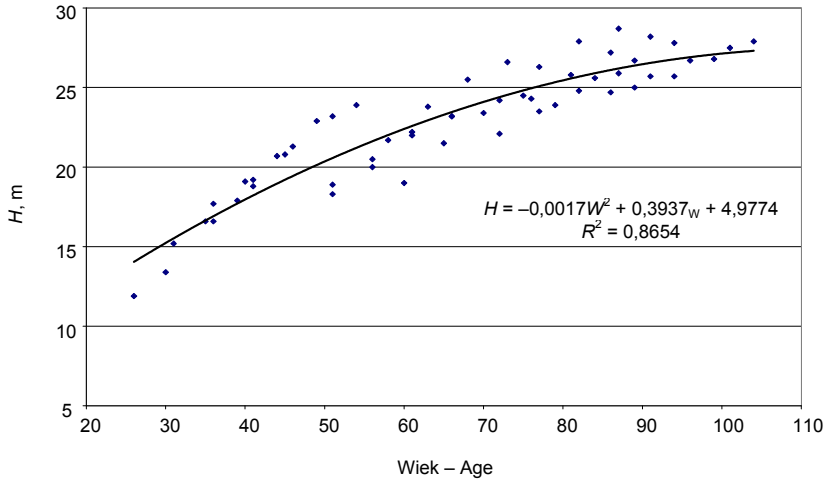
## WYNIKI

W rezultacie przeprowadzonych analiz, stosując metodę najmniejszych kwadratów, uzyskano funkcje zmian z wiekiem cech dendrometrycznych (tab. 2, rys. 1-2):

1. średnia wysokość:  $H = 4,9774 + 0,3937 \cdot W - 0,0017 \cdot W^2$
2. wysokość górna:  $H_g = -0,8181 + 1,1705 \cdot H + 0,0032 \cdot H^2$
3. przeciętna pierśnica:  $D_g = 5,4588 + 0,3009 \cdot W - 0,0002 \cdot W^2$
4. zagęszczenie na hektar:  $N = G / [(\pi/40\ 000) \cdot D_g^2]$ , gdzie:  $G$  (m<sup>2</sup>),  $D_g$  (cm)
5. przekrój pierśnicowy na hektar:  $G = 41,765 - 0,2427 \cdot W + 0,0018 \cdot W^2$
6. pierśnicowa liczba kształtu grubizny:  
 $F_g = -20,919 + 156 \cdot F_{cd} - 426,92 \cdot F_{cd}^2 + 518,83 \cdot F_{cd}^3 - 236,12 \cdot F_{cd}^4$
7. miąższość grubizny na hektar:  $V_g = H \cdot G \cdot F_g$

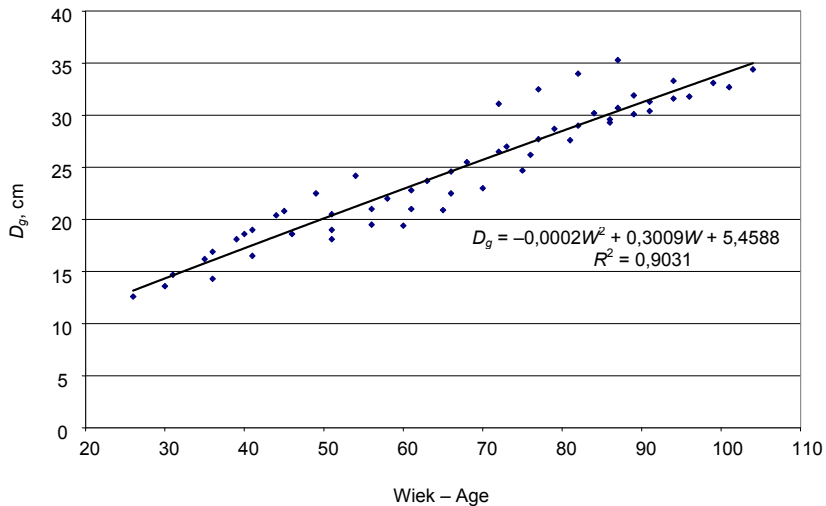
Tabela 2. Zmiana z wiekiem cech dendrometrycznych (Model PINUS ZIELONKA)  
Table 2. Change with age of mensuration characteristics (Growth model PINUS ZIELONKA)

