

ARKADIUSZ BRUCHWALD, MAŁGORZATA DUDZIŃSKA,
MAREK WIROWSKI

Model wzrostu dla drzewostanów dębu szypułkowego

A Growth Model for Pedunculate Oak Stands

Wstęp

Zakład Urządzania Lasu Instytutu Badawczego Leśnictwa przy współpracy z Katedrą Produkcyjności Lasu Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego opracował model wzrostu dla drzewostanów dębu szypułkowego (*Quercus robur* L., *Quercus pedunculata* Ehrh). Należy on do klas stochastycznych modeli wzrostu drzewa indywidualnego. Na jego podstawie można prognozować rozwój drzewostanów dębowych na okres o dowolnej przyjętej długości.

Model wzrostu ujmuje w matematyczny zapis procesy zachodzące w drzewostanach dębowych. Są to procesy wzrostu, konkurencji i kształtowania się struktur drzewostanu (Bruchwald 1988). W modelu wzrostu sformułowano warunki przy jakich może być wykonana w drzewostanie trzebież. Założono przy tym, że model będzie symulował wykonanie trzebieży selekcyjnej, co jest zgodne z obowiązującymi zasadami hodowli lasu (1988).

Celem pracy jest przedstawienie zasad funkcjonowania modelu wzrostu opracowanego dla drzewostanów dębu szypułkowego. Podany będzie również przykład prognozy rozwoju drzewostanu przeprowadzonej przy zastosowaniu modelu.

Materiał badawczy

Model wzrostu opracowano na materiale empirycznym zebrany na stałych i tymczasowych powierzchniach badawczych. Stałe powierzchnie założone zostały na przełomie XIX i XX wieku z inicjatywy Schwappacha oraz w okresie międzywojennym z inicjatywy Wiedemanna (Schwappach 1905, Wiedemman 1955). Powierzchnie te, nad którymi nadzór sprawuje Zakład Urządzania Lasu IBL, podlegają pomiarowi w pięcioletnich cyklach, a cały dotychczas zebrany materiał pomiarowy zawarty jest w komputerowej bazie danych.

Wykorzystana do opracowania modelu wzrostu dla dębu liczba stałych powierzchni wynosiła 18, a powierzchni tymczasowych 100. Do opracowania niektórych funkcji modelu można było traktować wyniki pomiarów przeprowadzonych w różnych terminach na stałych powierzchniach jako oddzielne zbiory danych. Łączna liczba takich zbiorów wynosiła 339.

Powierzchnie badawcze zakładane były w różnych częściach Polski, m.in. w nadleśnictwach: Łuków, Sokołów Podlaski, Pułtusk, Płońsk, Dobrocin, Runowo, Wołów, Nowa Sól, Krotoszyn. W przeważającej większości były to drzewostany dębu szypułkowego.

Oceniona w poszczególnych drzewostanach zmienność wieku drzew pozwala na wyciągnięcie wniosków dotyczących stosowanego sposobu odnowienia lasu. W 25% drzewostanów różnica wieku drzew przekroczyła 20 lat, co świadczy o naturalnym sposobie odnowienia tych drzewostanów. W 32% drzewostanów różnica wieku drzew wahała się od 10 do 20 lat, a więc przynajmniej niektóre z tych drzewostanów powstały z odnowienia naturalnego. W pozostałych 43% drzewostanów różnica wieku drzew nie przekroczyła 10 lat, co przemawia za sztucznym sposobem odnowienia tych powierzchni.

Średni wiek drzewostanów wykorzystanych do budowy modelu wzrostu wahał się od 23 do 193 lat. Do opracowania niektórych funkcji modelu wykorzystano również materiał zebrany w drzewostanach starszych, np. z drzewostanu dębowo-bukowego, w którym wiek dębu wynosił 420 lat.

Przeciętna pierśnica poszczególnych drzewostanów wahała się od 5 do 74 cm, a średnia wysokość od 7 do 36 m. Klasa bonitacja siedliska określona tablicami Wimmenauera (są one zawarte w zestawie tablic zasobności opracowanym przez Szymkiewicza), wahała się od IV do znacznie przekraczającej zakresem klasę I.

Na powierzchniach próbnych pomiarowi podlegały pierśnice wszystkich drzew oraz wysokości najczęściej około 30 drzew. Określono również wiek drzewostanu. Na tymczasowych powierzchniach próbnych przeprowadzono 3 klasyfikacje: socjalną wg Krafra, trzebieżową i techniczną.

Na około 150 drzewach przeprowadzono analizę pniową. W tym celu z drzew leżących wycięto wyrzynki, które podlegały obróbce w laboratorium pomiarowym. Po wygładzeniu wyrzynka, przyrostomierzem sprzężonym z komputerem przeprowadzono pomiar szerokości słoików na 4 promieniach. Dzięki zastosowaniu odpowiedniego oprogramowania, można było kontrolować i ewentualnie korygować wyniki pomiaru. Pomiar tym przyrządem przeprowadzono również na wywiertach pobranych z drzew stojących z wysokości 1,3 m. Uwzględniono tu również dotychczas nie wymienione kompleksy leśne, takie, w których dąb ma swój znaczący udział (Nadl. Smolarz i Jarocin). W sumie wykonano pomiary na około 460 wywiertach.

