



Ihor Kozak*, Grzegorz Potaczała**

*Katedra Systemów Krajobrazowych
Katolicki Uniwersytet Lubelski
ul. Konstantynów 1H, 20-708 Lublin
modeliho@kul.lublin.pl

**Arcus Soft

ul. Targowa 5, 37-300 Leżajsk
grzegorz.potaczala@arcussoft.com.pl

Regionalne Studia Ekologiczno-Krajobrazowe
Problemy Ekologii Krajobrazu, tom XVI
Warszawa 2006

FORKOME – model komputerowy i jego zastosowania do prognozowania zmian krajobrazów leśnych

The FORKOME model and its applications in prognosis
of the forest landscape changes

Abstract: We present possible implementation of the FORKOME model (GAP model type) in the field of landscape modelling. The FORKOME model was applied to forecast the dynamics of species composition, tree number and biomass of stand in various types of the forest and in various scenarios of economic changes. With the help of FORKOME model the influence of climatic changes on the succession in forest landscape in Bieszczady Mountains was studied.

Key words: landscape, forest, computer model, prognosis, Bieszczady Mountains

Słowa kluczowe: krajobraz, las, model komputerowy, prognozy, Bieszczady

Wstęp

Modelowanie komputerowe jest procesem przenoszenia istotnych właściwości z oryginalnego obiektu, jakim może być badany krajobraz leśny, do innego, nazywanego modelem komputerowym (Kozak, Menshutkin, Klekowski 2003). Modelowanie komputerowe znajduje szczególne zastosowanie w przypadku badań leśnych, służących celom szacunkowym – zarówno ekologicznym, jak i gospodarczym. Umożliwia ono analizę potencjalnego zachowania się złożonych systemów przyrodniczych, jakimi są krajobrazy leśne.

W drzewostanach Polski zachodzić będą duże zmiany. Z punktu widzenia długookresowego planowania hodowlanego i ustalania dalekosiężnych celów gospodarki leśnej istotne byłoby poznanie wpływu procesów klimatycznych na zmiany zachodzące w lasach naturalnych i zagospodarowanych. Ze względu na specyfikę ekosystemów leśnych badanie tych procesów nie jest prostym zadaniem i wymaga użycia specjalnych narzędzi. Rolę takich narzędzi mogą

pełnić odpowiednio skonstruowane matematyczne modele lasu o charakterze ekologicznym, ujmujące bezpośrednio główne procesy i zjawiska zachodzące w trakcie rozwoju drzewostanów oraz wpływ różnych czynników środowiska (temperatura, opady) na te procesy.

Jednym z takich modeli jest opracowany w ciągu ostatnich 5 lat ekologiczny model komputerowy FORKOME (Kozak i in. 2002, 2003), należący do typu modeli płatowych. Model został zaimplementowany za pomocą języka programowania Delphi.

Cel, zakres i metoda badań

Celem opracowania jest przedstawienie otrzymanych wyników przeprowadzonych badań w krajobrazach leśnych oraz pokazanie możliwości zastosowania modelu FORKOME do prognozowania zmian w drzewostanach krajobrazów leśnych w Bieszczadach Zachodnich.

Dla badanego regionu w Bieszczadach Zachodnich (Kondracki 2002) dokładnie analizowano mapy topograficzne i leśne w skali 1:25 000. Wybrano przykładowy poligon badawczy o rozmiarach 5 na 5 km w Nadleśnictwie Stuposiany. W granicach poligonu analizowano rzeźbę terenu. Uzyskano dane z map leśnych w skali 1:25 000 na temat składu gatunkowego lasów oraz ich wieku. Analizowano także mapy glebowe oraz mapy gospodarcze badanego poligonu. Analiza przestrzenna roślinności, w zależności od rzeźby terenu i innych parametrów ekologicznych, pozwoliła wybrać w granicach poligonu typowe bukowe (dwie powierzchnie), jodłowe (trzy powierzchnie) i świerkowe (dwie powierzchnie) drzewostany.

