

**ARKADIUSZ BRUCHWALD, ALBERT DUDEK, TERESA
DUDZIŃSKA, KAZIMIERZ MICHALAK, LECH
WRÓBLEWSKI, MICHAŁ ZASADA**

Model wzrostu dla drzewostanów świerkowych

A growth model for spruce stands

Abstract. At the Chair of Forest Productivity, Warsaw Agricultural University, there a growth model for spruce stands has been elaborated, belonging to the stochastic group of individual tree growth models. On its basis one can predict the development of spruce stands for period of any length. Other applications of the model are as follows:

- processing results of periodical forest surveys for getting information on more important features of the forest object under measuring and on its units,
- assisting at elaborating optimum plan of final cuttings,
- assistance at elaborating optimum plan of tending cuts,
- updating results from forest inventories,
- correction of plans in the case of occurrence of phenomena of calamity character,
- assessing the correctness of the performance of tending treatments,
- elaborating results of large-scale surveys.

Keywords: growth model, spruce.

Wstęp

W Katedrze Produkcyjności Lasu Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego opracowany został model wzrostu dla drzewostanów świerkowych. Należy on do grupy stochastycznych modeli drzewa indywidualnego. Na jego podstawie można prognozować rozwój drzewostanów świerkowych na okres o dowolnej długości.

Wraz z rozwojem racjonalnej gospodarki leśnej powstała potrzeba opracowań modelowych dla drzewostanów. W 1912 r. Schwappach opublikował tablice zasobności dla drzewostanów ważniejszych gatunków drzew (Schwappach 1912). Było to tabelaryczne zestawienie zmieniającej się z wiekiem struktury drzewostanu wzorcowego. Leśnik przez prowadzenie odpowiednich zabiegów pielęgnacyjnych powinien utrzymywać taką strukturę lub do niej dążyć. Ćwierć wieku później nowe tablice zasobności opracował Wiedemann (Wiedemann 1937). Zawierały one obraz kilku wariantów hodowli drzewostanów uwzględniających

różne rodzaje i nasilenia trzebieży. W 1950 r. Assmann opublikował teorię trzebieżową, zgodnie z którą drzewostan należy prowadzić przy optymalnym poziomie pola przekroju (Assmann 1950). Na podstawie tej teorii opracowano tablice zasobności (Assmann, Franz 1963). W niektórych rejonach Niemiec tablice te stosowane są do dnia dzisiejszego. Tablice zasobności dla świerka opublikował również Wenk (Wenk 1980), a nowością było tu uwzględnienie różnego przebiegu z wiekiem średniej wysokości drzewostanu.

W Polsce dla drzewostanów świerkowych stosowane są do dziś tablice zasobności Schwappacha. Wykorzystuje się je głównie do określania klasy bonitacji siedliska i czynnika zadrzewienia, a niekiedy do szacowania miąższości i przyrostu miąższości drzewostanu. Mankamentem tych tablic jest ich jednowariantowość i również mała dokładność (Bruchwald, Rymer-Dudzińska 1996).

Historia nowoczesnych stochastycznych modeli wzrostu zaczęła się po drugiej wojnie w Stanach Zjednoczonych. Przykładem może być opracowany tam model wzrostu dla ważniejszych gatunków drzew Ameryki Północnej, wykorzystywany do opracowywania wyników inwentaryzacji lasu (Ek, Monserud 1974). Model umożliwia określenie różnych cech taksacyjnych drzewostanów i prognozowanie ich rozwoju.

W Polsce badania nad budową modeli podjęto w 1976 r. (Bruchwald 1977). Rezultatem był opracowany w 1986 r. model wzrostu dla drzewostanów sosnowych o nazwie MDI-1 (Bruchwald 1986). Współpraca Katedry Produkcyjności Lasu SGGW i Zakładu Urządzania Lasu IBL umożliwiła podjęcie prac nad modelami wzrostu liściastych gatunków drzew. Zaowocowało to opublikowaniem modelu wzrostu dla drzewostanów dębu szypułkowego (Bruchwald i inni 1996).

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie etapów budowy modelu wzrostu dla drzewostanów świerkowych. Omówione będą również zasady funkcjonowania poszczególnych algorytmów modelu.

Materiał badawczy

Do zbudowania modelu wzrostu posłużył materiał empiryczny zebrany w 548 drzewostanach świerkowych. Do niektórych celów uwzględniono dodatkowo dane ze 100 drzewostanów mieszanych świerkowo-sosnowych zlokalizowanych na terenie puszczy: Knyszyńskiej, Augustowskiej i Rominckiej. Powierzchnie badawcze zakładane w litych drzewostanach świerkowych reprezentują zarówno północny jak i południowy zasięg świerka. Północny reprezentowany jest przez powierzchnie położone w wymienionych już puszczych oraz w Puszczy Białowieskiej. Pewna liczba powierzchni leży poza granicami Kraju (Litwa, Białoruś). Południowy zasięg reprezentują powierzchnie założone w Karpatach i Sudetach. Niektóre leżą na terenie Ukrainy.

