

ARKADIUSZ BRUCHWALD, MAŁGORZATA DUDZIŃSKA, MAREK WIROWSKI

Model wzrostu dla olszy czarnej (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.)

A distance-independent tree growth model for black alder
(*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.)

ABSTRACT

The paper presents a stochastic growth model for black alder stands. The model was built on the rich empirical material collected in Poland, and some equations also considered data obtained from black alder stands in Germany. The model describes the concept of a model alder stand. The main characteristic of the model is stand density. This characteristic was used to draw up a thinning programme based on the principles of selective thinning.

KEY WORDS

growth model, black alder

Wstęp

Zakład Urządzenia Lasu i Monitoringu IBL przy współpracy z Zakładem Dendrometrii i Nauki o Produktowności Lasu SGGW prowadzi badania, których celem jest budowa modeli wzrostu dla ważniejszych gatunków drzew leśnych. Dotychczas modele takie wykonano dla:

- sosny [Bruchwald 1986],
- świerka [Bruchwald, Dudek, Rymer-Dudzińska i inni 1994, 1999],
- jodły [Zasada 1995, 1998],
- dębu [Bruchwald, Dudzińska, Wirowski 1996],
- buka [Bruchwald, Dudzińska, Wirowski 1998],
- brzozy [Bruchwald, Dudek, Rymer-Dudzińska i inni 2001],
- modrzewia [Bruchwald, Dudek, Rymer-Dudzińska i inni 2002].

Opracowane dla wymienionych gatunków drzew modele wzrostu należą do grupy modeli drzewa indywidualnego. Ujmują one związki między cechami drzewostanu w postaci funkcji matematycznych. Niektóre jednak algorytmy oparto na rachunku prawdopodobieństwa.

Pierwowzorem stochastycznych modeli wzrostu są tablice zasobności. Za najważniejsze dla gospodarki leśnej Polski uznać można tablice opracowane w Niemczech przez Schwappacha [Schwappach 1912]. Obecnie stosowane w praktyce tablice zasobności

ARKADIUSZ BRUCHWALD

Zakład Dendrometrii i Nauki
o Produktowności Lasu SGGW
ul. Rakowiecka 26/30
02-528 Warszawa
les_kpl@delta.sggw.waw.pl

MAŁGORZATA DUDZIŃSKA

Zakład Urządzenia i Monitoringu Lasu
Instytut Badawczy Leśnictwa
ul. Bitwy Warszawskiej 1920 r. nr 3
00-973 Warszawa
M.Dudzinska@ibles.waw.pl

MAREK WIROWSKI

Zakład Urządzenia i Monitoringu Lasu
Instytut Badawczy Leśnictwa
ul. Bitwy Warszawskiej 1920 r. nr 3
00-973 Warszawa
M.Wirowski@ibles.waw.pl

zestawione zostały przez Szymkiewicza [Szymkiewicz 1961]. Dla drzewostanów olszowych wykorzystano w nich rosyjskie tablice opracowane przez Tiurina. Również inny zestaw tablic [Czuraj 1990] dla drzewostanów olszowych zawiera opracowanie Tiurina. Bliższe warunków Polski wydają się być tablice niemieckie zbudowane dla olszy czarnej w Eberswalde [Lockow 1998]. Wszystkie wymienione tablice są opracowaniami starego typu. Z informatycznego punktu widzenia nie są one spójne z modelami wzrostu drzewa indywidualnego.

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie zasad funkcjonowania modelu wzrostu dla drzewostanów olszy czarnej. Matematyczny opis modelu jest bardzo obszerny, dlatego w pracy ograniczony zostanie do przedstawienia niektórych jego funkcji. Model należy do grupy stochastycznych (losowych, przypadkowych) modeli wzrostu drzewa indywidualnego.

Materiał badawczy

Badania oparto na materiale empirycznym zebrany w 126 drzewostanach olszowych. Były to drzewostany lite, niektóre z niewielką domieszką sosny, dębu, świerka i jesionu, niekiedy grabu i lipy.

Powierzchnie założone zostały w drzewostanach następujących nadleśnictw: Podanin i Złotów – RDLP Piła, Czarna Białostocka, Supraśl, Białobrzegi i Rajgród – RDLP Białystok, Ostrów Mazowiecka – RDLP Warszawa, Sarnaki – RDLP Lublin, Pińczów – RDLP Radom, Niepołomice – RDLP Kraków. Do opracowania niektórych funkcji modelu wykorzystano również materiał udostępniony IBL przez Landesforstanstalt Eberswalde (Niemcy). Zebrany on został na terenie Brandenburgii przez zespół badawczy, którym kieruje prof. Karl-Willi Lockow. Są to dane z pomiaru drzew stojących wykonane w 135 drzewostanach olszy czarnej.