Podstawy budowy modelu wzrostu

Budowa modelu wzrostu wymaga najpierw opracowania systemu zaliczania poszczególnych drzewostanów do klas o zbliżonej potencjalnej produktywności. Dotychczasowe badania wykazały, że najlepszym systemem podziału jest bonitacja definiowana jako

wysokość górna drzewostanu prognozowana do określonego wieku, np. 100 lat (Assmann, Franz 1963, Wenk i in. 1982, Bruchwald 1986). Jako wysokość górną przyjęto średnią wysokość 100 najgrubszych drzew drzewostanu przypadających na 1 ha (Assmann 1961).

Celem scharakteryzowania przebiegu z wiekiem wysokości górnej drzewostanu opracowano funkcję o ogólnej postaci

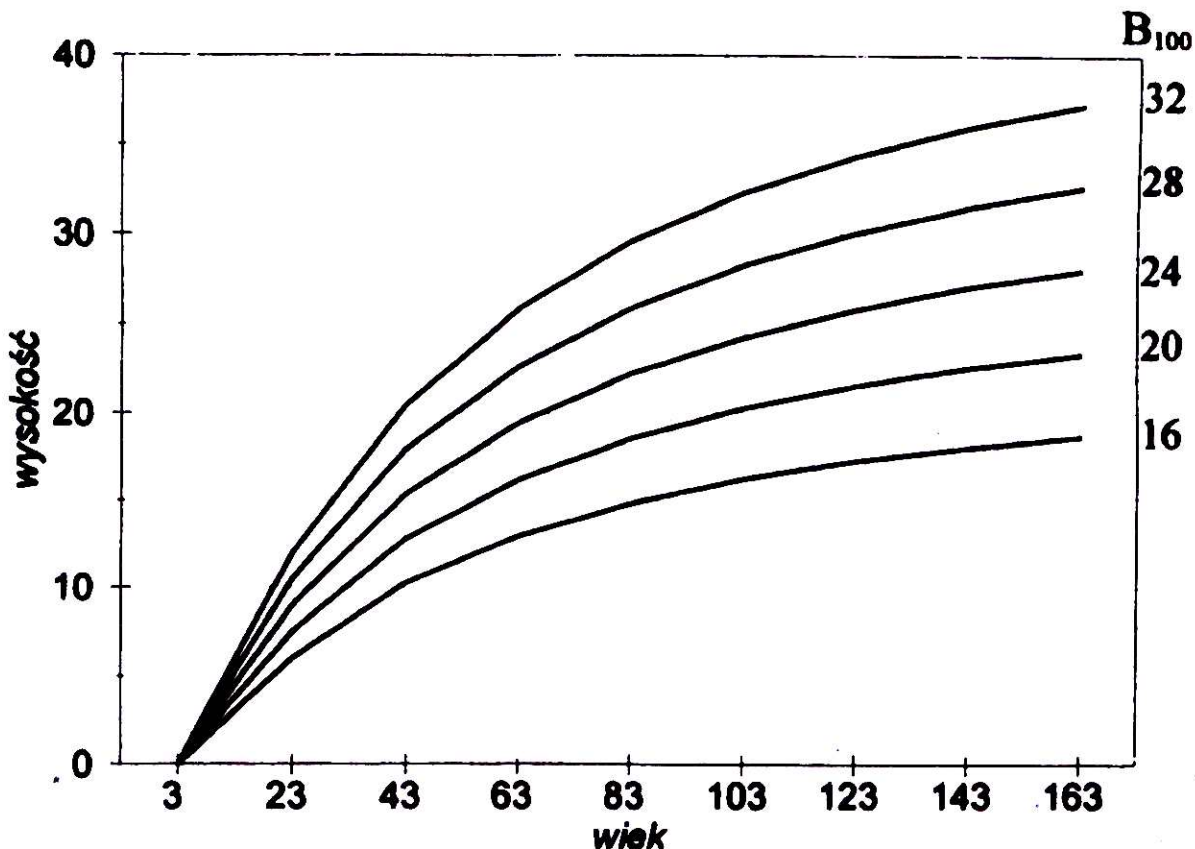
$$H_{100} = A \cdot B_{100} \quad (1)$$

gdzie:

- H_{100} — wysokość górna,
- A — standaryzowana funkcja wzrostu wysokości,
- B_{100} — prognozowana do wieku 100 lat wysokość górna drzewostanu.