Na wyznaczonych powierzchniach płatowych zaznaczono każde drzewo o średnicy powyżej 4 cm i wyznaczono jego umiejscowienie w przestrzeni (oś X w kierunku wschód – zachód, oś Y w kierunku północ – południe). Wyznaczono projekcje koron, wiek drzew (za pomocą przyrządu zwanego „Świder Presslera” marki Suunto) oraz ich wysokość (z zastosowaniem wysokościomierza „Metra”). Poza parametrami taksacyjnymi na powierzchniach badawczych mierzono odnowienia drzew oraz wpływ oświetlenia na te odnowienia. Pomiarów tych dokonano za pomocą światłomierza LX-108. Współrzędne powierzchni wyznaczono za pomocą nawigatora GPS „eTrex Summit”. Na powierzchni przeprowadzono korekcję pH gleby i ściółki z danymi pomiarów, znajdujących się w materiałach taksacyjnych. Do pomiarów pH gleby zastosowano pH metr CP-401 wraz z elektrodą „REDOX ERPt-13”. Zaznaczono także różnice pomiędzy płatami w składzie gatunkowym i pokryciu roślin, parametrach ściółki i gleby.

FORKOME należy do rodziny modeli płatowych. Płat drzewostanu stanowi elementarny fragment krajobrazu leśnego, w którym symulowana jest dynamika sukcesji obszarów porośniętych roślinnością drzewiastą. Modele, o których mowa, przez dłuższy czas nazywano w literaturze anglojęzycznej (Shugart

1984) mianem *gap models* (od angielskiego słowa *gap* – luka w drzewostanie). Ostatnio (Shugart i Smith 1996) przeważa tendencja do określania tego rodzaju modeli mianem *patch models* (*patch* – jednorodny płat drzewostanu).

Podstawowe obiekty FORKOME to: Płat – Obszar (Area) – reprezentuje rzeczywisty badany płat oraz Drzewo (Tree) – reprezentuje pojedyncze drzewo. Obiekt Area posiada szereg właściwości, takich, jak: wymiary obszaru, warunki siedliskowe, warunki termiczne, warunki wilgotnościowe itd. Wszystkie cechy obszaru można modyfikować z poziomu interfejsu użytkownika. Podobnie obiekt Tree posiada liczne właściwości (gatunek, DBH, wiek, współrzędne, parametry środowiskowe). Obiekt Area posiada dowolną ilość obiektów typu Tree, reprezentujących poszczególne drzewa na płacie.

W modelu można określić parametry obszaru i przeprowadzić symulację na dowolną ilość lat. W każdym roku symulacji model przeprowadza symulację przyrostu (Growth), śmierci (Death), wycinki (Felling) i pojawiania się nowych drzew (Birth). Stan końcowy symulacji w jednym roku staje się automatycznie stanem wejściowym symulacji w roku następnym.