Wiek poszczególnych drzewostanów wahał się od 20 do 127 lat, przeciętna pierśnica przekrojowa od 7,6 do 44,2 cm, a średnia wysokość drzewostanu określona wzorem Loreya od 10,3 do 31 m. Zakres wahań określonej modelem wzrostu bonitacji kształtował się od 19 do 42 m.

W poszczególnych drzewostanach założono od jednej do trzech powierzchni kołowych. Starano się, aby łączna liczba drzew na powierzchniach wynosiła około 100 sztuk. Na powierzchniach pomiarowi podlegały pierśnice wszystkich drzew. Każde drzewo zaliczano do odpowiedniej klasy biosocjalnej według Krafca. Zastosowano również klasyfikację trzebieżową wyróżniając 3 rodzaje drzew: dorodne, szkodliwe i pożyteczne.

Średnio na 25 drzewach w każdym drzewostanie pomierzono wysokość drzew z jednoczesnym uwzględnieniem pierśnicy. Przyjęta liczba drzew okazała się wystarczająca do wyznaczenia współczynników krzywej wysokości. Zastosowano tu model regresji nieliniowej z funkcją znaną w literaturze jako krzywa Näslunda. W poszczególnych drzewostanach ścięto po ok. 10 drzew próbnych. Na drzewach tych zrealizowano szeroki zakres pomiarów dendrometrycznych. Najbardziej pracowitą ich częścią był sekcyjny pomiar miąższości. Wykonano go łącznie na 1008 drzewach próbnych.

Funkcjonowanie modelu wzrostu

Model wzrostu jest wizją drzewostanu wzorcowego. Przedstawiono ją w sposób dynamiczny, procesy zachodzące bowiem w drzewostanie (procesy wzrostu, konkurencji i kształtowania się struktury) mają taki charakter – odbywają się w czasie i przestrzeni. Realizowana wizja struktury drzewostanu wzorcowego kształtowana jest przyjętym do realizacji programem trzebieżowym. Gdy konkretny drzewostan charakteryzuje się na początku okresu prognozy strukturą odbiegającą od przyjętego wzorca, wówczas model prognozuje rozwój drzewostanu w taki sposób, aby z upływem czasu drzewostan zbliżał się do struktury drzewostanu wzorcowego.

Ważne jest więc, aby realizowana przez model wzrostu wizja drzewostanu wzorcowego była realna, akceptowana przez praktykę leśnictwa i wynikała z najnowszej wiedzy z zakresu hodowli i nauki o produktywności lasu.

Za jedną z najważniejszych cech struktury drzewostanu przyjęto stopień zagęszczenia drzew drzewostanu. W istocie na tym elemencie oparta została konstrukcja realizowanego przez model programu trzebieżowego. Zakłada on, że stopień zagęszczenia powinien kształtować się w określonych granicach. W drzewostanie nie powinno się realizować zabiegów powodujących obniżenie stopnia zagęszczenia poniżej krytycznej wartości tej cechy zdefiniowanej w modelu. Powoduje to bowiem obniżenie się sumarycznej produkcji, a gdy stopień zagęszczenia drzewostanu zostałby sprowadzony do zbyt niskich wartości, degradację siedliska oraz zahamowanie procesów wzrostowych. Drzewostan nie powinien być również prowadzony przy zbyt wysokim stopniu zagęszczenia. Co prawda sumaryczna produkcja takiego drzewostanu byłaby większa, ale jednocześnie prawdopodobieństwo wystąpienia szkód w takim drzewostanie byłoby również większe.

Model wzrostu składa się z czterech algorytmów: wstępnego, trzebieżowego, śmiertelności drzew i przyrostowego. Pozwalają one na przeprowadzenie prognozy rozwoju drzewostanu w okresie o przyjętej długości. W ustalonych latach okresu model symuluje wykonanie trzebieży selekcyjnej. Dla początku i końca okresu prognozy uzyskuje się informacje o cechach drzewostanu, w tym jego miąższości i przyroście miąższości.

