

Jerzy SOLON<sup>1</sup>, Jerzy WAWRZONIAK<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania  
Polska Akademia Nauk,  
00-818 Warszawa, Twarda 51/55

<sup>2</sup>Instytut Badawczy Leśnictwa,  
Zakład Badań i Systemów Informacji Przestrzennych  
00-973 Warszawa, Bitwy Warszawskiej 1920 R. nr 3

## MONITORING RUNA I ODNOWIENIA NATURALNEGO W SYSTEMIE MONITORINGU LASU

MONITORING OF FOREST GROUND VEGETATION AND NATURAL  
REGENERATION IN THE FOREST MONITORING SYSTEM

**Abstract:** *Method of plots establishing, scope of ground vegetation and natural regeneration observations in the frame of forest monitoring system are presented. Proposals of possible data processing are suggested.*

**Key words:** *forest monitoring, ground vegetation, field methods*

# 1. ZAŁOŻENIA OGÓLNE

Monitoring lasu stanowi system oceny stanu zdrowotnego lasu oparty na ciągłych lub okresowych obserwacjach i pomiarach wybranych indykatorów, odzwierciedlających odkształcenia w najważniejszych komponentach ekosystemu leśnego. Daje on możliwość rozeznania zmian w czasie i zróżnicowaniu przestrzennym stanu zdrowotnego lasu w relacji do oddziaływań biotycznych i abiotycznych czynników środowiska.

W pierwszym etapie rozwoju monitoringu lasu uwaga była skierowana głównie na drzewostan jako podstawowy komponent ekosystemu lasu. Morfologia koron drzew, określana przez takie parametry jak: defoliacja i odbarwienie aparatu asymilacyjnego, typ defoliacji, liczba roczników igieł, wielkość igieł bądź liści, proporcje przyrostu pędów stanowiła podstawę do oceny poziomu zdrowotności drzew i drzewostanów. Podobne preferencje miały miejsce także w programie międzynarodowym ICP-Forest (Assessment of Ground Vegetation 1994).

Koncentracja monitoringu lasu na drzewostanie pozwalała wprowadzić na podstawie porównania stopnia odbarwienia i ubytku aparatu asymilacyjnego na umowną ocenę poziomu uszkodzenia drzewostanów na terytorium kraju, jak i również zmian uszkodzenia drzewostanów w czasie, ale nie stwarzała możliwości badania związków przyczynowo-skutkowych pomiędzy czynnikami środowiska a stanem zdrowotnym lasu. Ograniczenie to uniemożliwiało śledzenie reakcji pozostałych komponentów ekosystemu lasu na stesy, a także identyfikację zmian w funkcjonowaniu i strukturze ekosystemu lasu.

Z powyższych powodów program monitoringu lasu został poszerzony zarówno o rejestrację czynników środowiska, jak i o dodatkowe komponenty ekosystemu lasu. W pierwszej kolejności uruchomiono program pomiaru zanieczyszczeń gazowych powietrza atmosferycznego i depozytu zanieczyszczeń na stałych powierzchniach obserwacyjnych II rzędu (WAWRZONIAK i in. 1997), charakteryzujący oddziaływanie czynników antropogenicznych. Kolejnym istotnym krokiem poszerzającym program monitoringu lasu było podjęcie badań glebowych. Oprócz analizy typologicznej gleb i składu granulometrycznego wykonano pełne analizy chemiczne próbek gleb z poziomu ektopróchnicy i pięciu głębokości profilu glebowego (WAWRZONIAK i in. 1997). Analizy chemiczne igliwia bądź liści oraz pomiar miąższości i przyrostu miąższości drzewostanu stanowią dalsze uzupełnienie programu monitoringu lasu. Spośród czynników biotycznych oddziałujących na kondycję lasu rejestrowane są: liczebność populacji owadów liściożernych w drzewostanach iglastych oraz zagrożenie grzybami patogennymi.