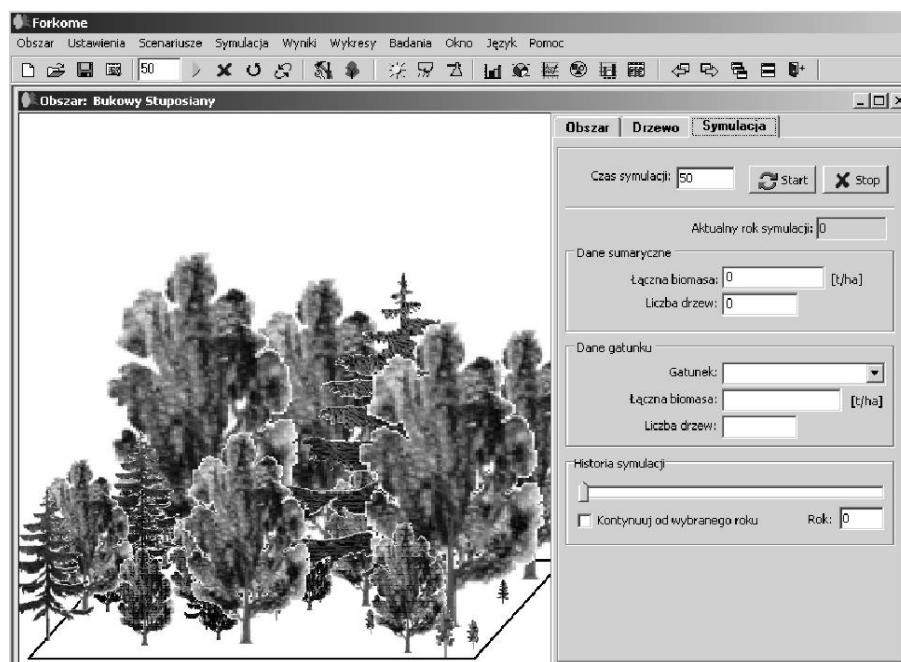
W modelu FORKOME zastosowano oryginalne rozwiązania związane z wycinaniem drzew, ustawieniami parametrów siedliska i parametrów gatunków drzew. W modelu istnieje możliwość prezentacji wykresów w czasie symulacji, przeprowadzenia wyliczeń auto- i kroskorelacyjnych funkcji analizy wrażliwości. Model pozwala na ustalenie dowolnych scenariuszy możliwych zmian klimatycznych, m.in.: wariant kontrolny – w warunkach rzeczywistych; scenariusz 1 – wzrost temperatury i wzrost ilości opadów (ciepło i wilgotno); scenariusz 2 – wzrost temperatury i spadek ilości opadów (ciepło i sucho); scenariusz 3 – spadek temperatury i wzrost opadów (zimno i wilgotno); scenariusz 4 – spadek temperatury i spadek ilości opadów (zimno i sucho); scenariusz 5 – zmiany oscylacyjne temperatury i wilgotności powietrza.

Model został zbudowany tak, że może być wykorzystany w szerokim zakresie warunków drzewostanowo-siedliskowych Polski. Parametry obszaru i gatunków mogą być dowolnie dostosowywane z poziomu interfejsu użytkownika. Dzięki temu w modelu możliwe jest uwzględnienie zarówno gatunków drzew leśnych o dużym znaczeniu lasotwórczym, jak i typowych gatunków domieszkowych (ryc. 1).

Prezentacja wyników badań

Zastosowanie modelu FORKOME w górskich krajobrazach wiejskich pozwoliło na prognozowanie dynamiki składu gatunkowego, ilości drzew oraz biomasy akumulowanej w drzewostanach w różnych typach lasów, w różnych scenariuszach zmian gospodarczych i klimatycznych.

Na przykład w różnowiekowych bukowych lasach w Nadleśnictwie Stuposiany buk ma szansę w ciągu symulacji do 400 lat utrzymywać dominującą pozycję w krajobrazie (ryc. 2).