Standaryzowana funkcja wzrostu wysokości przedstawia przebieg z wiekiem współczynnika A . Dla drzewostanów o wieku 100 lat wartość współczynnika A wynosi 1, dla drzewostanów młodszych przyjmuje wartości z zakresu 0–1, a dla drzewostanów starszych wartości większe od 1. Mnożąc wartości współczynnika A przez stałą wartość B_{100} , uzyskuje się dla poszczególnych bonitacji krzywą wzrostu wysokości górnej (ryc. 1). Bonitację drzewostanu można więc określić z przedstawionego wykresu, lub znając funkcję współczynnika A ze wzoru (1) przekształconego do postaci

$$B_{100} = \frac{H_{100}}{A} \quad (2)$$



RYC. 1. Krzywa wzrostu wysokości górnej

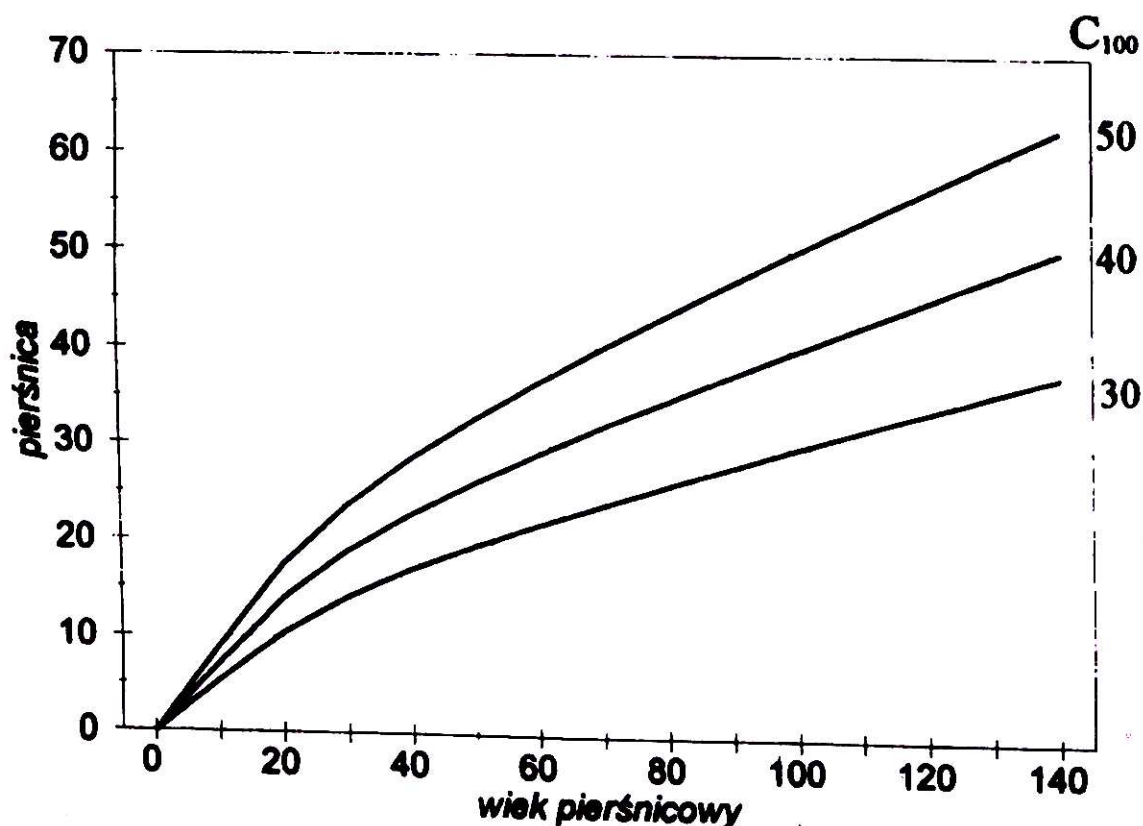
Ustalenie bonitacji wymaga więc określenia wieku drzewostanu i wysokości górnej.

W zbudowanym modelu opracowano również opcję określania bonitacji na podstawie wieku i wysokości średniej. Odpowiedni algorytm przelicza wówczas wysokość średnią na górną.