Wiek Age	$H$	$H_g$	$D_g$	$N$	$G$	$F_g$	$V_g$	$ZVI_g$	$F_{cd}$	$V_{cd}$	$ZVI_{cd}$	$Ugc$	$Ic$
lata years	m	m	cm	szt.	m <sup>2</sup>		m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>		m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	t	t
20	12,2	13,0	11,4	3 689	37,6	0,455	208		0,621	260		37,15	23,12
25	13,8	14,7	12,9	2 837	36,8	0,456	231	20,0	0,603	283	21,5	31,43	20,08
30	15,3	16,3	14,3	2 246	36,1	0,455	251	18,9	0,588	303	20,3	27,50	17,96
35	16,7	17,8	15,7	1 822	35,5	0,454	269	17,9	0,577	321	19,2	24,66	16,40
40	18,0	19,2	17,2	1 508	34,9	0,453	285	16,9	0,567	337	18,1	22,54	15,23
45	19,3	20,5	18,6	1 270	34,5	0,452	300	16,0	0,558	353	17,1	20,93	14,35
50	20,4	21,7	20,0	1 086	34,1	0,452	315	15,1	0,550	367	16,2	19,69	13,67
55	21,5	22,9	21,4	941	33,9	0,451	328	14,3	0,543	381	15,3	18,74	13,16
60	22,5	23,9	22,8	826	33,7	0,451	341	13,5	0,537	394	14,4	18,02	12,78
65	23,4	24,8	24,2	732	33,6	0,450	354	12,8	0,532	406	13,6	17,48	12,52
70	24,2	25,6	25,5	656	33,6	0,450	366	12,1	0,526	419	12,9	17,10	12,35
75	24,9	26,4	26,9	593	33,7	0,449	378	11,5	0,522	431	12,2	16,87	12,28
80	25,6	27,0	28,3	540	33,9	0,449	389	10,9	0,517	442	11,6	16,76	12,30
85	26,2	27,6	29,6	496	34,1	0,449	401	10,4	0,513	454	11,0	16,76	12,39
90	26,6	28,1	30,9	459	34,5	0,448	412	9,9	0,509	465	10,5	16,88	12,56
95	27,0	28,5	32,2	428	35,0	0,448	423	9,5	0,506	477	10,0	17,11	12,81
100	27,3	28,8	33,5	402	35,5	0,448	434	9,1	0,502	488	9,6	17,44	13,15
105	27,6	29,0	34,8	379	36,1	0,447	445	8,8	0,499	499	9,2	17,89	13,56
110	27,7	29,2	36,1	359	36,8	0,447	456	8,5	0,496	510	8,9	18,45	14,07
115	27,8	29,2	37,4	342	37,7	0,446	467	8,3	0,493	520	8,7	19,14	14,67
120	27,9	29,4	38,7	328	38,6	0,446	480	8,1	0,490	534	8,5	19,77	15,22



Rys. 1. Zmiana z wiekiem średniej wysokości drzewostanów

Fig. 1. Change with age of mean height of stands



Rys. 2. Zmiana z wiekiem przeciętnej pierśnicy drzewostanów

Fig. 2. Change with age of mean breast height diameter of stands

8. bieżący przyrost roczny miąższości grubizny na hektar:

$$ZVI_g = 26,102 - 0,2699 \cdot W + 0,001 \cdot W^2$$

9. pierśnicowa liczba kształtu całego drzewa:  $F_{cd} = 0,9196 \cdot W^{0,1313}$

10. miąższość całego drzewa na hektar:  $V_{cd} = 49,823 + 1,0084 \cdot V_g$

11. bieżący przyrost roczny miąższości całego drzewa na hektar:

$$V_{cd} = -0,4348 + 1,0099 \cdot V_g$$

12. masa ulistnionych gałązek na hektar:  $Ugc = (0,67705 \cdot W^{0,537} \cdot D_g^{3,192} \cdot H^{1,384}) \cdot N$

13. masa igliwia na hektar:  $Ic = (0,29486 \cdot W^{0,4179} \cdot D_g^{3,192} \cdot H^{1,384}) \cdot N$

## DYSKUSJA

Przedstawiony model dobrze odzwierciedla przeciętne cechy niepielęgowanych drzewostanów sosnowych rosnących na terenie Leśnego Zakładu Doświadczalnego Murowana Goślina. Rozpatrując zmianę cech dendrometrycznych w poszczególnych fazach wzrostu, stwierdzono najlepsze dopasowanie do bonitacji 28 (BON28), krzywej referencyjnej dla wysokości bazowej 28 m w wieku 100 lat. W wieku od 20 do 40 lat drzewostany wykazują jednak znacznie większą dynamikę wzrostową, przekraczającą pułap bonitacji 32 (BON32). To zróżnicowanie pokazuje celowość opracowania lokalnego modelu bonitacyjnego, co było przedmiotem drugiego etapu badań. W kontekście wielkości uzyskiwanych z tablic zasobności i przyrostu miąższości drzewostanów Szymkiewicza [1966], dla bonitacji I badane drzewostany wykazują większy przekrój pierśnicowy, miąższość i przyrost miąższości. Wyjątkiem jest zagęszczenie drzew, które jest mniejsze do wieku 40 lat. Nawet po uwzględnieniu tego faktu to w tym przedziale wiekowym badane drzewostany mają większy przekrój pierśnicowy i cechy powiązane z nim funkcyjnie, ze względu na większe przeciętne pierśnice.