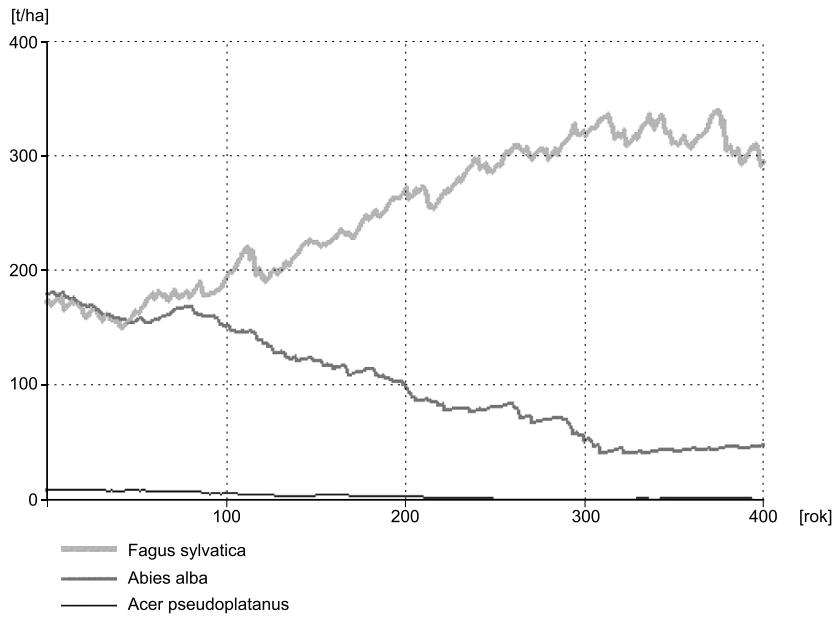


Ryc. 1. Interfejs programu FORKOME z stanem lasu bukowego w 200 roku symulacji
 Fig. 1. FORKOME interface with beech stand after 200 years of simulation time

Nawet różne formy zabiegów gospodarczych nie są w stanie zmienić tej tendencji. Na przykład zabieranie niektórych osłabionych drzew z górnej warstwy powoduje spadek ilości biomasy w roku wycięcia od 180 t/ha dla buka i 180 t/ha dla jodły do 160 t/ha dla buka i do 100 t/ha dla jodły (ryc. 3). Ale jak pokazuje prognoza w wariancie z wycięciem drzew, buk cały czas będzie utrzymywać wzrostową tendencję zmian biomasy. Stabilnie wzrostowa tendencja będzie także charakterystyczna dla jodły w ciągu 150 lat. Czyli drzewostan nie tylko bardzo szybko osiąga poprzedni skład i biomasę, ale nawet przewyższa wartości biomasy w porównaniu do scenariusza bez wycięcia.

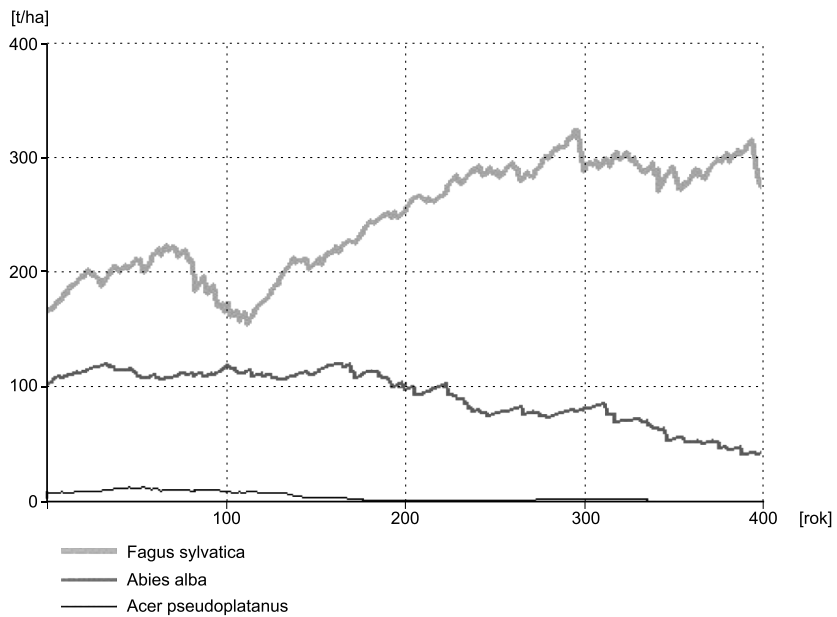
Z pomocą modelu FORKOME potwierdzona także została nietrwałość posadzonych drzewostanów świerkowych na miejscu buka w Nadleśnictwie Stuposiany. Jak pokazują wyniki symulacji, takie drzewostany zanikną. W modelowanym płacie świerkowym już po 100 latach dominacja przejdzie do buka i jodły (ryc. 4).