Analiza wieku drzewostanów świerkowych wykazała, że większość z nich jest różnowiekowa. Do określenia przeciętnego wieku zastosowano wzór na średnią ważoną, a za wagę przejęto iloczyn wysokości i kwadratu pierśnicy drzewa. Podstawą określania wieku były pomiary wykonane na drzewach leżących. Wiek najmłodszego drzewostanu wynosi 28 lat, a najstarszego 190. Około 92% drzewostanów mieści się w klasach wieku od III do VI. Przeciętna pierśnica drzewostanów wahała się w granicach od 8,8 do 53,0 cm, a przeciętna

wysokość od 7,6 do 44,0 m. Bonitację dla drzewostanów świerkowych określono z opracowanego modelu wzrostu. Definiuje się ją jako wyrażoną w metrach wysokość górną (średnią 100 najgrubszych drzew na 1 ha) prognozowaną dla wieku 100 lat. Bonitacja w zbiorze zawiera się w granicach od 16,1 do 50,6.

W 27 drzewostanach założono zręby zupełne, na których pomierzono łącznie około 4600 drzew. Na pozostałych powierzchniach pomierzono przeciętnie po 15 drzew ściętych. Do określenia ich miąższości zastosowano wzór sekcyjny środkowego przekroju przy długości sekcji 1 m dla drzew niskich i 2 m dla wysokich. Dla świerków pochodzących z drzewostanów mieszanych wyższych od 16 m zastosowano sekcje o zmiennej długości: do 4 m od podstawy drzewa sekcje długości 1 m, a powyżej sekcje 2 m. W środkach sekcji pomierzono grubość w korze w dwóch prostopadłych kierunkach średnicomierzem precyzyjnym z zaokrągleniem do 1 mm. Różny był sposób dojścia do grubości bez kory. Na niektórych powierzchniach przeprowadzono bezpośredni pomiar grubości bez kory średnicomierzem po uprzednim okorowaniu odpowiednich miejsc. Stosowano również pomiar grubości kory, który wykorzystano do określenia grubości bez kory.

Na powierzchniach badawczych przeprowadzono pomiar pierśnic wszystkich drzew i pomiar wysokości pewnej ich liczby. Na 149 powierzchniach zakładanych przez Katedrę w okresie ostatnich 20 lat przeprowadzono klasyfikację wszystkich drzew: trzebieżową, jakościową i biosocjalną według Krafca.

Z całości materiału empirycznego utworzono bazę danych, która po dokonaniu korekt, posłużyła do rozwiązywania różnych zagadnień związanych z budową modelu wzrostu.

Podstawy budowy modelu wzrostu

Model wzrostu jest matematycznym zapisem procesów zachodzących w drzewostanach świerkowych. Są to procesy wzrostu, konkurencji i kształtowania się struktur różnych cech w drzewostanach (Bruchwald 1988). Budowa modelu wymaga przede wszystkim opracowania systemu zaliczania drzewostanów do klas o zbliżonej potencjalnej produktywności (klas bonitacji). Według dotychczasowych badań najlepszym systemem podziału jest bonitacja definiowana jako wysokość górna drzewostanu prognozowana dla określonego wieku, np. 100 lat (Assmann, Franz, 1963, Bruchwald 1986, Wenk, Römisch, Gerold 1982). Wysokość górna definiowana jest jako wysokość średnia pewnej liczby najgrubszych drzew na 1 ha. Dla potrzeb budowanego modelu przyjęto liczbę 100, taką, jaką we wcześniejszych badaniach zaproponował (Assmann 1961).

Przebieg z wiekiem wysokości górnej określa opracowana funkcja o ogólnej postaci:

$$H_{100} = A \cdot B \quad (1)$$

gdzie:

- H_{100} – wysokość górna (średnia 100 najgrubszych drzew na 1 ha),
- B – bonitacja – wysokość górna prognozowana dla wieku 100 lat,
- A – opracowana na podstawie materiałów empirycznych funkcja wzrostu wysokości górnej w wyrażeniu stosunkowym do wysokości górnej w wieku lat 100.

Współczynnik A można nazwać standaryzowaną funkcją wzrostu wysokości. Jego wartość zależy tylko od wieku i oznacza, jaką część wysokości górnej w wieku 100 lat osiągną drzewostany świerkowe w określonym wieku. Dla wieku 100 lat wartość współczynnika wynosi oczywiście 1, dla wieku do 99 lat współczynnik przyjmuje wartości mniejsze od 1, a dla wieku ponad 100 lat wartości większe od 1. Do opracowania funkcji przedstawiającej przebieg z wiekiem współczynnika A wykorzystano wyniki analizy wzrostu wysokości ściętych drzew próbnych. Uwzględniono tylko drzewa pochodzące z górnej warstwy drzewostanu. Do obliczenia współczynników funkcji wzrostu wzięto drzewa, które nie miały w młodości opóźnień we wzroście wysokości. Żmudne badania polegające na doborze różnych rodzajów funkcji i wyznaczaniu ich współczynników pozwoliły na opracowanie następującego równania:

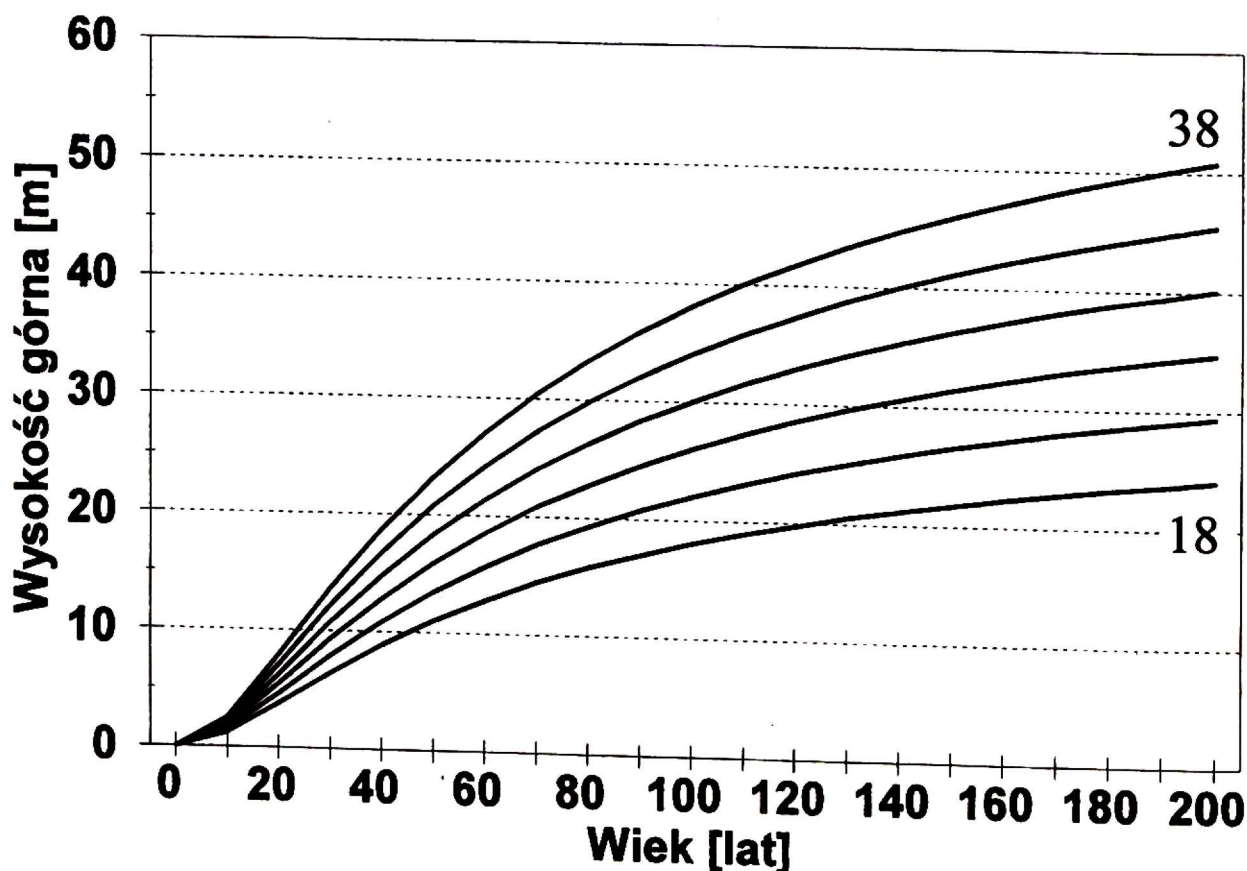
$$A = \left(\frac{w}{7 + 0,25w} \right)^{2,5} \cdot \frac{1}{17,26334915} \quad (2)$$

gdzie:

w jest wiekiem drzewostanu.

Mnożąc wartości współczynnika A przez stałą wartość B (bonitacji) uzyskuje się krzywą wzrostu wysokości górnej dla określonej bonitacji (ryc. 1).

Przekształcając wzór (1) otrzymuje się:



RYC. 1. Krzywe wzrostu wysokości górnej dla różnych bonitacji

$$B = \frac{H_{100}}{A} \quad (3)$$

Ustalenie bonitacji wzorem (3) wymaga wcześniejszego określenia wieku i wysokości górnej drzewostanu. Dla celów praktycznych opracowano opcję określania bonitacji na podstawie wysokości średniej i wieku. Odpowiedni algorytm przelicza wówczas wysokość średnią na górną.

Bardzo istotną rolę pełni w modelu funkcja wyznaczająca dla określonej bonitacji "maksymalną" liczbę drzew przypadającą na 1 ha. Wyprowadzono ją po przeprowadzeniu analizy związku średniego odstepu między drzewami (transformowana liczba drzew na 1 ha) i wieku drzewostanu. Funkcja ta służy do ustalania dla drzewostanu stopnia zagęszczenia, będącego ilorazem liczby drzew drzewostanu i liczby "maksymalnej".

Do prawidłowego działania modelu wzrostu niezbędne jest jeszcze opracowanie całego szeregu innych funkcji i algorytmów. Wymieńmy niektóre: funkcja wzrostu pierśnicy, funkcja minimalnego tempa wzrostu pierśnicy, funkcja pierśnicy modalnej, funkcja odchylenia standardowego lewej jak i prawej części uciętego rozkładu pierśnicy, funkcja stałych krzywych wysokości (Bruchwald, Wróblewski 1994), funkcja odchylenia standardowego wysokości z wyłączonym wpływem pierśnicy, funkcje różnych liczb kształtu (Bruchwald, Wróblewski 1983), funkcje określające prawdopodobieństwo śmierci drzew i inne.

Szczególnie skomplikowane okazało się matematyczne ujęcie wzrostu grubości (pierśnicy). Zagadnienie to zostanie omówione bardziej szczegółowo.

Wzrost pierśnicy kształtowany jest przez wiele czynników. O wartości pierśnicy drzew decydują w pierwszym rzędzie warunki siedliskowe. Bardzo istotny wpływ wywierają również warunki wzrostu rozumiane jako przestrzeń, z której drzewo korzysta, a także otoczenie tej przestrzeni.

