

RYSZARD MIŚ

Problematyka stabilności ekosystemowej w rozwoju lasu wyłączanego z gospodarki leśnej

Problems of ecosystem stability in the development of the forest excluded from commercial forest production

ABSTRACT

The paper presents an outline of problems associated with dynamic ecosystem stability viewed from the angle of a forest which was completely excluded from productive utilisation. The following notions were distinguished: forest stability, stand stability and managed forest stability. The author's own interpretation of forest development was presented. The model portrays the development of the forest and the role of self-regulation as a negative and positive feedback. The relationship between the effect of self-regulating capabilities and the effect of ecosystem resistance to de-stabilising actions was taken into consideration.

KEY WORDS

ecosystem stability, forest development, development model

Wstęp

Analiza podstaw prawnych współczesnej gospodarki leśnej – jej celów i zasad – prowadzi do wniosku, że problematyka stabilności ekosystemowej i wielofunkcyjności lasu staje się tym działem wiedzy, który wymaga intensywnych badań i praktycznych wdrożeń. Zwłaszcza w hodowli i urządzaniu lasu potrzebne będzie rozwijanie i zastosowanie nowych modyfikacji, szczególnie w zakresie regulacji lasu i kształtowania środowiska leśnego. Wynika to z faktu, że dążenie do trwałości i równowagi w rozwoju gospodarczym państw odniesiono także do gospodarki leśnej. W konsekwencji, trwale zrównoważona gospodarka – także w leśnictwie – jest ideą wymagającą nie tylko bardzo ogólnego opisu modelu postępowania gospodarczego. Konieczne jest również wypracowywanie nowych reguł i procedur postępowania hodowlanego, ochronnego i regulacyjnego w urządzaniu lasów wielofunkcyjnych. Oznacza to między innymi, że ogólna reguła polegająca na wspomaganiu przez leśnika naturalnych procesów rozwoju lasu jest oczywiście akceptowana, lecz tylko wówczas gdy czynniki destabilizujące, zakłócające ich naturalny charakter, nie oddziałują zbyt silnie. Skumulowany efekt, lub wypadkowa oddziaływania tych czynników nie może przekroczyć naturalnej odporności lasu i możliwości adaptacyjnych całego środowiska leśnego do zmienionych uwarunkowań.

Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie zarysu problematyki stabilności ekosystemowej, a także schematu blokowego i opisu modelu rozwoju lasu dla dwóch hipotetycznych stanów:

RYSZARD MIŚ

Katedra Urządzania Lasu
Akademia Rolnicza
ul. Wojska Polskiego 71C
60-625 Poznań
urzas@owl.au.poznan.pl

– procesy ekologiczne mają charakter naturalny, a rozwój lasu cechuje stabilność ekosystemowa,

* Artykuł ten powstał na podstawie referatu wygłoszonego na konferencji „Problemy ochrony i kształtowania środowiska leśnego” zorganizowanej przez Wydział Leśny Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu (17-19 listopada 2003 r.).

– procesy ekologiczne mają charakter naturalny, lecz rozwój lasu cechuje brak stabilności ekosystemowej.

Jakkolwiek zmienność lasu ze względu na pochodzenie, stadia sukcesji i aktualne cechy strukturalne mieści się w bardzo szerokim zakresie, to jednak zakres ten wyznacza z jednej strony mało zmieniony las pochodzenia pierwotnego, a z drugiej strony – plantacja drzew szybko rosnących. Te dwa krańcowo różne stany lasu są traktowane jako odrębne modele lasu [Faliński 1998]. W niniejszym opracowaniu problematykę stabilności i braku stabilności ekosystemowej przedstawiono w ujęciu dynamicznym i na przykładzie modelu lasu całkowicie wyłączonego z gospodarki leśnej.

Stabilność lasu i kryteria oceny stabilności

Stabilność oznacza trwałość, stateczność, zdolność do powracania do stanu równowagi, elastyczność, odporność na presje zewnętrzne [Prusinkiewicz 1994].

