

MICHAŁ ZASADA

Model wzrostu drzewostanu jako matematyczny model systemu

A model of tree stand growth as a mathematical system model

Abstract. The report presents grounds for building up a stand growth model resulting from the system theory. A review of the Polish forestry literature was done from the system theory implementation view. Various definitions of both system and model as well as their classifications existing in the literature were collected. The Polish models of stand growth have been presented against this background.

Keywords: growth model, system theory, modelling, classification of models

W polskiej literaturze naukowej i leśnej w ostatnich latach pojawiło się wiele artykułów poświęconych modelom wzrostu drzewostanów, ich poszczególnym elementom składowym oraz możliwym zastosowaniom. Brak jest jednak prac, które przedstawiłyby modele i modelowanie wzrostu od strony teoretycznej, to znaczy jako matematyczne modele systemów. Problem ten jest niezmiernie złożony i może być przedmiotem oddzielnej obszernej pracy, stąd też ograniczono się tu tylko do przedstawienia najważniejszych zagadnień.

Przedmiot modelowania

Aby uniknąć nieporozumień związanych z modelowaniem należy najpierw określić przedmiot modelowania. Przedmiotem tym jest system – pojęcie różnie interpretowane w zależności od punktu widzenia twórcy modelu czy teorii. Przegląd literatury na temat modelowania systemowego nie ułatwia zrozumienie pojęcia systemu. Sadowski [25] na przykład podaje 34 definicje tego pojęcia, a może ich być dużo więcej. Wieloznaczność pojęcia wynika również z tego, że dla różnych autorów pojęcie systemu oznacza coś zupełnie innego, np. systemy empiryczne wprowadzone przez Pabisa [25] odpowiadają przyrodniczemu według Gutenbauma [17], zaś wielu autorów w ogóle nie uważa ich za systemy, nazywając je układami [28] czy obiektami [21].

Najbardziej sformalizowana teoria wiąże się z systemami abstrakcyjnymi. Najczęściej cytowaną jest ogólna teoria systemowa Mesarovica [21], zgodnie z którą system jest relacją określoną na zbiorach abstrakcyjnych. System można zdefiniować również jako zbiór powiązanych ze sobą obiektów scharakteryzowanych za pomocą cech (atrybutów) [16], które pozostają we wzajemnych relacjach (oddziaływaniach) i tworzą pewną wyodrębnioną w czasie i przestrzeni całość. Całość ta charakteryzuje się zmiennymi stanami dynamicznymi [32]. Stan systemu jest zdefiniowany przez krytyczne stany obiektów, które z kolei określone są przez wartości cech [16].

Metody oparte o ogólną teorię systemów (metody systemowe) znajdują coraz szersze zastosowanie w naukach szczegółowych, również w naukach leśnych. Poznański [27] na przykład uważa, że las może być traktowany jako system otwarty, tzn. taki, który "podlega oddziaływaniu człowieka i sam na otoczenie oddziałuje". Żakowski [32] podejmuje próbę przedstawienia gospodarki leśnej jako systemu, Mozgawa [22] traktuje las jako system sterowany, charakteryzujący się zdolnością do utrzymania na stabilnym poziomie swojego wejścia energetycznego, zaś Bruchwald [7] przedstawia procesy zachodzące w drzewostanie rozumianym jako system (choć w pracy tej pojęcie to nie zostaje użyte).

Według ogólnej teorii systemów system nie istnieje obiektywnie. Mozgawa [22] stwierdza, że ten sam obiekt opisać można za pomocą wielu systemów. O zaliczeniu elementu do systemu decyduje przede wszystkim przedmiot badania [28], a zatem tak rozumiane pojęcie systemu staje się bliskie pojęciu modelu. Między pojęciami systemu i modelu bardzo trudno jest czasem przeprowadzić wyraźną granicę.

Systemy empiryczne można poznawać m.in. za pośrednictwem faktów empirycznych – zjawisk i zdarzeń, mających często charakter losowy [25]. Na przykład, zjawisko naturalnego wydzielania się drzew może być spowodowane tak zachodzącymi w drzewostanie procesami (konkurencja), jak czynnikami losowymi (lub takimi, które z braku danych uznać musimy za losowe).