Funkcjonowanie modelu wzrostu wymaga uzyskania dla drzewostanu danych, z których można otrzymać wartości następujących jego cech:

- wieku,
- wysokości górnej,
- stopnia zagęszczenia.

Przyjęta w modelu wysokość górna jest to średnia wysokość stu najgrubszych drzew przypadających na 1 ha. Bez problemu można ją określić, gdy dysponuje się wynikami pomiaru pierśnic i wysokości drzew drzewostanu. Szacowanie tej wysokości wiedzie zwykle do otrzymania błędu, który dla wielu drzewostanów ma charakter systematyczny.

Stopień zagęszczenia jest ilorazem liczby drzew drzewostanu i „maksymalnej” liczby drzew. W modelu wzrostu „maksymalna” liczba drzew przedstawiona jest wzorem empirycznym, w którym zmiennymi niezależnymi są wiek i bonitacja drzewostanu. Stopień zagęszczenia może teoretycznie przyjmować wartości z zakresu od 0 do 1, w konkretnych, nielicznych drzewostanach uzyskuje się wartości większe od jedności. Dysponując wynikami pomiaru pierśnic drzew można bez problemu ustalić liczbę drzew drzewostanu i następnie stopień zagęszczenia. Cechę tę można również określić szacunkowo, co jednak prowadzi do uzyskania błędu systematycznego dla zbioru drzewostanów.

Z modelu wzrostu można wyłączyć funkcjonowanie algorytmu trzebieżowego. Gdy przyjęcie się założenie, że stopień zagęszczenia przez cały okres prognozy będzie równy 1, to taki szczególny przypadek nosi nazwę modelu granicznego. Inne opcje modelu powiązane są z jakością danych dotyczących konkretnego drzewostanu (dane pomiarowe, szacunkowe, mieszane), a mogą być również związane z rodzajem trzebieży.

Przyjmijmy założenie, że w bazie danych znajdują się cechy drzewostanów niezbędne do funkcjonowania modelu wzrostu. Mogą to być np. wyniki pomiaru pierśnic i wysokości drzew na powierzchniach próbnych w poszczególnych drzewostanach obrębu. W takim przypadku model może prognozować rozwój każdego z tych drzewostanów.

Pobrane z bazy danych informacje przetwarzane są w pierwszej kolejności algorytmem wstępnym. Niezależnie od jakości danych, algorytm tworzy zbiór dotyczący określonej liczby drzew (n) powiązany z wielkością powierzchni próbnej (a). Każdemu drzewu przyporządkowana zostaje pierśnica (d), wysokość (h) i wiek (w). Zbiór taki pozwala na określenie wielu cech drzewostanu.

Średni wiek drzewostanu określa się wzorem na średnią ważoną

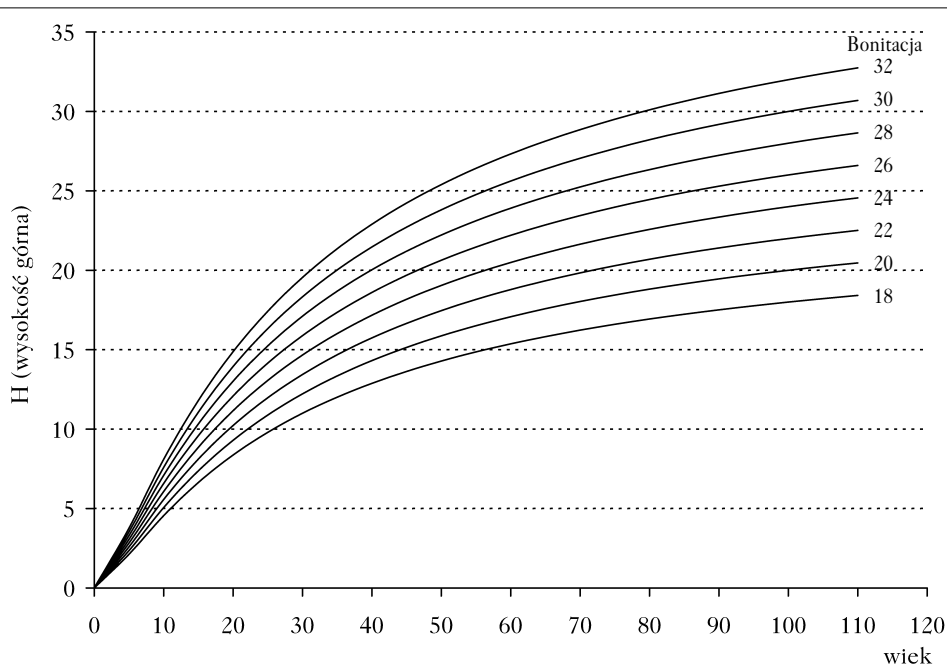
$$W = \frac{\sum d_i^2 \cdot w_i}{\sum d_i^2} \quad [1]$$