Stabilność lasu jako systemu ekologicznego oznacza stan względnej równowagi biologicznej lasu w określonych warunkach środowiska leśnego i zdolność powrotu do stanu początkowego, gdy ustanie oddziaływanie destabilizujące wywołane czynnikami wewnętrznymi i zewnętrznymi. Definicja ta wywodzi się z teorii Lapunowa [1968, 1972] i nawiązuje do pojęcia stabilności, interpretowanego między innymi przez takich autorów jak np. Sutherland [1974, 1981] oraz Kay [1991]. W ujęciu Prusinkiewicza [1994] stan ustalony to stan dynamicznej równowagi ekosystemu, w którym wszystkie procesy syntezy i rozpadu (wszystkie wejścia i wyjścia) równoważą się wzajemnie, a układ nie podlega zmianom kierunkowym, dzięki dobrze funkcjonującym sprzężeniom zwrotnym. Przegląd zastosowań teorii stabilności w ekologii podaje Harte i Levy [1975]. Omówienie wybranych pozycji literatury na temat kategorii i miar stabilności, relacji między różnorodnością, złożonością a stabilnością, można znaleźć między innymi w pracy Rykowskiego [1998], a także Richlinga i Solona [1998].

Pojęcie stabilności w urządzaniu lasu należy odnosić nie tylko do podstawowych dla gospodarki leśnej układów takich jak biogrupa drzew i drzewostan. Są one ważne z gospodarczego punktu widzenia, podlegają bowiem działaniu regulacyjnemu w hodowli i urządzaniu lasu. Stabilność jest jednak w gospodarce leśnej odnoszona przede wszystkim do układów i jednostek hierarchicznych wyższego rzędu, takich jak np. typ lasu, siedlisko i gospodarstwo, obręb leśny, lasy całego nadleśnictwa.

Stabilność lasu jako ekosystemu zagospodarowanego jest stanem względnej równowagi na obszarze wyznaczonym przez granice występowania typu siedliskowego lasu, na którym szereg drzewostanów posiada właściwą sobie organizację przestrzenną, wynikającą z przyczyn naturalnych (zgodność biocenozy z siedliskiem), ochronnych i gospodarczych (struktura ostępu wynikająca z kierunku panujących wiatrów).

Pojedynczy drzewostan, jako elementarna jednostka gospodarcza posiada zróżnicowaną zdolność do pozostawania w stanie względnej równowagi biologicznej. Zdolność ta zależy w znacznym stopniu od sposobu zagospodarowania lasu i od siły oddziaływania takich czynników destabilizujących, jak gradacje owadów, wiatr, śnieg, powódź, zanieczyszczenia przemysłowe gleby, wody i powietrza atmosferycznego. Pozostawanie drzewostanu w stanie względnej równowagi biologicznej jest uwarunkowane zachowaniem właściwego obiegu materii i przepływu energii, co stwarza możliwość zachowania struktury wewnętrznej i jej odtwarzanie, utrzymywanie dużej produktywności siedliska i sprawności gleb, oraz wypełnianie funkcji środowiskotwórczych i gospodarczych.

32 Ryszard Miś

Destabilizacja ekosystemu leśnego oznacza utratę zdolności homeostatycznych pod wpływem oddziaływań wewnętrznych i zewnętrznych. Zależnie od nasilenia i czasu trwania tych oddziaływań występują zakłócenia funkcjonalne, które w skrajnej sytuacji mogą prowadzić do kierunkowych zmian głównych procesów ekologicznych.

Do oceny stabilności lasu można dla celów praktyki urzędzeniowej zastosować trzy kryteria oceny:

- liczba elementów (np.: liczba drzew, liczba gatunków roślin – w tym drzew, liczba drzew zdrowych i martwych itd., ogólnie – liczba elementów dostępnych w urzędzeniowej bazie danych i ważnych z punktu widzenia równowagi ekosystemowej),
- stan elementów (np.: skład gatunkowy drzewostanu, wiek drzew w poszczególnych warstwach, bonitacja siedliska, zasobność drzewostanu itd., ogólnie – aktualny stan danej cechy drzewostanu),
- relacja między stanem elementów, np.: relacja między stanem siedliska a udziałem określonego gatunku drzewa, wiekiem drzew a liczbą drzew, wiekiem drzew a zasobnością drzewostanu itd., ogólnie – relacja między dowolną liczbą cech najlepiej dobranych do badania stabilności lasu jako systemu przyrodniczego.