Badanie istniejących systemów odbywać się może albo za pośrednictwem bezpośredniego ich poznawania albo za pomocą ich modeli, a więc za pomocą sztucznych eksperymentów powadzonych na tych modelach, często za pomocą symulacji komputerowej. Bezpośrednie poznawanie systemu, jakim jest drzewostan, odbywa się na drodze pomiaru jego cech, często na stałych powierzchniach doświadczalnych. Pozwalają one na zarejestrowanie przebiegu zmian w czasie zjawisk zachodzących w drzewostanie. Innym sposobem badania zachowania się drzewostanu w różnych warunkach może być wykorzystanie modeli wzrostu.

Model i modelowanie

Badanie zjawisk w ujęciu systemowym polega na poznaniu, czy w stanie systemu zaszła jakaś zmiana, przewidzeniu tej zmiany oraz możliwości jej kontrolowania [16]. Bezpośrednie badanie systemów nie zawsze jest możliwe, szczególnie, jeżeli obiektem jest system abstrakcyjny, teoria lub projekt, stąd też często badania systemowe przeprowadza się za pośrednictwem modeli. Dotyczy to również badań prowadzonych w celu tworzenia optymalnych ze względu na różne kryteria struktur tych systemów [25].

Pojęcie modelu, podobnie jak systemu, jest bardzo szerokie i niejednoznaczne, choć łatwiej tu chyba osiągnąć precyzję określenia. Jedną z definicji mówi, że jest to prezentacja obiektu w postaci innej niż ta, w jakiej występuje on w rzeczywistości [17]. Stanowi on świadome i celowe uproszczenie rzeczywistości. Stopień uproszczenia zależy od celów, jakimi model ma służyć. Ujmuje on tylko część rzeczywistości, pomijając te cechy, szczegóły czy mechanizmy, które są nieistotne z punktu widzenia modelowania. Stopień uproszczenia modelu jest zależny od celu jego budowy albo jest uwarunkowany niedostatecznym stanem wiedzy o modelowanych systemach [25]. Nazywa się to *ceteris paribus*, czyli "wszystko inne jest niezmiennie" [24]. Uproszczenie rzeczywistości z jakim mamy miejsce w modelach jest czymś niezbędnym. Budowanie modelu bez uproszczeń byłoby nierealne i bezsensowne, jak tworzenie mapy w skali 1:1 [24].

Relacja pomiędzy systemem a modelem może być różnorodna. W przypadku systemu empirycznego jego opis matematyczny może być traktowany jako system abstrakcyjny i jako model równocześnie. Pomiedzy modelem a systemem może zachodzić relacja podobieństwa, która oznacza, że odpowiadające sobie obiekty mogą się częściowo zastępować, oczywiście z pewną tolerancją, która wynika z uproszczeń związanych z celem modelowania. W przypadku, gdy struktura systemu empirycznego opisywana jest za pomocą formuł empirycznych i zależności statystycznych, tzn. może dostarczać liczbowych informacji o systemie nie pozostając wobec niego w stosunku podobieństwa, mamy do czynienia z systemem informacyjnym systemu empirycznego [25].

Modele klasyfikować można w różny sposób. Z punktu widzenia modelowania wzrostu drzewostanów istotne jest wyodrębnienie modeli symbolicznych, do których należą modele oparte na zapisie matematycznym. Niektóre modele są statystyczne (pomijają one udział czasu) inne natomiast – dynamiczne (nie tylko uwzględniające czas, ale i dostarczające informacji na temat chwilowych stanów systemu) [16]. Inny sposób klasyfikowania dotyczy rozróżnienia modeli deterministycznych i stochastycznych. W modelu deterministycznym uzyskujemy całkowitą jednoznaczność rozwiązań, gdyż wszelkie obiekty mają jednoznacznie ustalone między sobą powiązania matematyczne lub logiczne. W modelu stochastycznym przynajmniej część zmienności ma charakter losowy, czyli jako rozwiązanie otrzymuje się wyniki uśrednione.