Wzrost pierśnicy z wiekiem pierśnicowym, liczonym od roku dorośnięcia drzewa do wysokości 1,3 m (równym liczbie słoju na pierśnicy), można przedstawić ogólnym wzorem:

$$d = E \cdot C \quad (4)$$

gdzie:

E – standaryzowana funkcja wzrostu pierśnicy,

C – tempo wzrostu pierśnicy.

Wyrażenie E zależy tylko od wieku pierśnicowego i pełni podobną rolę jak wyrażenie A w funkcji wzrostu wysokości. W wieku pierśnicowym 100 lat przyjmuje wartość 1, poniżej 100 lat przyjmuje wartości mniejsze od 1, a powyżej 100 lat – większe od 1. Wyrażenie C (tempo wzrostu pierśnicy) jest wartością pierśnicy w wieku pierśnicowym 100 lat i pełni podobną rolę jak wyrażenie B we wzorze na wzrost wysokości.

Poszukiwania funkcji wzrostu E i jej współczynników przeprowadzono na materiale empirycznym pochodzącym z pomierzonych drzew górnej warstwy drzewostanu. Doprowadziły one do opracowania następującej postaci tej funkcji:

$$q = (2,8 + 0,15w_p)^{\frac{w_p^2}{w_p^2 + 40}} \cdot \frac{1}{17,59698441} \quad (5)$$

dla $w_p \leq 100$,

$$E = q \quad (5a)$$

dla $w_p > 100$

$$E = 1 + \frac{10 \cdot (q - 1)}{\sqrt{w_p}} \quad (5b)$$

gdzie:

w_p jest wiekiem pierśnicowym drzewa.

Ponieważ funkcja wzrostu wysokości H_{100} (wzór 1) dotyczy również drzew górnej warstwy drzewostanu, można ją wykorzystać do powiązania wieku drzewa z wiekiem pierśnicowym. Liczba lat (u), po której drzewo uzyska wysokość 1,3 m, zależy od bonitacji (B) i kształtuje się następująco:

| | |
|----------------------------|------------|
| dla $B \geq 39,1$; | $u = 5$ |
| dla $39,1 > B \geq 30,2$ | $u = 6$, |
| dla $30,2 > B \geq 24,0$; | $u = 7$, |
| dla $24,0 > B \geq 19,8$; | $u = 8$, |
| dla $19,8 > B \geq 16,6$; | $u = 9$, |
| dla $B < 16,6$; | $u = 10$. |

Wiek pierśnicowy jest więc równy:

$$w_p = w - u \quad (6)$$

gdzie

w jest wiekiem drzewa.

W modelu wzrostu zapisanym w języku Turbo-Pascal, przeliczenia wieku pierśnicowego na wiek fizyczny drzewa wykonuje automatycznie odpowiednia procedura.

Związek tempa wzrostu pierśnicy (C) z bonitacją (B) w drzewostanach o pełnym zagęszczeniu ujmuje wzór:

$$C = 2 + 1,1B \quad (7)$$

Tak określone tempo wzrostu pierśnicy można traktować jako minimalne dla danej bonitacji i jest traktowane w modelu jako funkcja sterująca przebiegiem wzrostu pierśnicy z wiekiem.

Powiązanie tempa wzrostu pierśnicy ze stopniem zagęszczenia (Z) i rodzajem trzebieży ujmuje następująca funkcja:

$$C_1 = \frac{(10 + B)(1 - Z) + C(Z - 0,3)}{0,7} \quad (8)$$

gdzie:

- C – minimalne tempo wzrostu pierśnicy,
 B – bonitacja.

Wzór (8) stosuje się z następującymi warunkami:

przy wykonywaniu trzebieży dolnych

gdy $zag > 1$ to $Z = 1$,

gdy $1 > zag \geq 0,5$ to $Z = zag$,

gdy $zag < 0,5$ to $Z = 0,5$,

gdy $zag < 0,5$ i po 15 latach rozwoju nie przekroczy tej wartości to $C_1 = C$,

przy wykonywaniu trzebieży selekcyjnej wyrażenie $Z = zag - Z_1$, natomiast

$$Z_1 = 2 \frac{n_1}{N} \quad (9)$$

gdzie:

- n_1 – liczba drzew wyjętych z warstwy górnej drzewostanu,
 N – liczba drzew drzewostanu przed trzebieżą.

Funkcja korygująca wzrost pierśnicy ze względu na zagęszczenie i rodzaj trzebieży ma następującą postać:

$$\gamma = 1 + \frac{C_1 - C}{C_1 \cdot w}$$

Gdy pierśnica drzewa w wieku w_1 wynosi d_1 , to celem określenia jej wartości po upływie 1 roku (d_2) stosujemy formułę:

$$d_2 = d_1 \cdot \gamma \cdot \frac{E_2}{E_1}$$

gdzie:

- E_1 – wartość określona wzorem (5) dla wieku pierśnicowego $w_p = w_1 - u$,
 E_2 – wartość określona wzorem (5) dla wieku pierśnicowego $w_p = w_1 + 1 - u$.