Poza oceną pozostawały zmiany składu gatunkowego i struktury szaty roślinnej, zachodzące na skutek oddziaływań antropogenicznych bądź zmian klimatu. W szczególności istotne zmiany są wywoływane przez procesy eutrofizacji oraz zakwaszania gleb, zachodzące w ostatnim półwieczu na rozległych obszarach leśnych. Wysoki poziom emisji  $\text{SO}_2$  i  $\text{NO}_x$  powodował przez wiele lat zakwaszanie roztworów glebowych, co pociągało za sobą intensyfikację wymywania z kompleksu sorpcyjnego gleb podstawowych pierwiastków biogennych (DE VRIES i in. 1989) oraz uwalnianie jonów glinu, hamujących rozwój korzeni aktywnych (REUSS 1983). Depozyt pyłów alkalicznych o dużej zawartości pierwiastków biogennych przeciwdziałał procesom zakwaszania i powodował eutrofizację siedlisk leśnych. Konsekwencje tych różnorodnych oddziaływań dla siedliska leśnego i szaty roślinnej w lokalnych uwarunkowaniach mogą być istotnie różne. W ostatnich latach relacje wielkości emisji  $\text{SO}_2$  i  $\text{NO}_x$  zmieniają się. Zmniejsza się emisja  $\text{SO}_2$ , natomiast emisja  $\text{NO}_x$  wykazuje tendencje wzrostu (Ochrona Środowiska, GUS, 1997). Można oczekiwać, że ten dynamiczny układ czynników spowoduje szybkie zmiany, zarówno w składzie gatunkowym szaty roślinnej, jak i w jej strukturze.

Znaczący wpływ na kształtowanie się szaty roślinnej będą miały, wprowadzane do praktyki gospodarki leśnej, zasady zrównoważonego rozwoju zgodne z nową polityką leśną (Krajowa polityka leśna 1997). Zmiany w sposobie użytkowania, podniesienie wieku rębności, ochrona różnorodności biologicznej spowodują zmiany w szacie roślinnej. Istotnym elementem nowej strategii gospodarowania w lasach jest dążenie do stabilności i naturalizacji ekosystemów leśnych. W tym aspekcie zdolność do naturalnego odnawiania będzie jednym z podstawowych wskaźników stopnia stabilności i naturalności lasu.

Zarysowane powyżej uwarunkowania stwarzają konieczność rozszerzenia zakresu stosowanego dotychczas monitoringu lasu o dodatkowe elementy, z których najważniejsze dotyczą roślinności dna lasu oraz odnowienia naturalnego. W szczególności celem tak rozumianego monitoringu runa jest:

a) określenie przestrzennej zmienności runa w obrębie wybranych typów siedliskowych lasu;

b) śledzenie zmian w składzie florystycznym runa i w jego strukturze poziomej, zarówno w cyklu rozwojowym lasu, jak i na skutek wielkoprzestrzennych zmian środowiska zachodzących pod wpływem czynników abiotycznych, biotycznych i antropogenicznych;

c) analiza zasięgów wybranych gatunków;

d) analiza poziomu i zmian różnorodności biologicznej flory leśnej w ujęciu typów lasów i regionów;

e) analiza związków przyczynowo-skutkowych pomiędzy zmianami runa a stanem zdrowotny drzewostanu;

f) wykorzystanie zdolności indykacyjnej runa dla oceny stanu zdrowotnego, a — w miarę możliwości — także produktywności i wartości gospodarczej drzewostanu;

g) ocena dynamiki liczebności i witalności odnowienia naturalnego.

Pełna realizacja powyższych celów jest możliwa jedynie w przypadku typologicznej i regionalnej reprezentatywności powierzchni obserwacyjnych. Jednak nawet dane zebrane w ograniczonym, nie w pełni reprezentatywnym zakresie będą ważnym elementem banku danych o środowisku leśnym i mogą być wykorzystywane w siedliskoznawstwie leśnym do oceny stopnia zniekształcenia i degradacji siedlisk.