Cel modelowania

Decyzja o budowie jakiegokolwiek modelu jest podejmowana w różnych sytuacjach. Przede wszystkim model:

- umożliwia badaczowi sprawdzenie swoich teoretycznych przekonań o systemie, dokonanie na nim empirycznych obserwacji oraz wyciągnięcie z tego logicznych wniosków,
- ułatwia zrozumienie systemu,
- skłania do prowadzenia w przyszłości badań szczegółowych związanych z systemem,
- przyspiesza wykonanie analizy zjawisk zachodzących w systemie,

- określa metody testowania pożądaných modyfikacji systemu,
- pozwala na łatwiejsze niż system manipulowanie sobą,
- umożliwia prowadzenie kontroli o wiele większej liczby źródeł zmienności niż byłoby to możliwe przy bezpośrednim badaniu systemu,
- prowadzenie na nim badań jest mniej kosztowne niż w przypadku prowadzenia ich na systemie [16].

Cele te można odnieść również do zagadnień związanych z modelami wzrostu drzewostanów. Proces budowy umożliwia dogłębne poznanie systemu oraz pozwala na sprawdzenie poglądów dotyczących na przykład właściwości wzrostowych badanego gatunku. Pozwala zatem na pewną formalizację i uporządkowanie istniejącej wiedzy. Jednocześnie uświadamia on luki w wiedzy o bardzo, jakby się wydawało, znanych gatunkach, przyczyniając się do wykrywania "białych plam". Skłania to do prowadzenia dalszych badań, które nie są dzięki wskazówkom uzyskanym z użytkowania modelu prowadzone "po omacku". Dotyczy to również projektowania nowych metod zbierania danych, które w pełniejszy sposób (przy zbliżonej pracochłonności) służyłyby urządzaniu lasu i praktyce leśnej.

Model wzrostu przyspiesza wykonanie analiz związanych z drzewostanem, pozwala bowiem w ciągu krótkiej chwili uzyskać wyniki, na które przy tradycyjnym badaniu czekać trzeba przez pokolenia lub których ze względu na zakres i pracochłonność uzyskać inaczej nie można (np. prognoza rozwoju drzewostanów dużego obszaru (np. obrębu) na okres kolei rębny czy praktyczne rozwiązywanie problemów optymalizacji użytkowania rębny [30] i przedrębny [12]).

Model wzrostu drzewostanu jako matematyczny model systemu

Matematyczny model wzrostu drzewostanu to system równań i algorytmów przetwarzających dane o początkowym stanie drzewostanu, dzięki którym uzyskać można nowe informacje o stanie początkowym oraz przeprowadzić prognozę stanu drzewostanu po upływie pewnego czasu. Celem tworzenia modeli wzrostu drzewostanu jest zatem uzyskanie narzędzia pozwalającego na prognozowanie cech dowolnego drzewostanu w dowolnie odległym czasie oraz poznanie reakcji drzewostanu na wpływ czynników zewnętrznych, takich jak trzebież czy zmiana szeroko pojętych warunków wzrostu.

Zgodnie z założeniami teorii modele charakteryzują się pewnym uproszczeniem przedstawienia opisu drzew i drzewostanu, ograniczającym się do dendrometrycznego opisu obiektu. W przypadku modeli wzrostu drzewostanów użytkownik modelu nie potrzebuje np. informacji o występujących w drzewostanie roślinach chronionych, natomiast istotna jest dla niego np. bonitacja czy zmiana wartości bieżącego przyrostu niąższości.