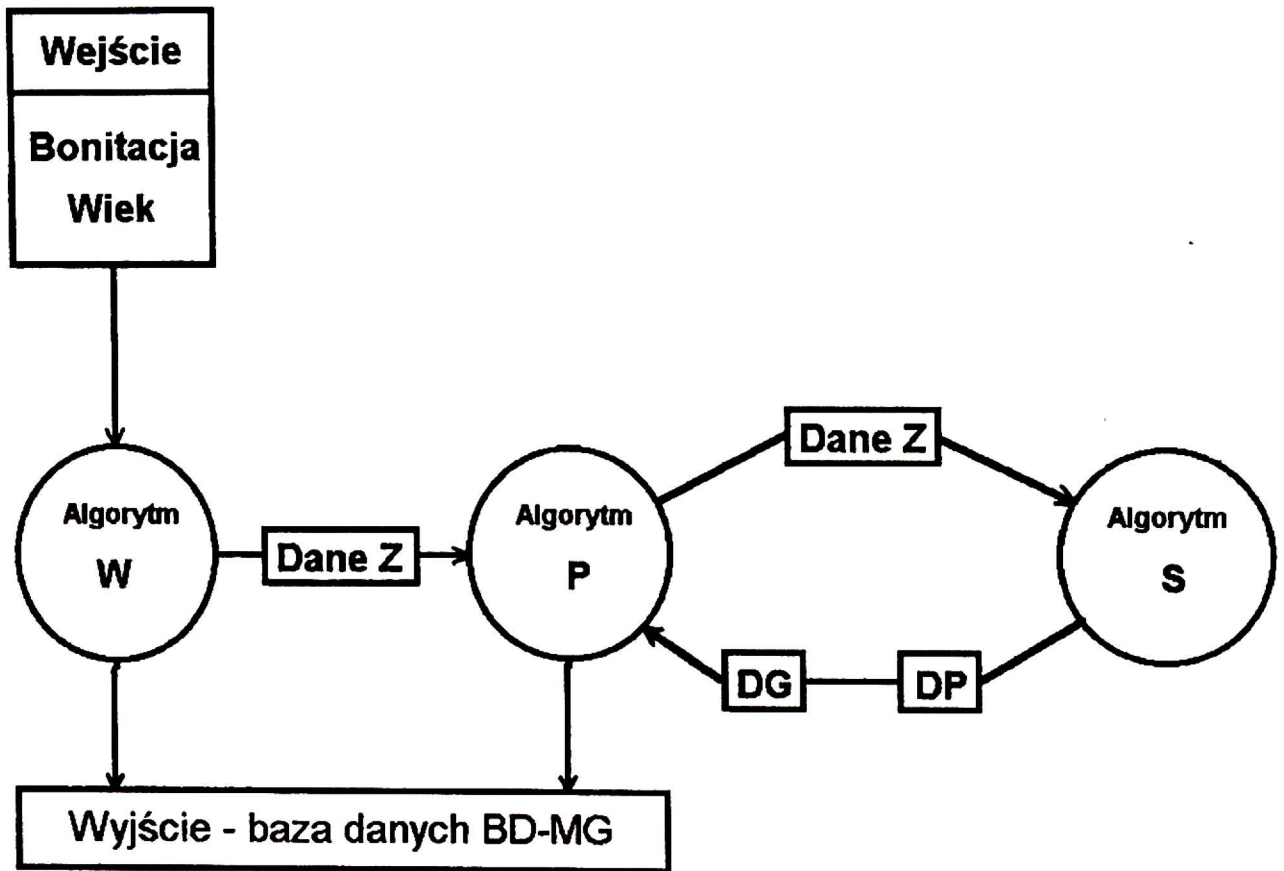
Model uwzględnia więc wahania tempa wzrostu pierśnicy spowodowane okresowymi zmianami zagęszczenia i charakterem wykonywanych trzebieży. Wahania te są większe w młodym wieku i stopniowo zmniejszają się z wiekiem. Obrazowo można to porównać do przebiegu funkcji "gasnącej" sinusoidy.

Wszystkie opracowane funkcje służyły do opracowania algorytmów modelu wzrostu drzewostanu. W zależności od rodzaju modelu mogą to być trzy lub cztery algorytmy.

W pierwszym etapie opracowano tzw "model graniczny", który posłużył do tworzenia bazy danych wykorzystywanej przez inne modele [Bruchwald 1991]. W drugim etapie opracowano cztery warianty modelu wzrostu dla świerka:

- przetwarzający dane pomiarowe i symulujący wykonywanie trzebieży selekcyjnej,

- przetwarzający dane szacunkowe i symulujący wykonywanie trzebieży selekcyjnej,
- przetwarzający dane pomiarowe i symulujący wykonanie trzebieży dolnej,
- przetwarzający dane szacunkowe i symulujący wykonywanie trzebieży dolnej.