przeciętną pierśnicę wzorem na średnią kwadratową

$$D = \sqrt{\frac{\sum d_i^2}{n}} \quad [2]$$

przeciętną wysokość wzorem Lorey'a

$$H = \frac{\sum d_i^2 \cdot h_i}{\sum d_i^2} \quad [3]$$



Ryc.

Krzywe wzrostu wysokości górnej drzewostanów olszowych
Top height growth curves for alder stands

a liczbę drzew drzewostanu przeliczoną na 1 hektar wzorem

$$N = \frac{n}{a} \quad [4]$$

gdzie $i = 1, 2, \dots, n$.

Kolejnym zadaniem jest ustalenie pierśnicy (D_{100}) i wysokości (H_{100}) górnej drzewostanu. Są to średnie dotyczące stu najgrubszych drzew przypadających na 1 ha (N_{100}) [Assmann 1961, 1968]. Gdy na powierzchni próbnej o wielkości a występuje n drzew, to N_{100} określa się wzorem

$$N_{100} = a \cdot n \quad [5]$$

Dla ustalonej liczby drzew, wybierając najgrubsze na powierzchni próbnej, określa się wzorem [2] pierśnicę górną i wzorem [3] wysokość górną drzewostanu.

Kolejnym problemem jest ustalenie bonitacji drzewostanu. Cechę tę określa się z modelu wzrostu wysokości górnej postaci

$$H_{100} = \left(\frac{W}{5 + 0,25 \cdot W} \right)^{1,5} \cdot \frac{B_o}{6,086} \quad [6]$$

gdzie B_o jest bonitacją drzewostanu. Rozwinięcie wzoru [6] wiedzie do uzyskania pęku krzywych wzrostu wysokości górnej lub inaczej pęku krzywych bonitacyjnych (ryc.).

Z przekształcenia wzoru [6] można określić bonitację drzewostanu

$$B_o = 6,086 \cdot H_{100} \cdot \left(\frac{5 + 0,25 \cdot W}{W} \right)^{1,5} \quad [7]$$

Cecha ta, wyrażana w metrach, oznacza wysokość górną, jaką drzewostan uzyska lub uzyskał w wieku stu lat.

Ustalenie stopnia zagęszczenia wymagało opracowania wzoru, z którego można określić „maksymalną” liczbę drzew drzewostanu. Wzór składa się z dwóch funkcji łączących się w wieku W_2 . Wiek ten określa się wzorem

$$W_2 = \frac{2 \cdot (x_1 - x_2)}{x_3} \quad [8]$$

$$x_1 = 1,5 \quad x_2 = \frac{8,1}{B_o} - 1 \quad x_3 = 0,00163 \cdot B_o$$

Gdy wiek drzewostanu W jest niższy od wieku W_2 , to „maksymalną” liczbę drzew przypadającą na 1 ha (N_m) określa się wzorem

$$N_m = \left[\frac{100 \cdot W_2^2}{x_1 \cdot W_2^2 + W(x_2 - x_3 \cdot W - x_1)} \right]^2 \quad [8a]$$

w przeciwnym przypadku wzór przyjmuje postać

$$N_m = \left(\frac{100}{x_2 - x_3 \cdot W} \right)^2 \quad [8b]$$

Stopień zagęszczenia drzewostanu (Zag) określa się wzorem

$$Zag = \frac{N}{N_m} \quad [9]$$

W algorytmie wstępnym modelu zawarty jest również wzór na pierśnicową liczbę kształtu grubizny drzewa [Dudzińska, Bruchwald 2003], a także wzory wykorzystywane do wygenerowania rozkładu pierśnic i wysokości drzew w przypadku, gdy dane dla drzewostanu pochodzą z szacunku.

Algorytm trzebieżowy określa w pierwszej kolejności liczbę drzew, którą należy usunąć z drzewostanu w ramach trzebieży selekcyjnej. Algorytm śmiertelności drzew dokonuje podziału drzew drzewostanu na dwie grupy: drzewostan główny pozostający na pniu i drzewostan podrzędny do usunięcia. Dla obu grup drzew określane są cechy taksacyjne, w tym przeciętna pierśnica, średnia wysokość, liczba drzew, pierśnicowe pole przekroju, miąższość grubizny drzewa, a dla drzewostanu głównego również stopień zagęszczenia i czynnik zadrzewienia.