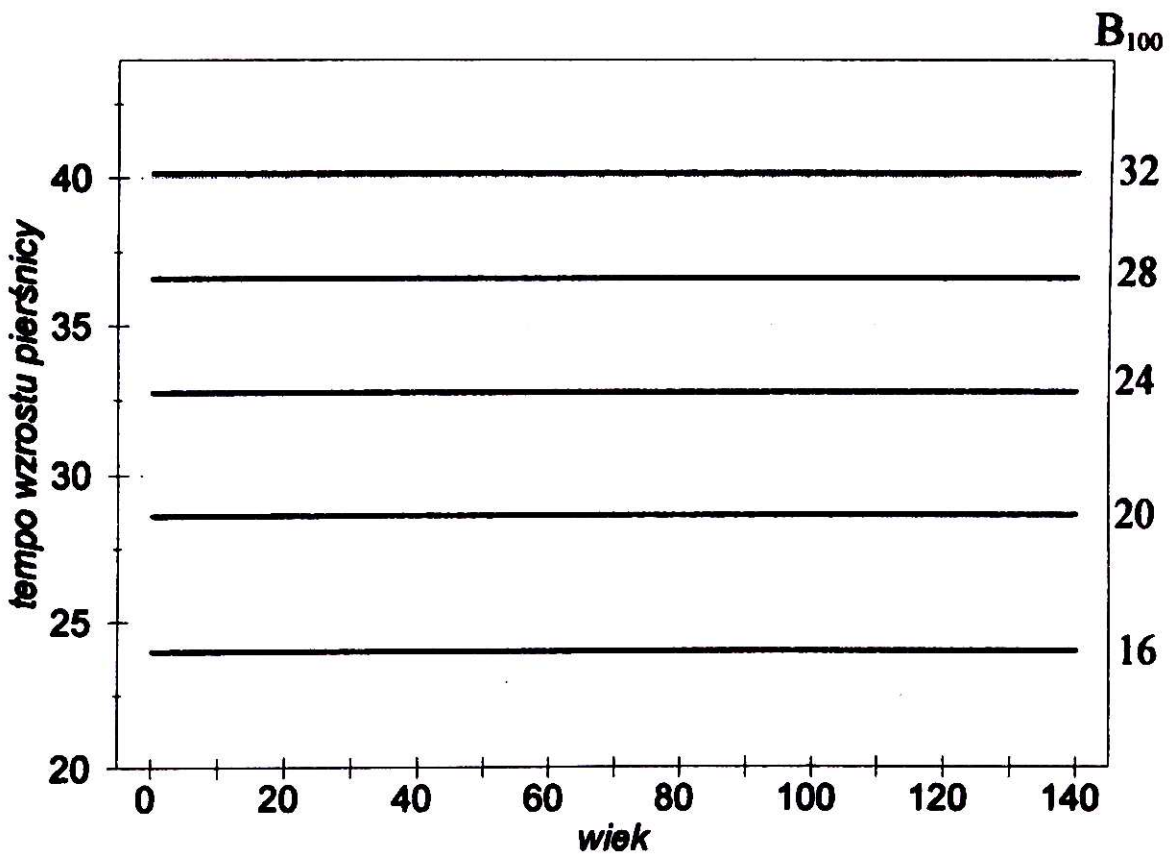
Opracowanie dalszych funkcji i algorytmów modelu wzrostu przeprowadza się dla drzewostanów zaliczonych do tej samej klasy bonitacji. Wartości współczynników funkcji wyrównuje się następnie w zależności od wartości miernika bonitacji.

Bardzo ważną w modelu jest funkcja określająca dla poszczególnych bonitacji "maksymalną" liczbę drzew drzewostanu. Wprowadzono ją po przeprowadzeniu analizy związku średniego odstepu między drzewami i wieku drzewostanu. Wykresem tej funkcji jest linia krzywa przebiegająca po dolnym zakresie rozrzutu punktów średniego odstepu drzew drzewostanu. Dysponując funkcją odstepu, dochodzi się do funkcji "maksymalnej" liczby drzew. Na jej podstawie ustala się dla drzewostanu stopień zagęszczenia drzew, będący ilorazem liczby drzew tego drzewostanu i "maksymalnej" liczby drzew określonej i z opracowanej funkcji.

Budowa modelu wzrostu wymaga opracowania wielu innych funkcji. Na przykład wymienić tu można: funkcję wzrostu piersznicy (ryc. 2), funkcję minimalnego tempa wzrostu piersznicy (ryc. 3), funkcję piersznicy modalnej, funkcję lewego i prawego rozkładu uciętego liczonego od piersznicy modalnej, funkcję stałej krzywej wysokości, funkcje liczb kształtu i inne. Na bazie opracowanych funkcji buduje się algorytmy modelu wzrostu. Generalizując można przyjąć, że model wzrostu składa się z trzech lub czterech algorytmów.