Model FORKOME prognozuje, że w Bieszczadach drzewostany jodłowe stanowią stadia leśnej sukcesji na drodze do odnowienia lasu bukowego (ryc. 5). Już po 150 latach prognozy dominacja przechodzi z jodły do buka na południowej ekspozycji.



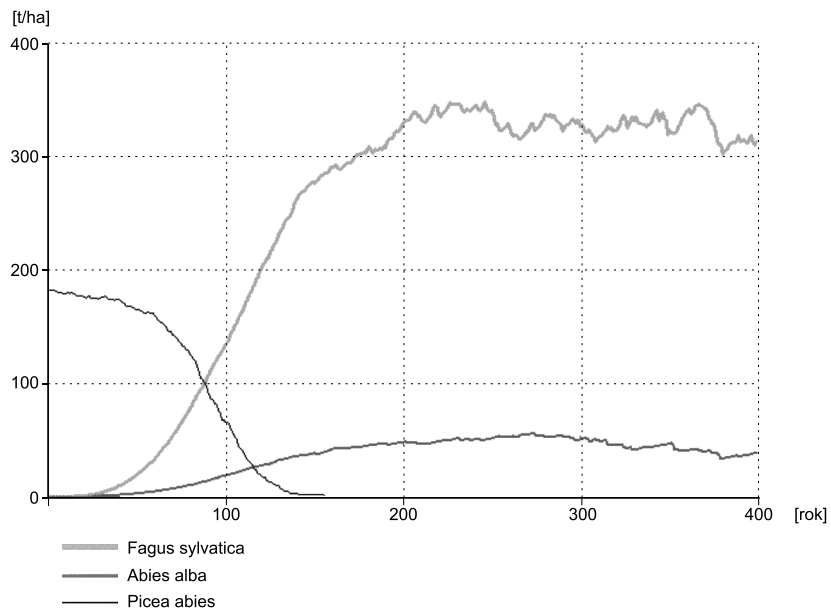
Ryc. 2. Prognozowanie zmian biomasy w drzewostanie bukowym nr 1

Fig. 2. Biomass change prognosis in beech stand No 1



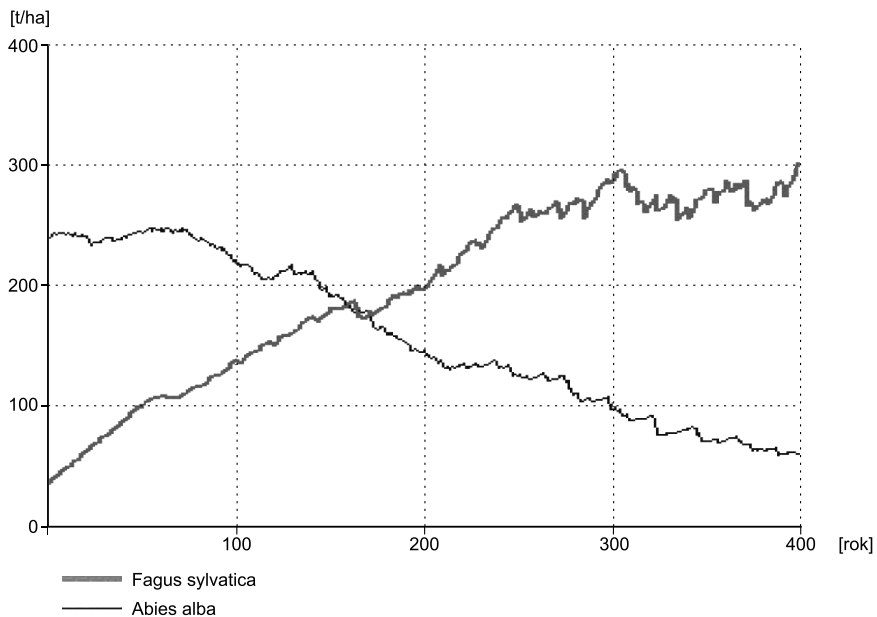
Ryc. 3. Prognozowanie zmian biomasy w drzewostanie bukowym nr 1 po wycięciu osłabionych drzew