Stabilność lasu w ujęciu dynamicznym

Pojęcie homeostazy i pojęcie sprzężenia zwrotnego wywodzą się z ogólnej teorii systemów i cybernetyki. Na użytek biologii sformułowana została przez Canona [Wiener 1948; Wagner 1954; Kment 1957], koncepcja regulacji przez sprzężenie zwrotne. Rozwinięto ją także w zakresie wiedzy o ekosystemach [Trojan 1980].

Ocena stabilności w rozwoju lasu sprowadza się do badania zmian zachodzących w stanie lasu dla kolejnych okresów czasu (np. 10-letnich). Można poddać analizie zmiany w liczbie elementów, ich stanie oraz wzajemnych relacjach. Najprostszym zapisem obrazującym las w ujęciu dynamicznym jest następujący układ równań:

$$\frac{dS_1}{dt} = f_1(S_1, S_2, \dots, S_n)$$

$$\frac{dS_2}{dt} = f_2(S_1, S_2, \dots, S_n)$$

.....

$$\frac{dS_n}{dt} = f_n(S_1, S_2, \dots, S_n)$$

gdzie

dS_i – oznacza zmianę określonej cechy S_i (miary) przyjętej do oceny stabilności ($i = 1, 2, \dots, n$) w okresie dt .

Podany zapis oznacza, że zmiana którejkolwiek cechy (miary) S_i jest funkcją zmian wszystkich cech S_j , od S_1 do S_n . Zmiana jakiegokolwiek cechy powoduje zmianę wszystkich pozostałych i zmianę systemu jako całości.

Na uwagę zasługuje również metoda Fonseki [Richling, Solon 1998], w której postawiono założenie, że system jest stabilny tak długo, jak długo trwa jego organizacja, tzn. jak długo jego struktura i funkcjonowanie nie ulega zmianie. W metodzie tej pojęcie stabilności systemu sprowa-

dzono do stałości udziałów powierzchniowych produkcji biomasy, stanu biomasy, puli pierwiastków, liczby płatów roślinności, liczby połączeń itd., jako części składowych systemu. Stabilność również i tutaj jest traktowana jako cecha dynamiczna. Potrzebna jest w związku z tym analiza co najmniej dwóch stanów badanego obiektu. Stwarza to możliwość prognozy stanów przyszłych, której trafność i wiarygodność będą tym większe, im więcej stanów z przeszłości posłuży do jej opracowania. Tego rodzaju prognozowanie ma jednak uzasadnienie tylko wówczas, gdy uwzględnione jest znane, wynikające z badań danego obiektu, prawdopodobieństwo wystąpienia określonych zdarzeń losowych, ich charakter i następstwa dla systemu.

Znajomość zmian w stanie różnych elementów lasu i środowiska leśnego pozwala badać dynamikę fitocenozy, biocenozy i całych ekosystemów leśnych. Współczesne bazy danych pochodzące z urządzania lasu, tylko w pewnym stopniu umożliwiają bardzo uproszczone analizy dotyczące dynamiki fitocenozy, także z wykorzystaniem zdjęć fitosocjologicznych wykonywanych w kolejnych dziesięcioleciach. Metodologia badania dynamiki roślinności, kryteria rozgraniczania procesów, ich opis i charakterystykę podaje Faliński [2001].

Stadia sukcesji roślinnej w rozwoju lasu naturalnego oraz względną stabilizację stadium lasu klimaksowego obrazuje rycina 1. Półnaturalna hodowla lasu i zasada wspomagania naturalnych procesów rozwoju lasu, przy uwzględnieniu w praktyce gospodarczo-leśnej właściwych typów lasu i sposobów zagospodarowania, będą sprzyjać utrzymywaniu lasu w stanie względnej równowagi ekosystemowej. Wiąże się z tym potrzeba konstruowania modeli regulacyjnych uwzględniających naturalny przebieg rozwoju lasu.