## PODSUMOWANIE

Wieloletni program badawczy prowadzony na stałych powierzchniach doświadczalnych pozwolił skonstruować lokalny referencyjny model wzrostu drzewostanów (PINUS ZIELONKA). Na podstawie odpowiednio wyselekcjonowanego materiału empirycznego, pod względem ilościowym i jakościowym, dobrano funkcje regresji. W przypadku zależności stochastycznych, kiedy wartości przyjmowane przez zmienną zależną są obciążone błędami losowymi, w dopasowaniu funkcji zastosowano metodę najmniejszych kwadratów. W ostatecznym wyborze funkcji i algorytmów kierowano się wielkością współczynników determinacji i wtórnych błędów procentowych. Opracowany model wzrostu może być wykorzystany do szacowania nadziemnej biomasy i sekwestracji węgla niepielęgowanych drzewostanów sosnowych na terenie Leśnego Zakładu Doświadczalnego Murowana Goślina. Model będzie doskonalony w wyniku uzyskiwania danych w kolejnych taksacjach i permanentnego monitorowania śmiertelności drzew na powierzchniach badawczych.

## PIŚMIENNICTWO

- Beker C., 2005. Dynamika naturalnego wydzielania się drzew w drzewostanach sosnowych. *Sylvan* 12, 45-52.
- Beker C., 2007. Wysokość górna w drzewostanach sosnowych. *Sylvan* 3, 36-42.
- Beker C., 2008 a. Zmiana struktury biosocjalnej w niepielęgowanych drzewostanach sosnowych. *Sylvan* 5, 44-51.
- Beker C., 2008 b. Związek pomiędzy biologiczną i matematyczną wysokością górną w drzewostanach sosnowych. *Sylvan* 11, 40-46.
- Beker C., 2009. Stan zdrowotny, struktura i przyrost niepielęgowanych drzewostanów sosnowych. *Rozprawy Naukowe* 400. Wyd. UP, Poznań.
- Beker C., Wudarczyk M., 2007. Health condition and structure of pine stands on permanent experimental plots in the Kwidzyn Forest District. *Acta Sci. Pol., Silv. Colendar. Rat. Ind. Lignar* 6(4), 5-16.

- 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 a. Przyrodnicze podstawy budowy modeli wzrostu. Sylwan 11-12, 1-10.
- Bruchwald A., 1988 b. Self-thinning in Scots pine stands – a mathematical approach. Ann. Warsaw Agric. Univ. SGGW-AR For. Wood Technol. 36, 11-16.
- 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.
- Bruchwald A., 1997. Kształtowanie się przyrostu miąższości drzewostanu w powiązaniu ze śmiertelnością drzew. Pr. Inst. Bad. Leśn. Ser. B, 33, 57-79.
- Bruchwald A., 2001. Möglichkeiten der Anwendung von Wuchsmodellen in der Praxis der Forsteinrichtung. Beitr. Forstwirtschaft. u. Landschaftsökol. 3, 118-122.
- Bruchwald A., Zasada M., 1995. Kształtowanie się struktury drzewostanów sosnowych na stałych powierzchniach doświadczalnych w Nadleśnictwie Maskulińskie. Sylwan 3, 67-86.
- Dittmar O., 1991. Wachstum und Ertrag der Kiefer im nordostdeutschen Tiefland. Ber. Aus Forsch. und Entwickl. 26. Forschungsanstalt für Fors- und Holzwirtschaft, Eberswalde: 4-44.
- Erteld W., 1955. Der Zuwachs der Kiefer als Folge innerer Veranlagung und als Ausdruck erkennbarer Merkmale. Arch. F. Forstwes. 4, 5/6, 511-522.
- Erteld W., 1957. Grundflächenschluss und Zuwachs bei Kiefer, Fichte und Buche. Wissenschaftliche Abhandlungen 21. Deutsche Akad. Landwirtschaftswiss. Berlin.
- Halaj J., Petras R., 1998. Rastove tabulky hlavných drevin. Slovak Akad. Press Bratislava.
- Hasenauer H., Monsured R.A., Gregoire T.G., 1998. Using simultaneous regression techniques with individual-tree growth models. Forest Sci. 44 (1), 87-95.
- Jedliński W., 1932. Tablice zasobności i przyrostu drzewostanów sosnowych w Polsce. Warszawa.
- 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.
- Lockow K.-W., 2001. Aktuelle Versuchsfelder SCHWAPPACHS – Langzeitergebnisse und Schlussfolgerungen für den Waldumbau im nordostdeutschen Tiefland. Beitr. Forstwirtschaft. u. Landschaftsökol. 3, 123-137.
- Monsured R.A., Ledermann T., Sterba H., 2005. Are self-thinning constraints needed in a tree-specific mortality model? For. Sci. 6, 848-858.
- Nagel J., 1998. Konzeptionelle Überlegungen zum schrittweisen Aufbau eines waldwachstumskundlichen Simulationssystem für Nordwestdeutschland. Schr. Forstl. Fak. Univ. Göttingen, Bd. 128.
- Płoński W., 1937. Tablice zasobności i przyrostu drzewostanów. Sosna. Pr. Inst. Bad. Leśn. Ser. B, 4.
- Pretzsch H., Biber P., Dursky J., 2002. The single tree-based stand simulator SILVA: construction, application and evaluation. For. Ecol. Manag. 162, 3-21.
- Pretzsch H., Biber P., Moshammer R., 2005. Einsatz von Wuchsmodellen. Prognose der Waldentwicklung auf Landesebene. AFZ Wald 4, 200-203.
- Przeźrenne zróżnicowanie wzrostu sosny. 2000. Red. A. Bruchwald. Fund. Rozwój SGGW Warszawa.
- Rehak J., 1980. Vyzkum a konstrukce rustovych tabulek hlavnich drevin CSSR – etapa borovice (Zaverena zprava). Vedecky lesnický ústav Kostelec n. C. I.
- Schwappach A., 1896. Wachstum und Ertrag normaler Kiefernbestände in der norddeutschen Tiefebene. Julius Springer Berlin.
- Schwappach A., 1908. Die Kiefer. J. Neumann Neudamm.
- Schwappach A., 1912. Ertragstafeln der wichtigeren Holzarten. J. Neumann Neudamm.