Fig. 3. Biomass change prognosis in beech stand No 1 after cutting of weak trees



Ryc. 4. Prognozowanie zmian biomasy w drzewostanie świerkowym nr 1

Fig. 4. Biomass change prognosis in spruce stand No 1



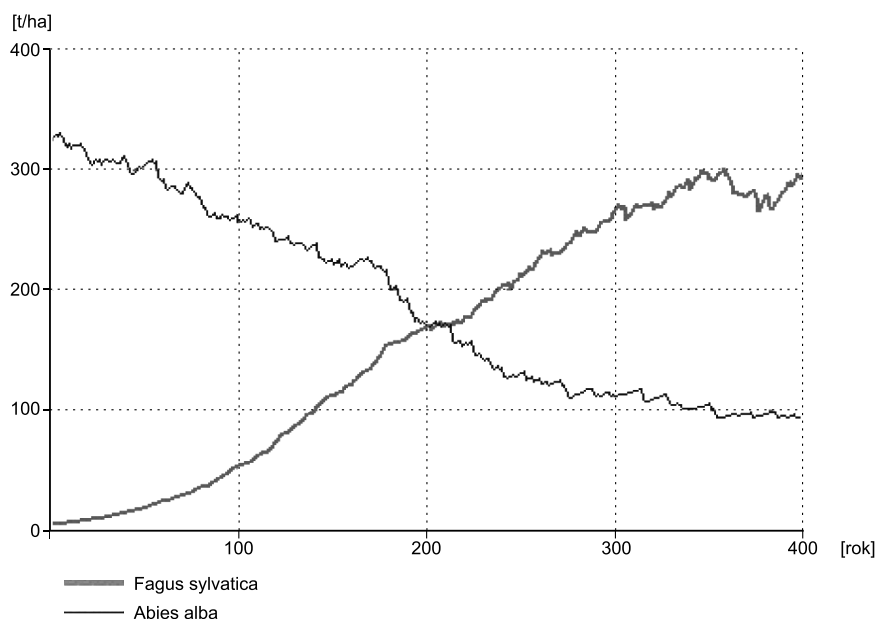
Ryc. 5. Prognozowanie zmian biomasy w drzewostanie jodłowym nr 1 na południowej ekspozycji

Fig. 5. Biomass change prognosis for southern slope fir stand No 1

Na północnej ekspozycji dominacja jodły będzie trwała dłużej, nawet do 200 lat (ryc. 6). Absolutne wartości biomasy jodły będą tu większe (powyżej 300 t/ha w pierwszych 50 latach prognozy), niżeli na południowej ekspozycji (w pierwszych 50 latach prognozy biomasa jodły wynosić będzie około 240 t/ha). Model FORKOME potwierdza hipotezę o większej biomacie jodły na północnych stokach w porównaniu ze stokami południowymi.