Zanim badacz przystąpi do budowy modelu, musi jasno określić, co będzie przedmiotem modelowania. Budowa modelu np. ekosystemu wymagałaby najpierw dokładnego, a przede wszystkim jednoznacznego zdefiniowania tego pojęcia, a następnie określenia pragmatycznych celów modelowania i idących za nimi uproszczeń. Systemem, który opisywany jest przez model wzrostu, jest drzewostan. Koncepcję drzewostanu – systemu przedstawił w jednej ze swych prac Bruchwald [7]. Drzewostan charakteryzowany jest

przez zachodzące w nim procesy wzrostu, konkurencji i kształtowania się struktury, które są ze sobą powiązane sprzężeniami zwrotnymi. Drzewostan tworzy wyodrębnioną w czasie i przestrzeni całość, która funkcjonuje w pewnym otoczeniu zewnętrznym – siedlisku. Dodatkowo na system oddziałują inne czynniki zewnętrzne (biotyczne, abiotyczne i antropogeniczne). Właśnie poznanie wpływu tych czynników na system jest jednym z celów budowy modeli wzrostu drzewostanu.

Obiekt modelowania, którym jest tak rozumiany drzewostan, trudno jest jednoznacznie zakwalifikować do ściśle określonej kategorii systemów teoretycznych, głównie z powodu braku spójności definicji systemu podawanych przez różnych autorów. Sam drzewostan – rozumiany w dużym uproszczeniu jako zbiór drzew – jest niewątpliwie systemem empirycznym, obiektywnie istniejącym, jednak głębsze zajęcie się procesami zachodzącymi w drzewostanie lub ich zapis w postaci algorytmów powoduje, że staje się on systemem abstrakcyjnym.

Modele wzrostu drzewostanów, które powstały w Polsce, zaliczyć można do modeli:

- matematycznych, gdyż oparte są na zapisie matematycznym,
- dynamicznych, gdyż czas jest w nich jedną z najważniejszych zmiennych, a za pomocą modelu uzyskać można obraz systemu w dowolnym momencie,
- stochastycznych, gdyż niektóre z algorytmów modelu (przede wszystkim algorytm śmiertelności [8] czy określania wysokości drzew [6, 9] wykorzystują liczby losowe, zaś stosując model wielokrotnie dla tego samego obiektu za każdym razem spodziewać się można nieco innych wyników. Wyniki te obrazują niejako naturalną zmienność procesów zachodzących w drzewostanie.

Specjalna klasyfikacja modeli stworzona została przez twórców modeli wzrostu drzewostanów. Modele wzrostu można tworzyć wychodząc z założeń ekologicznych i fizjologicznych. Wzrost drzew i drzewostanu jest wówczas związany przede wszystkim z ilością asymilowanego dwutlenku węgla, wielkością korony i przestrzennym rozmieszczeniem osobników względem siebie, a zmiany w strukturze oparte są na ogólnych prawach biologicznych. Modele te służą do badania problemów ekologicznych, np. dynamiki drzewostanów różnych gatunków pod wpływem zmian klimatycznych lub zagadnień związanych z sukcesją. Klasycznym przykładem tego typu może być model JABOWA [3] czy zbudowany na jego bazie PICEAT [26]. Drugą grupą modeli są modele empiryczne, a zatem zbudowane przede wszystkim na podstawie pomiarów dokonywanych w rzeczywistych drzewostanach. Ich tworzenie jest poprzedzone nie tylko teoretyczną analizą procesów zachodzących w drzewostanie [7], ale i analizą obszernych danych pomiarowych zbieranych w rzeczywistych drzewostanach. W procesie tworzenia modeli empirycznych w logiczne i stochastyczne algorytmy oparte na pewnych założeniach teoretycznych wbudowuje się funkcje opisujące różne procesy zachodzące w drzewostanie (np. wzrostu wysokości, grubości, zmiany liczby drzew itp.). Ich poznanie oparte jest na wynikach badań empirycznych.

Inny podział związany jest ze strukturą modelu, a dokładniej – z tym, co jest w nim podstawową jednostką [23]. Z tego punktu widzenia wyróżnia się:

- modele całego drzewostanu,

- modele klas wielkości,
- modele drzewa indywidualnego,
- modele części drzewa.

Modele całego drzewostanu prognozują rozwój drzewostanu jako całości - bez wnikania w jego szczegółową strukturę. Są to najczęściej systemy tabel lub równań empirycznych podających przede wszystkim miąższość drzewostanu w zależności od wieku, bonitacji i nasilenia cięć pielęgnacyjnych. Mają one charakter deterministyczny. Przykładem takiego modelu są tradycyjne tablice zasobności.