RYC. 2. Funkcja wzrostu piersznicy

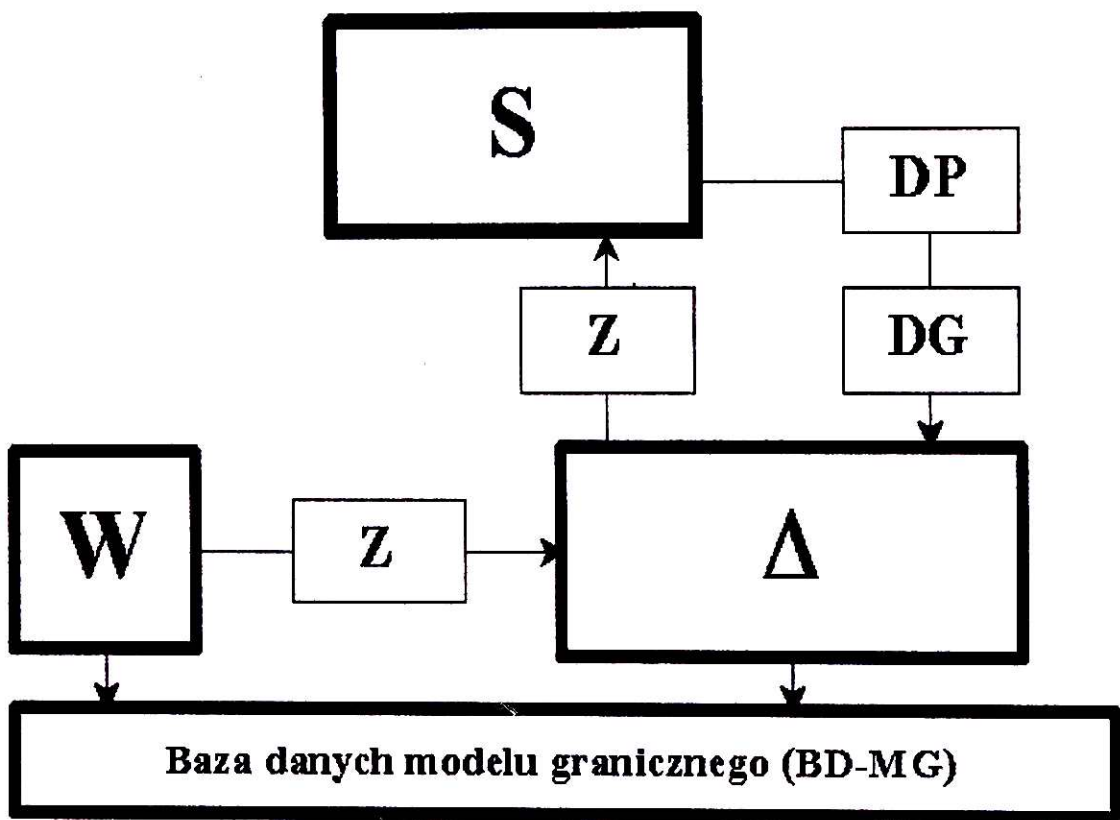


RYC. 3. Funkcja minimalnego tempa wzrostu piersznicy

Funkcjonowanie modeli wzrostu

W pierwszej kolejności opracowano dla drzewostanów dębowych graniczny model wzrostu (Bruchwald 1991). Przedstawia on procesy zachodzące w drzewostanach prowadzonych przy "maksymalnej" liczbie drzew drzewostanu, a więc przy stopniu zagęszczenia pełnym, równym 1.

Graniczny model wzrostu składa się z 3 algorytmów: wstępnego (W), śmiertelności drzew (S) i przyrostowego (Δ) (ryc. 4). Pracę modelu rozpoczyna algorytm wstępny wygenerowaniem rozkładu piersznicy i wysokości drzew (zbiory Z). Obliczane są następnie różne cechy wygenerowanego drzewostanu, które zostają wprowadzone do bazy danych modelu granicznego (BD-MG). Jedną z tych cech jest miąższość grubizny, wykorzystywana w innych modelach do określenia czynnika zadrzewienia drzewostanu. Po zakończeniu przetwarzania danych algorytmem wstępnym, zbiór Z podlega dalszej obróbce algorytmem przyrostowym i śmiertelności drzew. Przeprowadza się prognozę rozwoju drzewostanu dla ustalonego okresu, np. od 20 do 220 lat, a prognoza dokonywana jest rok po roku. Dla rocznego okresu ustala się liczbę drzew, które wypadną z drzewostanu. W programie śmiertelności drzew następuje podział drzew drzewostanu na żywe (DG) i martwe (DP). Podstawą podziału jest cecha zwana prawdopodobieństwem śmierci drzewa, przyjmująca wartości z zakresu 0–1. Określa się ją na podstawie iloczynu kwadratu piersznicy i wysokości drzewa. Drzewa o większej wartości prawdopodobieństwa śmierci mają większą szansę wejścia do grupy drzew martwych. Zbiór drzew żywych podlega dalszemu przetwarzaniu