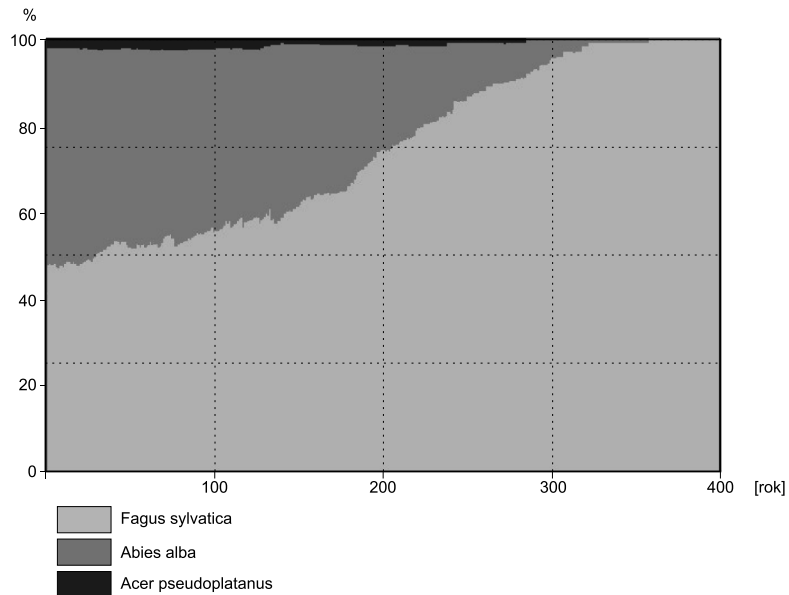
Ze względu na to, że w nadchodzących latach w krajobrazach strefy klimatu umiarkowanego będą zachodzić zmiany struktury zespołów roślin, a głównymi czynnikami decydującymi o kierunkach sukcesji będą globalne zmiany klimatu, z pomocą modelu FORKOME podjęto badania nad wpływem procesów klimatycznych i hydrologicznych na sukcesję w krajobrazach wiejskich.

W przeprowadzonych przy użyciu modelu FORKOME scenariuszach możliwych zmian klimatycznych zauważono, że osuszenie klimatu może powodować zmniejszenie łącznej biomasy drzew. W scenariuszach związanych z ociepleniem klimatu model prognozuje zwiększenie udziału biomasy buka (ryc. 7), a przy ochłodzeniu klimatu zwiększenie udziału biomasy i ilości drzew świerka w porównaniu do scenariusza kontrolnego (ryc. 8). Można to zauważyć dla wszystkich powierzchni, jednak z powodu ograniczeń ramowych niniejszej publikacji przedstawiono to tylko dla powierzchni lasu bukowego.



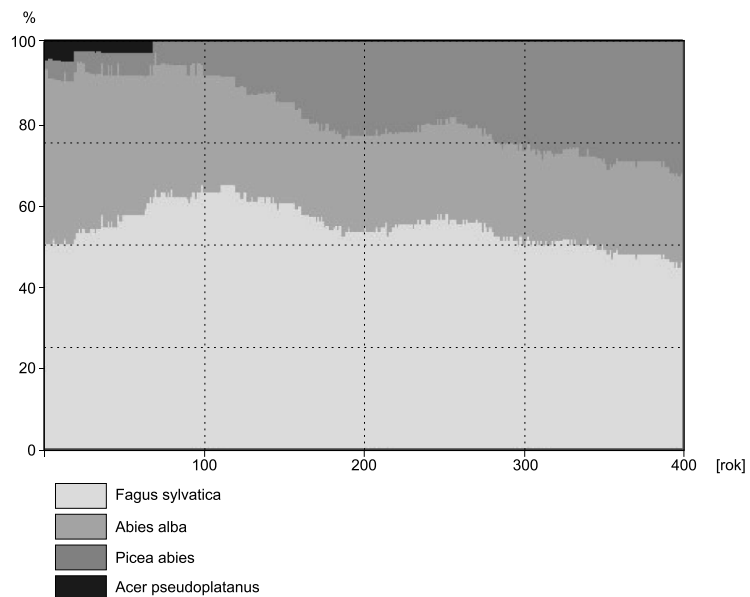
Ryc. 6. Prognozowanie zmian biomasy w drzewostanie jodłowym nr 2 na północnym stoku

Fig. 6. Biomass change prognosis for northern slope fir stand No 2



Ryc. 7. Prognozowanie udziału biomasy drzew drzewostanu bukowego nr 1, scenariusz: ciepło i wilgotno

Fig. 7. Prognosis of trees' biomass percentage share in No 1 beech stand, warm and humid scenario



Ryc. 8. Prognozowanie udziału ilości drzew drzewostanu bukowego nr 1, scenariusz: zimno i sucho

Fig. 8. Prognosis of trees' amount share in No 1 beech stand, cold and dry scenario