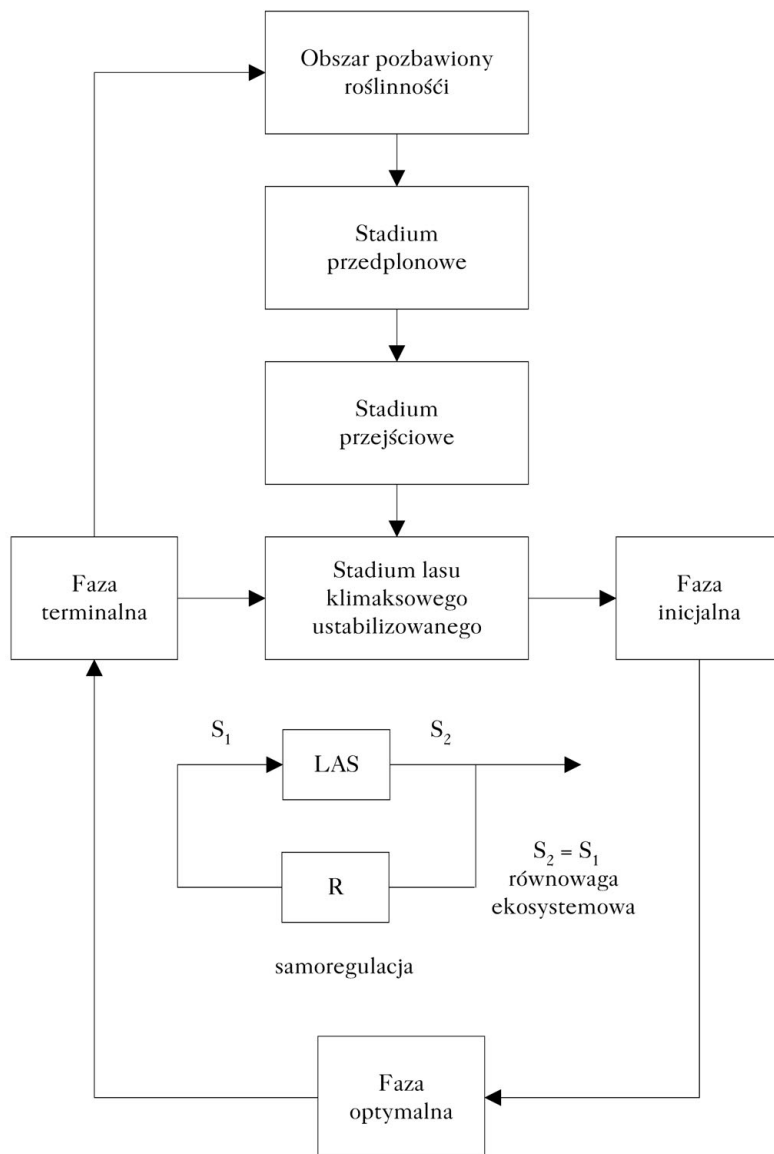
Model rozwoju lasu naturalnego podlegającego ścisłej ochronie i samoregulacji

USTABILIZOWANY ROZWÓJ LASU. Model ustabilizowanego rozwoju lasu zobrazowano na rycinie 2 (A). Charakteryzują go następujące cechy systemowe:

- stan biologiczny lasu określony umownie grupą cech (miar) na początku okresu (S_1) jest taki sam, lub niewiele różni się od stanu na końcu okresu (S_2),
- stabilizacja procesów jest względnie trwała i zależna od efektu oddziaływania na las szeregu bodźców wewnętrznych i zewnętrznych (x), oraz efektu oporu środowiska na to oddziaływanie (op),
- różnica między efektem bodźców a efektem oporu ma znak ujemny lub jest równa 0 ($x-op \leq 0$).

Pierwsza cecha systemowa tego modelu wiąże się z faktem, że ustabilizowany rozwój lasu charakteryzuje taka sekwencja kolejnych stanów lasu, które świadczą o pozostawaniu ekosystemu w równowadze, występujące bowiem wahania mieszczą się w granicach pewnej naturalnej amplitudy zmian (a). Określony indyktor, lub ich grupa, wskazują na podanym przykładzie, że różnica $|S_2 - S_1| < a$, tzn. mieści się w granicach wyznaczonych przez naturalną amplitudę wahań. Można w takim przypadku przyjąć interpretację oznaczającą istnienie stanu względnej równowagi ekosystemowej ($S_2 = S_1$).

Druga cecha modelu ustabilizowanego rozwoju lasu związana jest z trwałością stabilizacji procesów ekologicznych. Określenie tej cechy wymaga wielokrotnego, kolejnego potwierdzenia stanu homeostazy na podstawie intensywności procesów produkcji materii lub wiązania energii i wielkości akumulacji materii lub wydzielania energii. Dodatkowym utrudnieniem jest konieczność długotrwałego monitorowania siły oddziaływania i reakcji lasu na czynniki biotyczne, abiotyczne i antropogeniczne (x).