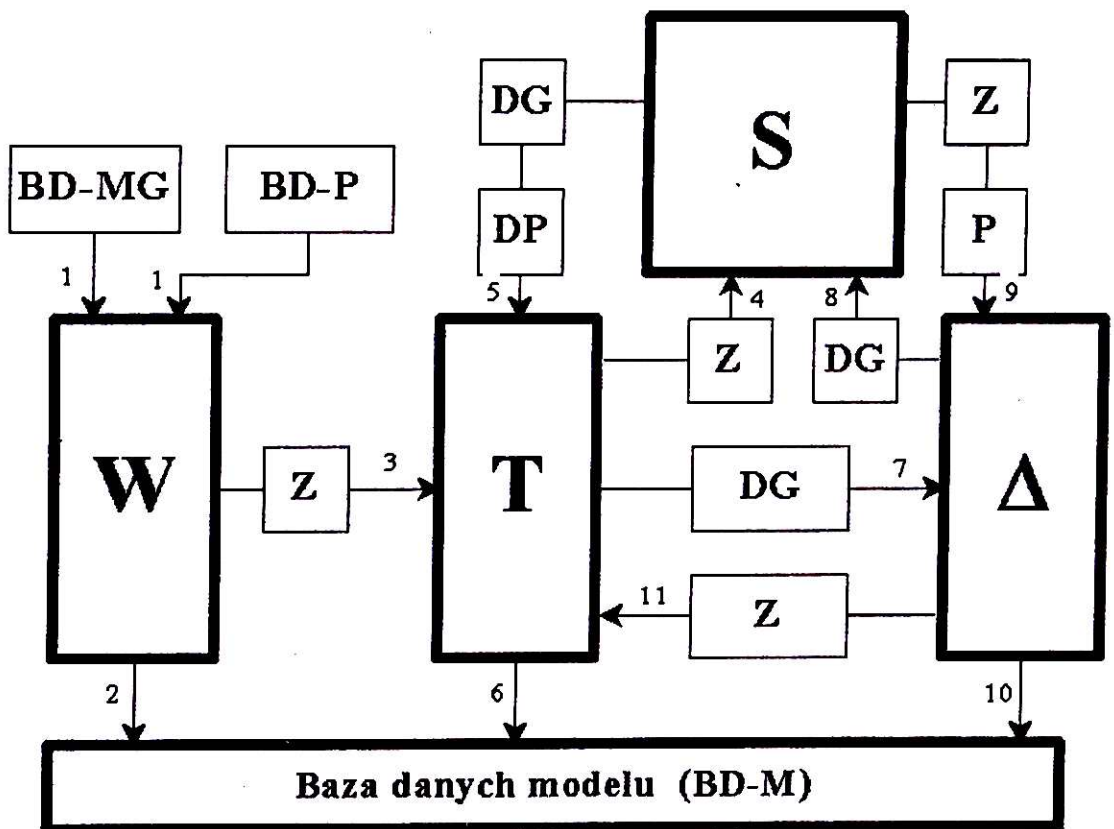
RYC. 4. Schemat działania modelu granicznego

algorytmem przyrostowym. Pierśnica i wysokość każdego drzewa zwiększona zostaje o roczną wartość przyrostu tych cech. Określone zostają następnie cechy służące do wygenerowania rozkładu pierśnic i wysokości drzew oraz obliczona miąższość grubizny dla drzewostanu o wieku zwiększonym o 1 rok. Informacje te zostają wprowadzone do bazy danych modelu granicznego. Według identycznych zasad przeprowadza się prognozę rozwoju drzewostanu dla kolejnych lat okresu.

Baza danych modelu granicznego została opracowana dla drzewostanów o bonitacji od 16 do 37 m, w odstopniowaniu co 1 m i wieku od 20 do 220 lat w odstopniowaniu co 1 rok. Baza ta wykorzystywana jest w innych modelach wzrostu.

Pełny model wzrostu, oprócz algorytmu wstępnego, śmiertelności drzew i przyrostowego, zawiera również algorytm trzebieżowy (T) (ryc. 5). Dla drzewostanów dębowych algorytm ten symuluje przeprowadzenie trzebieży górnej. Najpierw więc dokonywany jest podział drzewostanu na dwie grupy: drzewostan panujący i drzewostan podrzędny. Odpowiednia funkcja określa liczbę drzew do wycięcia z grupy drzew drzewostanu panującego. Algorytm śmiertelności drzew wskazuje na drzewa które należy wyciąć z tej grupy w ramach trzebieży. Po wykonanym zabiegu następną trzebież przeprowadza się po upływie okresu zwanym nawrotem trzebieży. Długość tego okresu wynosi 5 lat w drzewostanach II klasy wieku i zwiększa się do 10 lat w drzewostanach IV i wyższych klas wieku.

Przeprowadzenie prognozy rozwoju drzewostanu modelem wzrostu (pełnym), wymaga wprowadzenia pewnych informacji dotyczących tego drzewostanu. Liczba tych informacji



RYC. 5. Schemat działania modelu wzrostu

może być dla niektórych drzewostanów ograniczona, opracowano zatem dwa warianty modelu wzrostu.

W wariantcie I do pomiarowej bazy danych (BD-P) wprowadza się wyniki pomiaru pierśnicy i wysokości drzew uzyskane np. z pomiaru na powierzchniach próbnych. W bazie tej zapisuje się również wiek drzewostanu, wielkość powierzchni próbnej, powierzchnię drzewostanu, gatunek drzewa i ewentualnie inne cechy. Niektóre z tych cech nie będą wykorzystywane przez model wzrostu, natomiast mogą być przydatne do tworzenia zbiorczych zestawień w przypadku przeprowadzania prognozy rozwoju drzewostanów należących do określonego obiektu leśnego, np. gospodarstwa.