W algorytmie przyrostowym wiek drzewostanu zwiększa się o 1 rok, po czym określa się liczbę drzew, które wypadną w ciągu roku. Algorytm śmiertelności drzew wskazuje, które z drzew charakteryzują się największym prawdopodobieństwem śmierci i wyznaczoną liczbę drzew zalicza do posuszu. Dla pozostałych drzew powiększa się pierśnicę i wysokość o roczny przyrost tych cech. Drzewa te podlegają dalszemu przetwarzaniu w algorytmie przyrostowym i śmiertelności drzew przez liczbę lat równą nawrotowi trzebieży. Dla okresu równego nawrotowi cięć, program określa cechy dla drzew, które wypadły z drzewostanu, w tym ich miąższość. Po upływie nawrotu cięć, zbiór drzew żywych przesyłany jest do algorytmu trzebieżowego w celu wykonania następnego zabiegu. Zamknięta tym samym zostaje pętla, którą powtarza się dla dalszych lat życia drzewostanu.

Na koniec okresu prognozy model wzrostu podaje ponownie różne cechy drzewostanu, w tym jego miąższość końcową, miąższość do pozyskania w trzebieży i miąższość posuszu, a także przyrost miąższości. Pozwala to również na określenie sumarycznej produkcji drzewostanu.

Wnioski

1. Praca prezentuje stochastyczny model wzrostu dla drzewostanów olszowych, należący do grupy modeli drzewa indywidualnego. Po sośnie, świerku, jodle, dębie, buku, brzozie i modrzewiu jest to ósmy gatunek drzewa, dla którego opracowano model wzrostu. Wymienione gatunki drzew należą do najważniejszych lasotwórczych w Polsce.
2. Model wzrostu przedstawia w matematycznym zapisie procesy zachodzące w drzewostanach olszowych. Są to procesy wzrostu, konkurencji i kształtowania się struktury drzewostanu. Program modelu, napisany w języku informatycznym PASCAL, składa się z czterech głównych algorytmów: wstępnego, trzebieżowego, śmiertelności drzew i przyrostowego.
3. Autorzy modelu opracowali w matematycznym zapisie wizję wzorcowego drzewostanu olszowego. Najważniejszą cechą, na bazie której opracowano wzorzec, jest stopień zagęszczenia drzew drzewostanu. Cecha ta była podstawą zbudowania programu trzebieżowego, opartego na zasadach trzebieży selekcyjnej. Model wzrostu realizuje wizję drzewostanu wzorcowego. Gdy struktura drzewostanu odbiega od wzorca, model wskazuje drogę zbliżającą dany drzewostan do wzorca.
5. Opracowany model wymaga podjęcia badań nad jego oceną. Powinna być ona wykonana na materiale empirycznym zebrany na stałych powierzchniach badawczych, co związane jest z długim okresem wykonywania na nich pomiarów i ocen.
6. Kolejne programy badawcze powinny dotyczyć zastosowań modelu wzrostu. Na obecnym etapie rozpoznania problemu można przewidywać następujące zastosowania modelu:
 - przetwarzanie wyników okresowej inwentaryzacji lasu,

- pomoc w opracowaniu optymalnego planu cięć użytkowania rębnego,
- pomoc w opracowaniu optymalnego planu cięć pielęgnacyjnych,
- aktualizacja wyników uzyskanych z inwentaryzacji lasu,
- korekta planów w przypadku wystąpienia zjawisk o charakterze klęskowym,
- wstępna ocena poprawności wykonania zabiegów pielęgnacyjnych,
- przetwarzanie danych uzyskanych z inwentaryzacji wielkopowierzchniowej, z możliwością uzyskania prognozy rozwoju drzewostanów olszowych całej Polski.

Autorzy składają serdeczne podziękowania prof. K.W. Lockow i zespołowi, którym kieruje, za udostępnienie materiału empirycznego zebranego w drzewostanach olszowych Brandenburgii. Podziękowania składamy również pracownikom Zakładu Dendrometrii i Nauki o Produktowności Lasu SGGW za współpracę przy zbieraniu materiałów.