- Siekierski K., 1995. Zastosowanie modeli wzrostu w regulacji użytkowania rębnych drzewostanów. Fund. Rozwój SGGW Warszawa.
- Stanisz A., 2006. Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem *STATISTICA PL* na przykładzie z medycyny. T. 1. Statystyki podstawowe. Stat Soft Kraków.
- Sterba H., 1995. Forest decline and increasing increments: a simulation study. *Forestry* 2, 153-163.
- Sterba H., Moser M., Monsured R.A., 1995. Prognaus – ein Waldwachstumssimulator für Rein- und Mischbestände. *Öster. Forstztg.* 5, 20-21.
- Sterba H., Monsured R.A., 1997. Applicability of the forest stand growth simulator PROGNAUS for the Austrian part of the Bohemian Massif. *Ecol. Mod.* 98, 23-34.
- Szymański S., 1963. Dynamika rozwoju niekierowanych młodników sosnowych. *Pr. Kom. Nauk Roln. Kom. Nauk Leśn. PTPN* 15, 3, 341-404.
- Szymański S., 1964. Przebieg naturalnego wydzielania się drzew w niepielęgowanych młodnikach sosnowych. *Sylvan* 1, 15-31.
- Szymkiewicz B., 1949. Rozszerzenie tablic zasobności Schwappacha dla sosny o klasę Ia. *Sylvan* 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.
- Ważyński B., 1967. Struktura i dynamika rozwoju drzewostanów sosnowych I i II klasy wieku. *Pr. Kom. Nauk Roln. Kom. Nauk Leśn. PTPN* 21, 2, 587-625.
- Wiedemann E., 1925. Die praktischen Erfolge des Kieferndauerwaldes. F. Vieveg Braunschweig.
- Wiedemann E., 1948. Die Kiefer. M.H. Schaper Hannover.
- Zasada M., 2007. Zastosowanie modeli wzrostu do prognozowania długookresowych zmian zasobów leśnych na podstawie danych z wielkoobszarowej inwentaryzacji lasu. *Rozprawy Naukowe i Monografie*. Wyd. SGGW Warszawa.

## GROWTH MODEL OF UNTHINNED SCOTS PINE STANDS I. LOCAL REFERENCE MODEL PINUS ZIELONKA

**Abstract.** Long-term research program carried out on permanent experimental plots led to the development of local reference model of unthinned Scots pine stands (PINUS ZIELONKA). On the basis of appropriately selected, in terms of quantity and quality of empirical material was selected the equations of regression. In the case of stochastic dependence, when the value of the dependent variable are subject to random errors, the matching function uses the method of least squares. The final choice of functions and algorithms guided by the size of the coefficients of determination and secondary error rates. The developed growth model can be used to estimate overground biomass and carbon sequestration of unthinned Scots pine stands in the Forest Experimental Station Murowana Goślina.

**Key words:** growth model, Scots pine, unthinned stands, local reference model

*Accepted for print – Zaakceptowano do druku: 3.10.2013*

*For citation – Do cytowania: 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.*