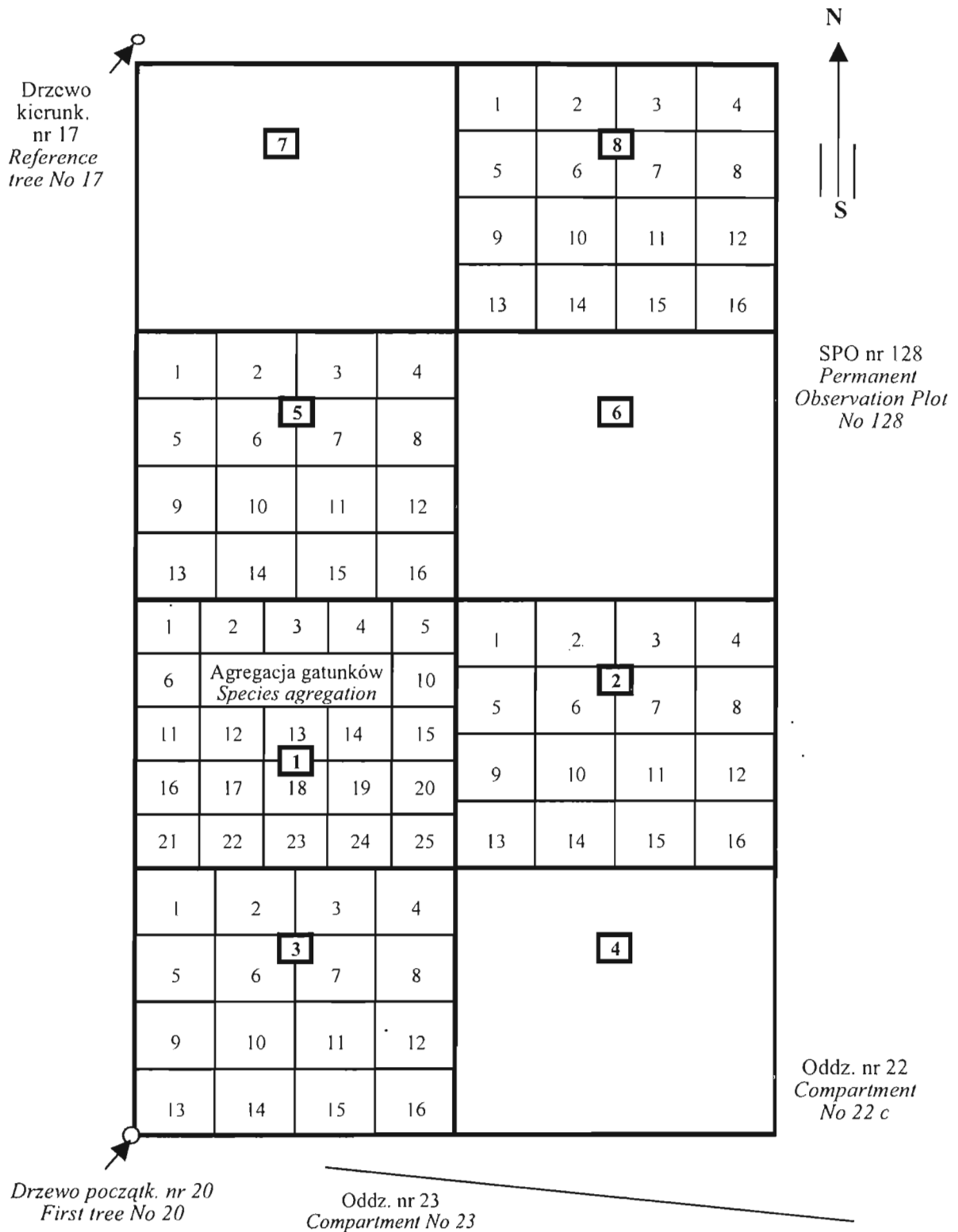
Niniejszy artykuł jest poświęcony przedstawieniu — z konieczności w postaci skrótowej — elementów składowych monitoringu szaty roślinnej oraz ogólnym zasadom zbioru i opracowania danych.