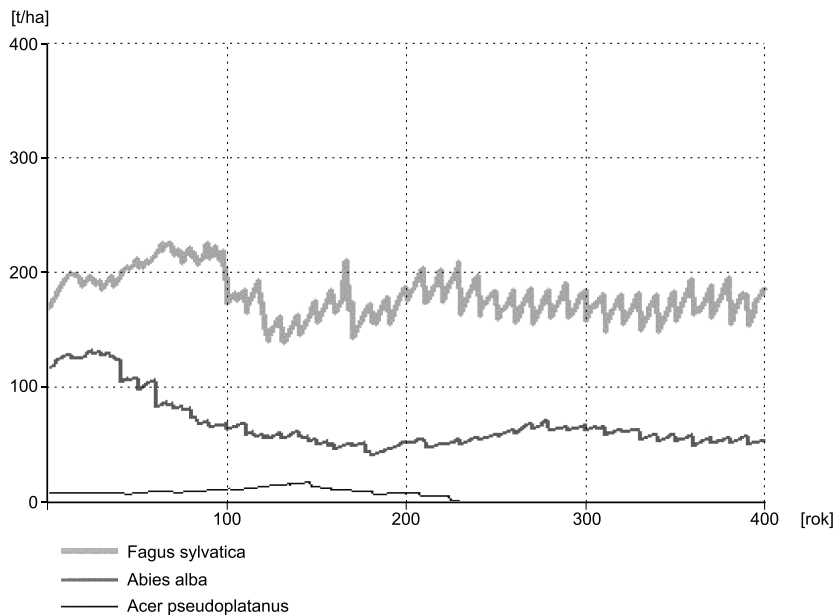
Przykładowym rezultatem badań przeprowadzonych z pomocą modelu FORKOME jest wniosek, że cięcia drzew w granicach rocznego przyrostu pozwolą podtrzymywać proporcje gatunków drzew w drzewostanie oraz stabilizować taksacyjne parametry lasów i charakter ich zagospodarowania, co widać na przykładzie możliwego docelowego wycinania drzew odpowiedniej grubości (ryc. 9).

Wnioski

Przeprowadzone symulacje komputerowe dają podstawę do traktowania modelu FORKOME jako skutecznego narzędzia do prognozowania możliwych zmian składu gatunkowego, liczebności i biomasy drzew w krajobrazach leśnych.

Wyniki badań potwierdziły tezę, że stosunkowo niewielkie zmiany temperatury powietrza i opadów atmosferycznych mogą spowodować znaczne zmiany charakteru roślinności leśnej w krajobrazach Bieszczad.

Model FORKOME może być zastosowany do przeprowadzenia eksperymentów symulacyjnych, dotyczących wpływu różnych czynników działań gospodarczych.



Ryc. 9. Prognozowanie zmian biomasy drzew drzewostanu bukowego nr 1, scenariusz wycinania drzew

Fig. 9. Prognosis of trees' biomass change in No 1 beech stand, tree felling scenario

Literatura

- Kozak I., Menshutkin V.V., Klekowski R.Z., 2003: *Modelowanie elementów krajobrazu*. KUL: 190.
- Kozak I., Menshutkin V., Józwińska M., Potaczała G., 2002: *Computer simulation of fir forest dynamics in Bieszczady Mountains in response to climate change*. „Journal of Forest science”. Prague. 48,10: 425–431.
- Kozak I., Menshutkin V., Józwińska M., Potaczała G., 2003: *Modelling of beech forest dynamics in the Bieszczady Mountains in response to climate change*. „Ecology”. Bratislava. 22. 2: 107–118.
- Kondracki J., 2002: *Geografia regionalna Polski*. PWN, Warszawa.
- Shugart H. H., 1984: *Theory of Forests Dynamics*. New York: Springer: 278.
- Shugart H. H., Smith T. M., 1996: *A review of forest patch models and their application to global change research*. „Climate Change”, 34: 131–153