RYC. 2. Schemat modelu granicznego

Funkcjonowanie granicznego modelu wzrostu

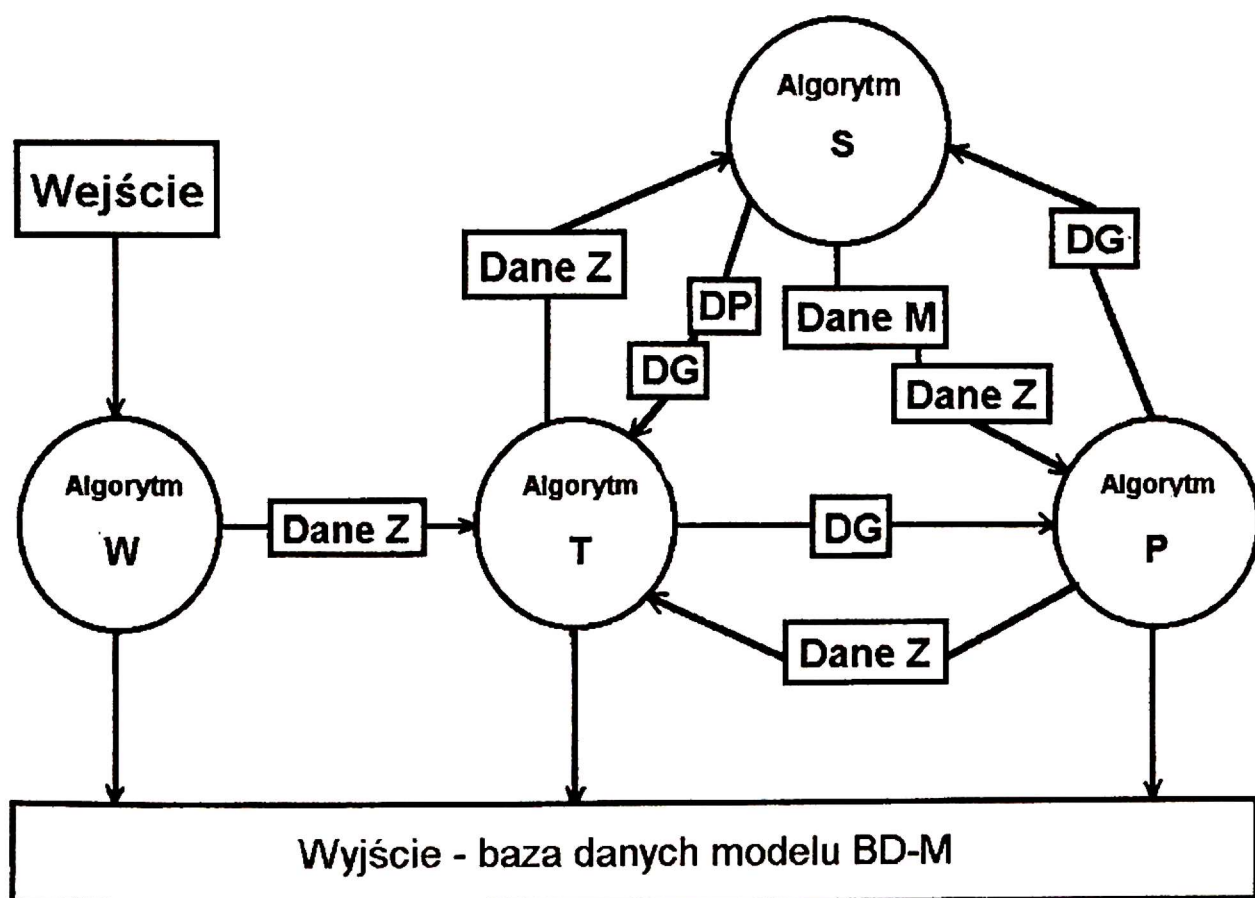
Model graniczny prognozuje rozwój drzewostanu o pełnym zagęszczeniu, tj. takiego, w którym nie wykonuje się zabiegów pielęgnacyjnych. Symuluje on proces naturalnego wydzielania się drzew z drzewostanu. Liczba drzew ustalana przez model dla danego wieku jest podstawą określania stopnia zagęszczenia drzewostanu.

Graniczny model wzrostu składa się z trzech algorytmów: wstępnego (W), śmiertelności (S) i przyrostowego (P) (ryc. 2). Algorytm wstępny (W) przetwarza dane dla poszczególnych bonitacji i przyjętego wieku początkowego prognozy. Uzyskane informacje dotyczące różnych cech drzewostanu zapisywane są w bazie danych modelu granicznego (BD-MG). Algorytm przyrostowy P podwyższa wiek drzewostanu o 1 rok, po czym określa liczbę drzew, które w ciągu roku wypadną z drzewostanu. Algorytm śmiertelności przeprowadza podział całego zbioru na drzewa żywe (zbiór DG) i drzewa martwe (zbiór DP). Algorytm przyrostowy powiększa wymiary drzew zbioru DG o roczny przyrost po czym określa

ważniejsze cechy drzewostanu, które zapisuje w bazie danych modelu granicznego (BD-MG). Przetwarzanie danych przez algorytm P i S trwa do końca okresu prognozy, który dla świerka przyjęto 170 lat.

Funkcjonowanie modelu realizującego programy trzebieżowe

Model wzrostu składa się z czterech algorytmów: wstępnego (W), trzebieżowego (T), śmiertelności drzew (S) i przyrostowego (P) (ryc. 3). Model korzysta z dwóch baz danych: pomiarowej (BD-P) i utworzonej przez model graniczny (BD-MG). W pomiarowej bazie (BD-P) zawarte są informacje uzyskane z pomiarów wykonanych w drzewostanie. Dla funkcjonowania modelu wymagane są co najmniej informacje dotyczące: wieku drzewostanu, bonitacji, stopnia zagęszczenia, wielkości powierzchni. Na podstawie takich danych model generuje rozkład pierśnic i wysokości drzew wykorzystując dane zawarte w bazie BD-MG. Zwiększenie dokładności prognozy można uzyskać wówczas, gdy w drzewosta-



RYC. 3. Model wzrostu realizujący programy trzebieżowe

nie przeprowadza się pomiar pierśnic i wysokości drzew. W takim wypadku baza danych modelu granicznego wykorzystywana jest jedynie do określenia czynnika zadrzewienia. Informacja o udziale luk w drzewostanie mogłaby istotnie zwiększyć dokładność prognozy w obydwu przypadkach.