Wariant II modelu wymaga wprowadzenia do programu wieku drzewostanu, jego bonitacji i wartości stopnia zagęszczenia drzew. Pozostałe informacje niezbędne do funkcjonowania modelu czerpane są wówczas z bazy danych utworzonej przez model graniczny (BD MG). Wariant II modelu opracowano z myślą o jego wykorzystaniu w drzewostanach, w których pomiar pierśnic drzew byłby czynnością bardzo żmudną (młodniki, drzewostany trudno dostępne).

Początek przetwarzania danych modelem wzrostu następuje w algorytmie wstępnym (ryc. 5). Wynikiem jego działania są informacje dotyczące najważniejszych cech taksacyjnych drzewostanu dla początkowego roku prognozy. Tymi informacjami są m.in.: bonitacja, wiek, wysokość górna (H_{100}), wysokość średnia (HI), przeciętna pierśnica (Dg), przeliczona na 1 ha liczba drzew (N), pierśnicowe pole przekroju (G), miąższość grubizny drzewa

TABELA
Przykład prognozy rozwoju drzewostanu o bonitacji 28

	Wiek	H ₁₀₀	HI	Dg	N	G	V	Zag	Zad
Drzewostan przed trzebieżą	40	16,1	15,1	11,8	2578	28,3	172	0,80	0,82
Drzewostan podrzędny	40	16,1	14,3	10,3	412	3,5	18		
Drzewostan główny	40	16,1	15,2	12,1	2166	24,8	154	0,67	0,73
Posusz w okresie 40–46			14,9	10,6	82	0,7	4		
Drzewostan przed trzebieżą	46	18,1	17,1	13,5	2084	30,0	219	0,81	0,83
Drzewostan podrzędny	46	18,1	16,4	11,9	348	3,9	25		
Drzewostan główny	46	18,1	17,2	13,8	1736	26,1	194	0,68	0,73
Posusz w okresie 46–50			16,2	11,2	34	0,3	2		
Drzewostan w końcu prognozy	50	19,2	18,0	14,8	1702	29,3	235	0,77	0,79

Użytki przedrębne — 50,1 m³, w tym posusz — 6,2 m³,
Przyrost miąższości — 11,2 m³

drzewostanu (*V*), stopień zagęszczenia (*Zag*) i czynnik zadrzewienia (*Zad*) (tabela). Informacje te wprowadzane są do wynikowej bazy danych modelu wzrostu (*BD-M*). Dalsze przetwarzanie danych przeprowadzane jest algorytmem trzebieżowym. Bada się stopień zagęszczenia drzew i gdy jest on odpowiednio wysoki, wówczas w algorytmie śmiertelności drzew wykonywana jest trzebież. Następuje podział drzew drzewostanu na drzewostan główny (*DG*) i drzewostan podrzędny (*DP*), a informacje o cechach tych grup drzew wprowadzane są do bazy danych *BD-M* oraz wyświetlone na monitorze komputera (tabela). Zbiór *DG* podlega dalej przetwarzaniu algorytmem przyrostowym i śmiertelności drzew. Ustalona zostaje liczba drzew, które wypadną z drzewostanu w ciągu pierwszego roku okresu prognozy i utworzony zbiór drzew żywych (*Z*) i martwych (*P*). Pierśnice i wysokości drzew żywych powiększone zostają o roczny przyrost, po czym algorytm przyrostowy określa cechy obu grup drzew zapisując je w bazie danych *BD-M*. Przetwarzanie danych algorytmem przyrostowym i śmiertelności drzew trwa tyle lat, ile wynosi długość nawrotu cięć. Po upływie tego okresu zbiór drzew żywych przetwarzany jest algorytmem trzebieżowym. Zamyka się tym samym pętlę, w której przetwarza się dane aż do ostatniego roku okresu prognozy. Uzyskuje się jeszcze informacje dotyczące sumy użytków przedrębnych z okresu prognozy oraz przeciętny roczny z okresu przyrost miąższości (tabela).

Wnioski

- Model wzrostu jest w Polsce pierwszym tego typu opracowaniem dla drzewostanów dębu szypułkowego. Stwarza on możliwości dalszych dociekań naukowych dotyczących wzrostu i rozwoju drzewostanów tego gatunku drzewa. Szerokie mogą być również jego zastosowania praktyczne.
- Model wzrostu umożliwia opracowanie nowych tablic zasobności dla drzewostanów dębowych. Zastąpić one mogą niedostosowane do naszych warunków, jednak w praktyce stosowane obecnie tablice opracowane na początku XX wieku przez Wimmenauera (1913).