Modele klas grubości są podgrupą modeli, w których drzewostan dzieli się na podobne do siebie części. Mogą to być na przykład klasy grubości. Ten rodzaj modeli wymienia Leary [19] jako formę pośrednią między modelami drzewostanu i drzewa indywidualnego. Zaletą modeli klas grubości w stosunku do modelu całego drzewostanu jest zwiększenie ilości informacji dostarczanych przez model oraz większa niż w przypadku modeli drzewa indywidualnego szybkość ich działania oraz związane z tym niższe koszty użytkowania [15]. Jednocześnie przejście do modelu klas grubości pociąga za sobą utratę stochastycznego charakteru modelu [1].

Modele drzewa indywidualnego funkcjonują na poziomie pojedynczego drzewa. Poszczególne funkcje dotyczą zmiany wymiarów poszczególnych osobników. Również często uwzględniane w modelach czynniki losowe są związane z pojedynczymi obiektami. Struktura drzewostanu jest pochodną cech poszczególnych drzew. Według Eka i Monseruda [15], modele drzewa indywidualnego odznaczają się większą czułością na symulowane zabiegi pielęgnacyjne niż modele klas grubości, choć jednocześnie są wolniejsze i bardziej kosztowne w tworzeniu i eksploatacji. Budowane są one najczęściej jako modele stochastyczne.

Modele części drzewa opisują zmiany związane z kształtem strzały, rozwojem gałęzi czy korony, kwitnieniem czy obradzaniem nasion. Ich znaczenie jest raczej czysto teoretyczne.

Z punktu widzenia ujęcia stosunków przestrzennych występujących w drzewostanie wyróżnia się modele:

- przestrzenne (distance dependend),
- nieprzestrzenne (distance independend).

Modele przestrzenne uwzględniają w swoich algorytmach położenie każdego drzewa oraz jego najbliższe otoczenie. Są to więc modele niezwykle skomplikowane, których tworzenie i eksploatacja jest bardzo kosztowna. Z drugiej jednak strony pozwalają one na pełniejsze ujęcie wzajemnego wpływu poszczególnych drzew na siebie oraz poznanie reakcji drzew na zmiany warunków (zachodzące np. podczas trzebieży czy na skutek procesów konkurencji) w bezpośrednim sąsiedztwie. Modele tego typu umożliwiają ponadto dużo łatwiejszą graficzną prezentację zmian w strukturze drzewostanu [20].

Modele nieprzestrzenne nie uwzględniają w sposób bezpośredni (zależny od wzajemnego położenia) wpływu drzew na siebie. Nie oznacza to jednak, że stosunki przestrzenne nie odgrywają w nich żadnej roli. Są one ujmowane w sposób pośredni, np. za pomocą stopnia zagęszczenia i udziału luk [4, 5].

W Polsce opracowano dotychczas model wzrostu dla sosny pospolitej [4, 5], w tym dla drzewostanów wzrastających pod wpływem emisji przemysłowych [10], świerka pospolitego [11], dębu [14] i jodły [31] oraz drzewostanów mieszanych sosnowo-świerkowych i świerkowo-sosnowych północno-wschodniej Polski [28,29]. Modele te zaliczyć można do modeli matematycznych, dynamicznych i stochastycznych, zaś zgodnie ze specjalną klasyfikacją dotyczącą modeli wzrostu są one nieprzestrzennymi, stochastycznymi modelami drzewa indywidualnego. Ponadto opracowano deterministyczną wersję modelu wzrostu sosny [1] zaś dla celów praktycznych zbudowane zostały tymczasowe modele wzrostu dla brzozy, olszy, osiki i modrzewia [2], które wykorzystano przy sporządzaniu doświadczalnych planów urządzania lasu oraz prognozy wzrostu drzewostanów w zależności od zastosowanej metody regulacji użytkowania rębego w Nadleśnictwie Brzeziny [13]. Trwają również prace badawcze nad modelami dla buka karpackiego i pomorskiego, brzozy i olszy oraz adaptacją niemieckiego modelu wzrostu dla daglezi [18].