Program wstępny (W), po utworzeniu rozkładu pierśnic i przyporządkowaniu każdemu drzewu wysokości, określa ważniejsze cechy taksacyjne drzewostanu, w tym pięć rodzajów

miąższości: strzał w korze, strzał bez kory, grubizny drzew, grubizny strzał bez kory (grubość w cieńszym końcu bez kory – 5 cm), drewna bez kory o grubości w cieńszym końcu – 14 cm. Uzyskane dane, charakteryzujące stan drzewostanu w momencie pomiarów, zapisywane są w wynikowej bazie danych modelu (BD-M).

Ze względu na możliwość realizowania w praktyce różnych rodzajów trzebieży, opracowano dwie opcje modelu. Pierwsza prognozuje trzebież dolną, a druga kombinowaną. Opracowane programy określają w pierwszej kolejności liczbę drzew, którą należy usunąć z drzewostanu w ramach przeprowadzanej trzebieży. W przypadku trzebieży kombinowanej najpierw określana jest liczba drzew do usunięcia z drzewostanu panującego, a w drugiej kolejności z drzewostanu opanowanego. Program śmiertelności dokonuje podziału drzew na dwie grupy: pozostający na pniu drzewostan główny (DG) i usuwany w trzebieży drzewostan podrzędny (DP). Dla DG określone są cechy taksacyjne takie jak w programie wstępnym, a dla DP podstawowe informacje dotyczące m. in. miąższości. Uzyskane dane zapisywane są w BD-M. Program przyrostowy działa tak samo, jak w modelu granicznym. Wiek drzewostanu zostaje zwiększony o 1 rok, po czym określana jest liczba drzew, które wypadną z drzewostanu. Program śmiertelności oblicza prawdopodobieństwo śmierci każdego drzewa i wskazuje, które z nich zaliczyć do posuszu (M). Zbiór drzew żywych (Z) przetwarzany jest w programie przyrostowym i śmiertelności przez liczbę lat równą nawrotowi trzebieży. Dla analizowanego okresu ustalane są cechy taksacyjne posuszu, dla końca okresu określone są cechy drzewostanu na pniu określające jego stan przed następną trzebieżą. Zbiór drzew żywych (Z) przesyłany jest następnie do programu trzebieżowego w celu wykonania kolejnego zabiegu. Takie cykle przetwarzania danych mogą być powtarzane dla dalszych lat życia drzewostanu. Prognoza symulowana modelem pozwala również na określenie spodziewanego przyrostu miąższości i sumarycznej produkcji drzewostanu.

Wnioski

- Przedstawiony model wzrostu jest pierwszym tego typu opracowaniem dla drzewostanów świerkowych Polski. Model należy do grupy stochastycznych modeli drzewa indywidualnego. Oparty jest na bardzo obszernym materiale empirycznym zebrany w takich miejscach Polski, w których świerk tworzy większe kompleksy leśne. Część materiałów pochodzi spoza granic kraju (Litwa, Białoruś, Ukraina).
- Model przedstawia w matematycznym zapisie procesy zachodzące w drzewostanach świerkowych. Są to procesy wzrostu i kształtowania się struktury drzewostanu. Program modelu napisany jest w języku Turbo-Pascal i składa się z czterech głównych algorytmów: wstępnego, trzebieżowego, śmiertelności drzew i przyrostowego.
- Model jest wizją wzorcowego drzewostanu świerkowego. Najważniejszym parametrem, na bazie którego opracowano wzorzec, jest stopień zagęszczenia drzew drzewostanu. Na charakterystyce tej oparte zostały programy trzebieżowe. Dotyczą one trzebieży kombinowanej (selekcyjnej) i trzebieży dolnej. Gdy struktura drzewostanu odbiega od wzorca, model wskazuje drogę postępowania hodowlanego zbliżającą dany drzewostan do wzorca.

■ Przewidywane najważniejsze zastosowania modelu wzrostu:

- przetwarzanie wyników okresowej inwentaryzacji lasu celem uzyskania informacji o ważniejszych cechach mierzonego obiektu leśnego i jego jednostek,
- pomoc w opracowaniu optymalnego planu cięć użytkowania rębnego,
- pomoc w opracowaniu optymalnego planu cięć pielęgnacyjnych,
- aktualizacja wyników uzyskanych z inwentaryzacji,
- korekta planów w przypadku wystąpienia zjawisk o charakterze klęskowym,
- ocena poprawności wykonania zabiegów pielęgnacyjnych,
- opracowanie wyników inwentaryzacji wielkoobszarowej,
- prognozowanie rozwoju drzewostanów świerkowych,
- pomoc (narzędzie) w ustalaniu wartości lasu.

■ Doskonalenie modelu wzrostu powinno być działaniem ciągłym. Im lepiej poznamy procesy zachodzące w drzewostanach świerkowych, tym precyzyjniejszy może być ich matematyczny zapis i dokładniejsze funkcjonowanie modelu.