Ryc. 1

Stadia sukcesji roślinności w rozwoju lasu naturalnego i względna stabilizacja stadium lasu klimaksowego
 Stages of vegetation succession in the development of a natural forest and relative stabilization of a climax forest stage

Trzecia cecha systemowa dotyczy ujemnego znaku różnicy między wielkością efektu bodźców (zakłóceń) a wielkością efektu oporu ekosystemu leśnego i jego zdolności adaptacyjnych ($x-op$). System pozostaje stabilny, ponieważ wielkość efektu odpornościowego jest większa od wielkości efektu oddziaływania bodźców destabilizujących. Ustabilizowany rozwój lasu jest możliwy tak długo, jak długo wielkość tych bodźców jest mniejsza od wartości progowej [Richling, Solon 1998].

DESTABILIZACJA ROZWOJU LASU. Początki procesu destabilizacji w rozwoju lasu obrazuje rycina 2 (B). Charakterystyczne są przede wszystkim następujące cechy systemowe:

- stan lasu oceniany wskaźnikami stabilności na koniec okresu (S_2) różni się istotnie od stanu lasu na początku okresu (S_1): $S_2 - S_1 > a$,
- destabilizacja procesów jest trwała tzn. następuje powtarzalna dla kolejnych okresów, nieodwracalna utrata zdolności homeostatycznych, ponieważ kompleks czynników destabilizujących osiągnął wartość $x \geq x_p$.

Pierwsza cecha systemowa związana jest z sytuacją, w której stan wskaźników stabilności, wskazuje na istotną zmianę dotychczasowych trendów rozwoju lasu. Załóżmy np., że S oznacza liczbę drzew martwych. Z ryciny 2 (B) wynika, że na początku okresu (t_1) liczba tych drzew (S_1) mieściła się w przyjętej amplitudzie wahań (a), charakterystycznej dla stabilnego rozwoju lasu. Na końcu okresu (t_2) liczba drzew martwych zwiększyła się istotnie (S_2) i może to być jeden z najbardziej widocznych objawów destabilizacji ekosystemu. W rezerwacie ścisłym i w innych lasach jest to proces bardziej lub mniej długotrwały. Może mieć charakter jednego z trzech głównych procesów ekologicznych, których istotę, zakres strukturalny, czas trwania i kierunki zmian podaje Faliński [2001].

Druga cecha systemowa dotyczy sytuacji, w której siła oddziaływania kompleksu bodźców destabilizujących (x) i związany z nią efekt – przekraczają naturalne zdolności odpornościowe ($x \geq x_p$). Ta cecha systemowa sprawia, że jej powtarzalność, lub długotrwałość może doprowadzić do nieodwracalnego rozpadu formacji leśnej, którą zastąpi np. pustynia przemysłowa lub postindustrialna murawa. Można tą sytuację zapisać następująco:

$$1) \frac{dS}{dt} = f(S, x, t.op) \quad 2) dS > a \quad 3) x > x_p \quad 4) x - op > 0$$