- Model wzrostu jest narzędziem pozwalającym na poszukiwanie wzorca, do którego należy dążyć prowadząc hodowlę drzewostanów dębowych. Jeżeli wzorzec taki zostanie sformułowany, wówczas mógłby on stanowić podstawę oceny wartości hodowlanej drzewostanów dębowych, co jest ważnym elementem planowania hodowlanego.
- Model wzrostu może być zastosowany w metodach regulacji użytkowania rębnego (Siekierski 1995). Dotyczy to zwłaszcza problemu takiego naboru drzewostanów do planu cięć, w którym kryterium stanowi spodziewany przyrost miąższości.
- Istnieje możliwość wykorzystania modelu wzrostu do opracowania metody określania powierzchniowego i miąższościowego rozmiaru cięć przedrębnych, co wynika z doświadczeń przeprowadzonych w drzewostanach sosnowych (Bruchwald 1995). Elementem metody byłby sposób tworzenia optymalnego planu cięć użytkowania przedrębnych.

Literatura

1. **Assmann E.**, 1961, *Waldertragskunde*. München, Bonn, Wien. BLV Verlagsges.
2. **Assmann E., Franz F.**, 1963, *Vorläufige Fichten-Ertragstafel für Bayern*. München, Forstl. Forsch. Anst.
3. **Bruchwald A.**, 1986, Simulation growth model MDI-1 for Scots pine. *Ann. Warsaw Agricult. Univ. SGGW-AR, For. and Wood Technol.*, 34: 47-52.
4. **Bruchwald A.**, 1988, Przyrodnicze podstawy budowy modeli wzrostu. *Sylwan*, 11-12: 1-10.
5. **Bruchwald A.**, 1991, Limiting Growth Model for Pine. *Bull. Acad. Pol. Sc., Ser. Biol.*, vol. 39, No 2: 213-220.
6. **Bruchwald A.**, 1995, Metoda regulacji użytkowania przedrębnych. *Sylwan*, 6: 5-13.
7. **Bruchwald A., Dudzińska M., Wirowski M., Zacharski R.**, 1995, Model wzrostu dębu. Dokumentacja naukowa IBL.
8. **Schwappach A.**, 1905, *Untersuchungen über die Zuwachsleistungen von Eichen-Hochwaldbeständen in Preussen*. Neudamm.
9. **Siekierski K.**, 1995, Zastosowanie modeli wzrostu w regulacji użytkowania rębnych drzewostanów, Fundacja Rozwój SGGW, Warszawa.
10. **Wenk G., Römisch K., Do. Gerold**, 1982, Die Grundbeziehungen der neuen Fichtenertragstafel für des Mittelgebirge der DDR. *Wiss. Z. Techn. Univ. Dresden*, 31: 267-271.
11. **Wiedemann E.**, 1955, *Ertragskundliche und waldbauliche Grundlagen der Forstwirtschaft*. Z. Aufl. Frankf. a. M. Sauerländer.
12. **Wimmenauer K.**, 1913, *Ertragstafeln für Eichenlichtungsbetrieb*. *Allg. Forst.-u Jagd. Zeit.* s: 261.

Summary

A growth model for pedunculate oak stands

A growth model, the first one in Poland, has been worked out for stands of pedunculate oak (*Quercus robur* L., *Quercus pedunculata* Ehrh.). It belongs to a group of stochastic models of individual tree. It encompasses in a mathematical formula processes going on within oak stands: growth, competition, and stand structure formation.

The model was elaborated on the basis of empirical material collected from the area of entire Poland. There were both permanent and temporary study plots. The oldest permanent plots were established at the end of the past century to the initiative by Schwappach. The age of the oldest oak stand taken into the study was 420 years. The total number of data sets including dbh and tree height measurements was 339.

The basic function of the model presents the change, along the age, of the top height of stand. It was assumed that the top height is equal to mean height of 100 thickest trees in the stand per 1 ha. This function serves to defining stand quality.

The second important function describes the course, along the age, of "maximum" number of trees in the stand by stand quality classes. It serves, among others, to defining the tree stand density level, this feature being a proportion of tree numbers in the stand to the "maximum" number of trees identified according to the elaborated function.

The model contains still many other functions. For instance, the function of dbh growth, functions serving to generating distributions of dbh, constant height curve functions, and stem shape indice functions can be mentioned here.

A limit model of growth was worked out in the first stage of the studies. It predicts the stand growth at the assumption that tree density level is 1. It sets also a database used in other growth models.

The complete growth model is composed of four algorithms: introductory (W), thinning (T), tree mortality (S), and incremental one (Z). Two variants of that model were worked out. The variant I requires introducing of the following data: stand age, dbh and height measurement results, and the size of the area on which measurements of tree dbh were carried out.

The variant II requires introducing stand age, quality class and tree density level only. It may be applied for stands where the dbh is not measured, e.g. in young and hardly accessible stands. For such stands the quality class and the density level should be properly estimated.

The growth model may have broad applications. It will be used as a tool in studies on developmental processes in oak stands. The most important practical implementation of the model pertains the methods of final cutting regulation and the methods of determining the size and the plan of intermediary use cuttings.