*Z Katedry Produkcyjności Lasu SGGW w Warszawie
ul. Rakowiecka 26/30; e-mail: les-kpl@delta.sggw.waw.pl*

Literatura

1. **Assmann E.**, 1950, Grundflächen- und Volumenzuwachs der Rotbuche bei verschiedenen Durchforstungsgarden. Forstwiss. Centralbl. Jg. 69 H. 5.
2. **Assman E.** 1961, Waldertragskunde. München, Bonn, Wien. BLV Verlagsges.
3. **Assmann E., Franz F.**, 1963, Vorläufige Fichten-Ertragstafel für Bayern. München, Forstl. Forsch. Anst.
4. **Bruchwald A.**, 1977, Change in top height of pine forest stands with age. Bull. Acad. Pol. Sc. Sér. Sc. Biol. 5, 335-342.
5. **Bruchwald A.**, 1986, Simulation growth model MDI-1 for Scots pine. Ann. Warsaw Agric. Univ. – SGGW-AR, For. and Wood Technol. 34, 47-52.
6. **Bruchwald A.**, 1988, Przyrodnicze podstawy budowy modeli wzrostu. Sylwan, 11-12, 1-10.
7. **Bruchwald A.**, 1991, Limiting Growth Model for Pine. Bull. Acad. Pol. Sc., Sér. Biol., 2: 213-220.
8. **Bruchwald A., L. Wróblewski**, 1993, Wzory empiryczne do określania miąższości drzewostanów świerkowych. Sylwan, 9, 15-19.
9. **Bruchwald A., L. Wróblewski**, 1994, Uniform Height Curves for Norway Spruce Stands. Fol. Forest. Pol., ser. A Forestry, 36, 43-48.

10. **Bruchwald A., M. Dudzińska, M. Wirowski**, 1996, Model wzrostu dla dębu szypułkowego. *Sylwan*, 10, 35-44.
11. **Bruchwald A., T. Rymer-Dudzińska**, 1996, Ocena dokładności określania miąższości drzewostanów świerkowych za pomocą tablic IBL. *Sylwan*, 12, 17-24.
12. **Ek A. R., Monserud**, 1974, FOREST: A computer model for simulating the growth and reproduction of mixed species forest stands. Univ. of Wisconsin - Madison, College of Agricultural and Life Sciences, Research Report, R2635.
13. **Schwappach A.**, 1912, Ertragstabeln der wichtigeren Holzarten. Verlag J. Neuman, Neudemm.
14. **Wenk G.**, 1980, Die neue Fichtenertragstafel für die Mittelgebirge der DDR und Probleme bei der Einführung in die Praxis. W: Die neue Fichtenstragstafel für die Mittelgebirge der DDG. Agrarwiss. Geselsch. d. DDR, Dresden s. 4-38.
15. **Wenk G., K. Römisch, D. Gerold**, 1982, Die Grundbeziehungen der neue Fichtenertragstafel für des Mittelgebirge der DDR. *Wiss. Z. Techn. Univ. Dresden*, 31, 267-271.
16. **Wiedemann E.**, 1937, Die Fichte 1936. Hannover, Schaper.

Summary

A growth model for spruce stands

At the Chair of forest Productivity, Warsaw Agricultural University, there a growth model for spruce stands has been elaborated. It belongs to the group of stochastic models for individual tree. On its basis one can predict the development of spruce stands for period of any length. A large empirical material served to build the growth model, the material that was collected in such parts of Poland where spruce makes greater forest tracts. A part of materials is from outside our country (Lithuania, Belarus, Ukraine).

The growth model is a mathematical recording of processes occurring in spruce stands. Those are processes of growth, competition and shaping of structures of various features in stands. Embodying the stands to site classes goes on the basis of age function and upper height defined as an average height of 100 thickest trees per 1 ha (Fig. 1).

The function defining a "maximum" number of trees per 1 ha a definite site class plays a very important role in the model. This function serves for defining the density level for stand, that is the quotient from the number of trees in stand and from a "maximum" number. Other functions ensuring rightful action of the model are as follows: diameter at breast height (dbh) increment function, minimum dbh increment rate function, modal dbh function, standard deviation function for both right and left parts od cut dbh distribution, uniform height curves function, height standard deviation function with the dbh impact excluded, functions of various form factors, functions predicting probability of the death of trees, and others.

At the first stage of preparations the so called "limit model" was elaborated, that served to establishing a database used by other models. The limit model predict the development of

a stand at full density, i.e. such in which no tending treatments are performed. It simulates the process of natural decline of trees inside a stand. The number of trees defined by the model for a given age is the basis for defining the degree of density in the stand.

At the second stage four variants of the spruce growth model were elaborated that perform thinning programs:

- a model processing measurement data and simulating the performance of selective thinning,
- a model processing estimation data and simulating the performance of selective thinning,
- a model processing measurement data and simulating the performance of lower-storey thinning,
- a model processing estimation data and simulating the performance of lower-storey thinning.

The limit model of growth is composed of three algorithms: introductory (W), mortality (S), and incremental (P) ones (Fig. 2). The model performing the thinning program contains additionally a thinning algorithm (T) (Fig. 3). The program of the model is written in the Turbo-Pascal language.

The model is a vision of a standard spruce stand. The level of density of trees inside the stand is the most important parameter, on the basis of which the standard was elaborated. The thinning programs are based on this feature. They concern combined (selection) thinning and lower-storey thinning. When the stand structure deviates from the standard, the model indicates the way for silvicultural treatment that the given stand closer to the standard ones.

The predicted most important applications of the growth model are as follows:

- processing results of periodical forest surveys for getting information on more important features of the forest object under measuring and on its units,
- assisting at elaborating optimum plan of final cuttings,
- assistance at elaborating optimum plan of tending cuts,
- updating results from forest inventories,
- correction of plans in the case of occurrence of phenomena of calamity character,
- assessing the correctness of the performance of tending treatments,
- elaborating results of large-scale surveys,
- forecasting the development of spruce stands,
- assisting (a tool) at identifying the financial value of the forest.