Literatura

- Assmann E. 1961. Waldertragskunde. München, Bonn, Wien. BLV Verlagsges.
- Assmann E. 1968. Nauka o produktywności lasu. PWRiL, Warszawa.
- Bruchwald A. 1986. Simulation growth model MDI-1 for Scots pine. Ann. Warsaw Agricult. Univ.-SGGW AR, For. and Wood Technol. 34: 47-52.
- Bruchwald A., Rymer-Dudzińska T., Dudek A., Michalak K., Wróblewski L., Zasada M. 1994. Model wzrostu dla świerka. Dokumentacja naukowa w Zakładzie Dendrometrii i Nauki o Produktowności Lasu. SGGW, Warszawa.
- Bruchwald A., Dudek A., Rymer-Dudzińska T., Michalak K., Wróblewski L., Zasada M. 1999. Model wzrostu dla drzewostanów świerkowych. Sylwan 1: 19-31.
- Bruchwald A., Dudek A., Rymer-Dudzińska T., Michalak K., Tomusiak R., Wróblewski L., Zasada M. 2001. Model wzrostu dla drzewostanów brzoźowych. Dokumentacja naukowa w Zakładzie Dendrometrii i Nauki o Produktowności Lasu. SGGW, Warszawa.
- Bruchwald A., Dudek A., Rymer-Dudzińska T., Michalak K., Tomusiak R., Wróblewski L. 2002. Model wzrostu dla drzewostanów modrzewiowych. Dokumentacja naukowa w Zakładzie Dendrometrii i Nauki o Produktowności Lasu. SGGW, Warszawa.
- Bruchwald A., Dudzińska M., Wirowski M. 1996. Model wzrostu dla drzewostanów dębu szypułkowego. Sylwan 10: 35-44.
- Bruchwald A., Dudzińska M., Wirowski M. 1998. Model wzrostu dla buka. Dokumentacja naukowa w IBL, Warszawa.
- Czuraj M. 1990. Tablice zasobności i przyrostu drzewostanów. PWRiL, Warszawa.
- Dudzińska M., Bruchwald A. 2003. Wzory empiryczne i tablice miąższości grubizny drzewa dla olszy czarnej (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.). Sylwan 6: 80-89.
- Lockow K.W. 1998. Ertragstabeln für die Roterle (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) im nordostdeutschen Tiefland. Landesforstanstalt Eberswalde.
- Schwappach A. 1912. Ertragstabeln der wichtigeren Holzarten. Neudamm.
- Szymkiewicz B. 1961. Tablice zasobności i przyrostu drzewostanów. PWRiL, Warszawa.
- Zasada M. 1995. Empiryczny model wzrostu wysokości jodły. Sylwan 5: 71-77.
- Zasada M. 1998. Model wzrostu dla jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.). Praca doktorska w Zakładzie Dendrometrii i Nauki o Produktowności Lasu, SGGW, Warszawa.

SUMMARY

A distance-independent tree growth model for black alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.)

The paper presents a stochastic growth model for black alder stands. The model belongs to the group of individual-tree models. Besides pine, spruce, fir, oak, beech, birch and larch, the main forest tree species in Poland, alder is the next species for which the growth model was built.

The rich empirical material collected from 126 alder stands in Poland was used in the model. Data obtained from Landesforstanstalt Eberswalde (Germany) were also used to develop

some functions of the model. The material came from measurements of standing trees in 135 stands of black alder located in the region of Brandenburg carried out by the team of Professor Karl-Willi Lockow.

The growth model describes processes related to stand growth, competition and structure going on in alder stands. The programme of the model contains four main algorithms: initial, thinning, tree mortality and incremental. The mathematical description of the model includes the concept of a model alder stand. The main characteristic on which the model was built is the degree of crowding of trees in a stand. This characteristic was the basis to draw up of a thinning programme based on the principles of selective thinning. The growth model represents the concept of a model stand. When the stand structure differs from the template, the model indicates that the given stand come closer to the pattern.

The growth model built for alder stands, as well as the growth models built for other tree species should prompted investigations aimed at the construction of models for stands composed of two or more tree species. The future programmes should be focused on the applications of the growth models. At the present stage of recognising the problem, the growth models may be helpful in:

- processing of data from periodical forest inventory,
- drawing up the optimal final cutting plan,
- drawing up the optimal improvement cutting plan,
- updating forest inventory data,
- correcting of plans in the case of ecological disasters,
- preliminary evaluation of the correctness of the performance of tending treatments,
- processing of data from the large-scale forest inventory.