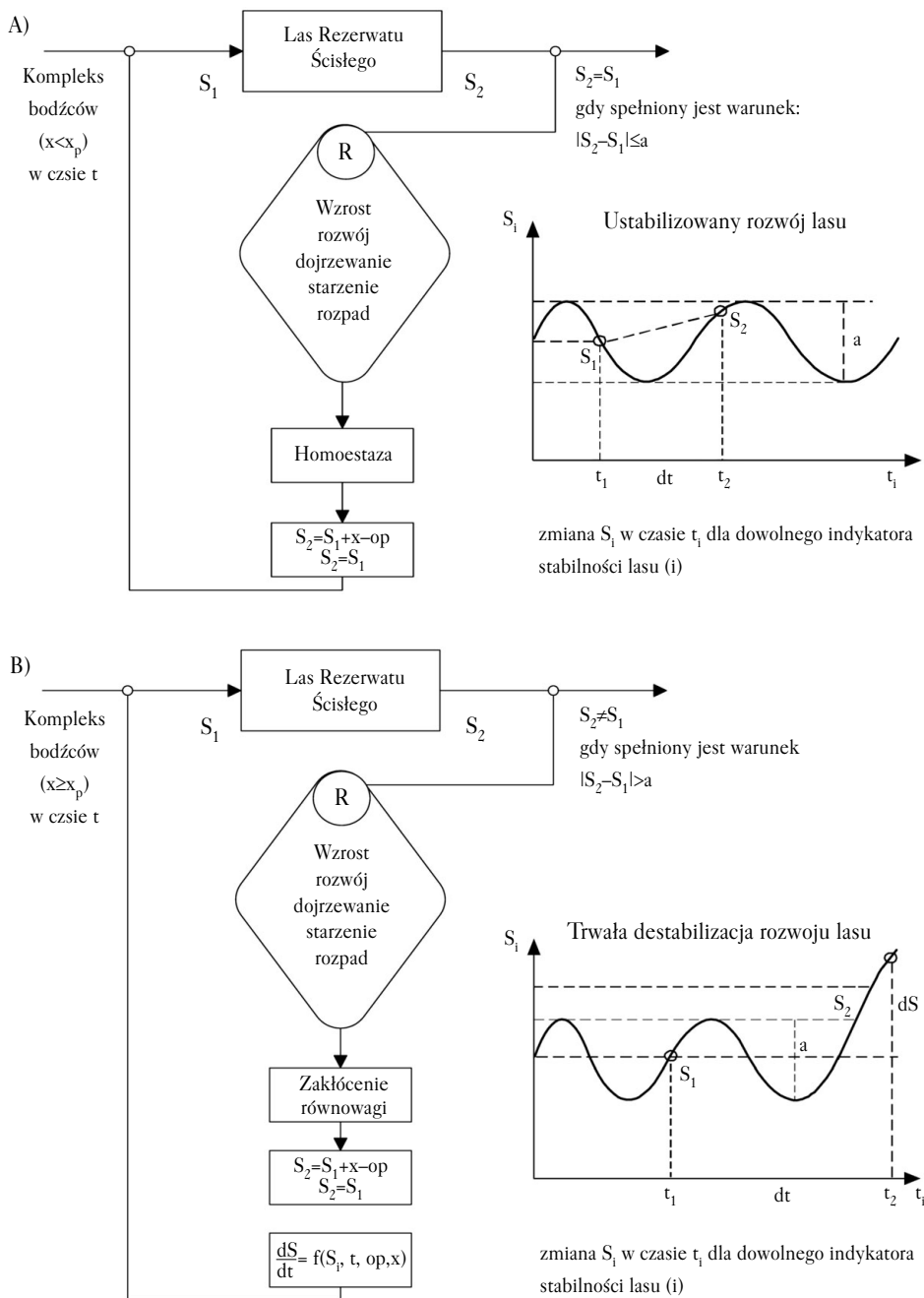
Oznacza to, że destabilizacja rozwoju lasu zależy przede wszystkim od elementów podanych we wzorze 1) i od warunków ograniczających (2, 3, 4).

Trzecia cecha systemowa jest zobrazowana warunkiem $x - op > 0$ i zapis ten ma wyłącznie znaczenie ilustracyjne. Wynika to z faktu, że podczas gdy x jest wielkością dającą się zmierzyć – w przypadku niektórych czynników (np.: zanieczyszczenia przemysłowe gleby, wody, powietrza atmosferycznego) – to wartość op nie jest współcześnie mierzalna. Istotny jest znak wyrażenia $x - op$, charakterystyczny dla dodatniego sprzężenia zwrotnego, w którym następuje sumowanie negatywnych efektów braku samoregulacji w kolejnych okresach czasu. Jest to początek procesu trwałej destabilizacji w rozwoju lasu.

Podsumowanie

Przedstawiony zarys problematyki dotyczącej stabilności lasu miał na celu zobrazowanie roli mechanizmu samoregulacji pod względem oddziaływania czynników zakłócających funkcjonowanie ekosystemu leśnego w rezerwacie ścisłym. W lesie zagospodarowanym i wielofunkcyjnym dodatkowym czynnikiem jest działalność gospodarcza realizowana w różny sposób, zależnie od lokalnych uwarunkowań środowiskowych. W lasach zagospodarowanych w pobliżu ośrodków przemysłowych i wielkich aglomeracji miejskich występują także, uwzględnione w pracy, trzy cechy systemowe związane z destabilizacją lasu. Stopniowo, regulacja rozwoju lasu w hodowli i urządzaniu lasu powinna w coraz to większym stopniu uwzględniać zasady regulacji biocenotycznej. Sprzyjać temu będzie dalsze przekształcanie całkowicie sztucznych form lasu, szczególnie na siedliskach boru mieszanego świeżego i lasu mieszanego świeżego. Sposób

36 Ryszard Miś



Ryc. 2.