Literatura

1. **Bosiak P., Siekierski K.**, 1993: Deterministic growth model for the pine stands - MKG. Ann. Warsaw Agric. Univ. - SGGW, For. and Wood Technol. 44: 13-18.
2. **Bosiak P., Siekierski K., Zasada M.**, 1996: Provisional growth models for alder, birch, aspen and larch stands. Ann. Warsaw Agric. Univ. – SGGW, For. and Wood Technol. 47: 13-20.
3. **Botkin D.B., Janak F.J., Wallis J.R.**, 1972: Some ecological consequences of computer model of forest growth. J. Ecol. 60: 849-873.
4. **Bruchwald A.**, 1985: Model wzrostowy MDI-1 dla sosny. Las Pol. 9: 10-15
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., Rymer-Dudzińska T.**, 1986: Probability method of determining of the height of trees. Ann. Warsaw Agric. Univ. – SGGW, For. and Wood Technol. 34: 56-60.
7. **Bruchwald A.**, 1988: Przyrodnicze podstawy budowy modeli wzrostu. Sylwan, 11-12: 1-10.
8. **Bruchwald A., Dudek A.**, 1988: Mortality program of trees in the MDI-1 growth model. Ann. Warsaw Agric. Univ. – SGGW, For. and Wood Technol. 36:17-20.
9. **Bruchwald A., Rymer-Dudzińska T.**, 1988: Simulation of tree height in pine stands. Ann. Warsaw Agric. Univ. – SGGW, For. and Wood Technol. 37: 97-103.
10. **Bruchwald A.**, 1991: Modele wzrostowe dla drzewostanów sosnowych będących pod wpływem emisji przemysłowych. W: Metody oceny stanu i zmian zasobów leśnych. Centralny Program Badań Podstawowych 04.10. Ochrona i Kształtowanie Środowiska Przyrodniczego Wydawnictwo SGGW-AR, Warszawa, Nr 76: 182-192.
11. **Bruchwald A., Rymer-Dudzińska T., Dudek A., Michalak K., Wróblewski L., Siekierski K., Bosiak P., Zasada M., Łukasik J., Matosek U.**, 1994: Model wzrostu dla świerka. Maszynopis w Katedrze Produkcyjności Lasu SGGW.