Sprężenie zwrotne ujemne (A) i dodatnie (B) między efektem oddziaływania kompleksu bodźców destabilizujących ekosystem (x) a efektem odporności lasu na to oddziaływanie op (x_p – wartość progowa x , przy której następuje trwałe zakłócenie równowagi ekosystemowej, a – naturalna amplituda wahań S_1)

Negative (A) and positive (B) feedback between the effect of action of a stimuli complex disturbing the ecosystem (x) and the effect of forest resistance op (x_p – threshold value x at which a permanent destabilization of the ecosystem balance occurs, a – natural amplitude of changes S_1)

realizowania tego zadania jest bezpośrednio związany z problematyką stabilności lasu. Potrzebne będą nowe koncepcje metodyczne, dotyczące regulacji rozwoju lasu i produkcji drzewnej – w pełni dostosowane do półnaturalnej hodowli lasu i urządzania lasów wielofunkcyjnych. W związku z tym z pracy wynika następujący wniosek:

Stabilność lasu jest ważną cechą ekosystemową przydatną w ocenie rozwoju lasu podlegającego szczególnej ochronie i może być w przyszłości elementem składowym analizy rozwoju lasu wielofunkcyjnego.

Literatura

- Faliński J. B. 1998. Zasady trwałej gospodarki leśnej w świetle rozważań geobotanika. W: Rykowski K. [red.]. Trwały i zrównoważony rozwój lasów. Wyd. IBL. 27-42.
- Faliński J. B. 2001. Przewodnik do długoterminowych badań ekologicznych. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Harte J., Levy D. 1975. On the invulnerability of ecosystems disturbed by man. W: Unifying concepts in ecology. [red. W. H. van Dobbenn, R. Lowe-Mc Connell] Dr W. Junk B.V. Publishers, The Hague.
- Kay J. J. 1991. Nonequilibrium Thermodynamic Framework for Discussing Ecosystem Integrity. *Environmental Management*. 15. 4: 483-495.
- Prusinkiewicz Z. 1994. Leksykon ekologiczno-gleboznawczy. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Richling A., Solon J. 1998. Ekologia krajobrazu. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Rykowski K. 1998. Trwały i zrównoważony rozwój lasów – zarys problematyki. W: Rykowski K. [red.]. Trwały i zrównoważony rozwój lasów. Poglądy – opinie – kontrowersje. Wyd. IBL. 165-191.
- Sutherland J. P. 1974. Multiple stable points In natural communities. *American Naturalist* 108.
- Sutherland J. P. 1981. The fouling community at Beaurort North Carolina: a study in stability. *American Naturalist* 118.
- Trojan P. 1975. Ekologia ogólna. PWN, Warszawa.
- Trojan P. 1980. Homeostaza ekosystemów, Ossolineum.
- Wagner C. 1954. Probleme und Beispiele biologischer Regelung. Thieme, Stuttgart.
- Wiener N. 1948. Cybernetics, John Wiley and Sons. New York.

SUMMARY

Problems of ecosystem stability in the development of the forest excluded from commercial forest production

The objective of the performed study was to present an outline of a dynamic approach to the ecosystem stability as exemplified by a forest completely excluded from forest productive utilization. The following notions were distinguished: forest stability, stand stability and managed forest stability. The forest model, represented as a dynamic system, inspired the author to present his own interpretation of forest development. The block diagram presented in this study portrays the development of the forest and the role of self-regulation as a negative and positive feedback. It takes into account relationships between the effect of the action of the destabilizing stimuli complex, on the one hand, and the effect of self-regulating capacities and ecosystem resistance, on the other. Three traits of the stabilized development and three traits of the model of permanent destabilization of forest development were described.

The presented outline of problems was referred directly to a strict reserve. In the case of cropped and multi-functional forests, appropriate economical activities - adjusted to local environmental conditions - constitute an additional systemic factor affecting such forests. That is why three systemic traits associated with forest destabilization can be applied not only to strict reserves but also to cropped forests situated in the neighbourhood of industrial centres and big city agglomerations.