12. **Bruchwald A.**, 1995: Metoda regulacji użytkowania przedrębego. *Sylvan* 6: 5-14.
13. **Bruchwald A., Rymer-Dudzińska T., Dudek A., Michalak K., Wróblewski L., Siekierski K., Bosiak P., Zasada M.**, 1995: Zastosowanie modelu wzrostu dla sosny w praktyce zarządzania lasu. Maszynopis w Katedrze Produkcji Lasu SGGW.
14. **Bruchwald A., Dudzińska M., Wirowski M.**, 1996: Model wzrostu dla drzewostanów dębu szypułkowego. *Sylvan*, 10: 35-44.
15. **Eka R., Monserud R.A.**, 1979: Performance and comparison of stand growth models based on individual tree and diameter-class growth. *Can. J. For. Res.* 9:231-244.
16. **Fishman G.S.**, 1981: Symulacja komputerowa – pojęcia i metody. PWE Warszawa.
17. **Gutenbaum J.**, 1987: Modelowanie matematyczne systemów. PWN Warszawa - Łódź.
18. **Kenk G., Hradetzky J.**, b.d.: Behandlung und Wachstum der Douglasien in Baden-Württemberg. *Mitt. der Forest. Ver. u. Forsch. Bad- Württ.* h. 113.
19. **Leary R.A.**, 1979: Design. W: A generalized forest growth projection system applied to the Lake States region. USD A Forest Serv., Gen. Tech. Rep. NC-49, N. cent. Forest Exp. Stn., St. Paul, Minnesota.
20. **Mc Carter J.B., Wilson J., Wimberly M., Moffett J., Oliver C.D.**, 1995: A Landscape Management System. W: Mensuration Growth and Yield. The Role of Stand Dynamics Models in Forest Management Decision Support Systems. IUFRO 1995 (b.d.)
21. **Mesarovic M.D.**, 1976: Matematyczna teoria systemów ogólnych. W: Ogólna teoria systemów (red. G.J. Klir). WNT Warszawa.
22. **Mozgawa J.**, 1985: Metodologiczne podstawy wykorzystania fotointerpretacji do modelowania systemowego w drzewostanach. Wydawnictwo SGGW-AR, Warszawa
23. **Munro D.D.**, 1974: Forest growth models – a prognosis. W: Growth models for tree and stand simulation (ed. J. Fries). *Roy. Coll. For., Res. Note* 30: 7-21, Stockholm
24. **Nasiłowski M.**, 1998: System rynkowy. Podstawy mikro i makroekonomii. Wydawnictwo Key Text Warszawa.
25. **Pabis S.**, 1985: Metodologia i metody nauk empirycznych. PWN Warszawa.
26. **Pawłowski W. J.**, 1996: Computer simulation of growth of a spruce stand using the PICEAT model. *Ekol. pol.* 44: 333-349.
27. **Poznański R.**, 1973: Las jako układ i macierz prawdopodobieństwa przejść. *Sylvan* 5: 29-38.
28. **Siekierski K.**, 1989: Stochastyczny model wzrostu drzewostanów świerkowo-sosnowych północno-wschodniej Polski. Praca doktorska. Maszynopis w Katedrze Produkcji Lasu SGGW.
29. **Siekierski K.**, 1991: An individual tree based growth model for mixed Norway Spruce – Scots pine stand in North-eastern Poland. *Ann. Warsaw Agric. Univ. – SGGW, For. and Wood Technol.* 42: 7-11.

30. **Siekierski K.**, 1995: Zastosowanie modeli wzrostu w regulacji użytkowania rębnych drzewostanów. Fundacja "Rozwój SGGW" Warszawa.
31. **Zasada M.**, 1998: Model wzrostu dla jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.). Praca doktorska. Maszynopis w Katedrze Produkcyjności Lasu SGGW.
32. **Żakowski H.**, 1979: Gospodarka leśna jako system. Sylwan 7: 1-14.

*Z Katedry Produkcyjności Lasu
Wydziału Leśnego SGGW*

Summary

A model of tree stand growth as a mathematical system model

In the Polish scientific and forest literature of the recent years there were many articles appearing, devoted to stand growth models, their individual components, and possible implementations. Works however are lacking that would present models and modelling of stand growth from the theoretical point of view, as mathematical system models explicitly.

A system is the object of modelling – this is the concept interpreted on various ways, depending on the standpoints of authors of models or theories. The system modelling literature review does not make easier a rightful settling of the concept of the system. For instance, Sadowski (25) presents 34 definitions of this concept, but they can thrive more. Notwithstanding, methods based on the general system theory (system methods) find their still more broad implementation in specific disciplines, forest sciences including.

Investigation on existing systems can proceed either through their immediate studying or with the use of their models, i.e. with artificial experiments carried out using these models, frequently with computer simulation. The concept of the model, likewise as that of the system, is very broad and ambiguous, though it is perhaps easier here to reach a precision of the definition. One of the definitions says that model is representation of an object in a form other than that occurring in reality (17). It constitutes a conscious and purposeful simplification of the reality, and its level depends on aims to which the model is to serve.

The mathematical model of stand growth is a system of equations and algorithms thanks to which, when processing data on the initial state of stand, one can obtain new information on that initial state, and carry out forecasts on stand condition after some time is run out. Therefore the aim of stand growth model establishing consists in obtaining a tool that allows to forecast stand features in an optionally long time, and researching the response of the stand to the impact of external conditions, such as thinning or changes of growth conditions broadly outlined.

According to the system theory the stand growth models established in Poland can be included to the class of mathematical dynamic and stochastic models, while according to, a special classification concerning growth models these models are non-spatial stochastic models of individual tree.