## 2. POWIERZCHNIE OBSERWACYJNE

Stalą powierzchnię obserwacyjną szaty roślinnej wytycza się na stałej powierzchni obserwacyjnej monitoringu lasu (SPO II rzędu). Powinna charakteryzować się dobrze wykształconym runem (np. przez powierzchnię nie powinna przebiegać ścieżka), przeciętnym drzewostanem i przeciętnym zakrzewieniem, tak aby była maksymalnie reprezentatywna dla całego wydzielenia drzewostanowego. Na powierzchni monitoringowej szaty roślinnej prowadzi się jedynie obserwacje i badania nieniszczące, tzn. nie pobiera się prób gleby, ściółki, roślin zielnych czy drzew. Natomiast wykonuje się wszystkie zabiegi związane z planową pielęgnacją lasu.

Powierzchnia stanowi prostokąt o wymiarach 20×40 m, podzielony na dwa kwadraty o wymiarach 20×20 m, z których każdy dzieli się na cztery kwadraty o wymiarach 10×10 m (ryc. 1). Wszystkie narożniki ośmiu kwadratów zaznaczone są trwale palikami.

Podstawowy opis powierzchni składa się z dwóch części. Część pierwsza ma charakter kartograficzny i obejmuje szkic (w skali 1:2000) położenia powierzchni monitoringowej runa w stosunku do SPO oraz fragment (o powierzchni ok. 1 km<sup>2</sup>) nałożonych na siebie mapy typów siedliskowych lasu i mapy drzewostanowej w skali 1:10000 z powierzchnią monitoringową zaznaczoną w części centralnej. Pożądane jest również wykonanie mapy roślinności rzeczywistej dla tego obszaru. Druga część opisu zawiera informacje tekstowe należące do kilku bloków tematycznych: (a) informacje ogólne, w tym numer powierzchni SPO, informacje o położeniu administracyjnym, położenie geograficzne (długość i szerokość) z zaznaczeniem, czy wyliczono z mapy czy zmierzono za pomocą GPS;



**Ryc. 1. Szkic powierzchni monitoringu runa i odnowienia naturalnego**  
 Fig. 1. Scheme of area for vegetation monitoring.

(b) podstawowe informacje leśne i geograficzne, w tym położenie w krajobrazie, tzn. ekspozycja, nachylenie, genetyczna forma rzeźby, typ i gatunek gleby, typ

siedliskowy lasu i wiek drzewostanu panującego, region fizycznogeograficzny w ujęciu KONDRACKIEGO (1977), region geobotaniczny w ujęciu J. M. MATUSZKIEWICZA (1993), region przyrodniczolesny w ujęciu TRAMPLERA i in. (1990); (c) skrócona historia lasu (w tym m.in. określenie, które jest to z kolei pokolenie lasu, a jeśli pierwsze, to czy na gruntach porolnych), sposób powstania lasu (np. samosiew, sadzenie), status lasu (np. rezerwatowy, ochronny, gospodarczy), inne ważne informacje.

Taki opis powtarza się co 12 lat, natomiast weryfikuje się go i uzupełnia w razie konieczności w trakcie kolejnych badań monitoringowych.

### 3. MATERIAŁY FLORYSTYCZNE I GEOBOTANICZNE

Podstawą analizy florystycznej i geobotanicznej jest zdjęcie fitosocjologiczne, obejmujące powierzchnię 400 m<sup>2</sup> (ryc. 1, łącznie kwadraty 1, 2, 3, 4) powierzchni monitoringowej runa i wykonywane według ogólnie przyjętych zasad [por. Szafer, Zarzycki (red.) 1972]. W zdjęciu fitosocjologicznym należy uwzględnić wszystkie gatunki roślin naczyniowych, mszaki i porosty naziemne.

W opisie należy uwzględnić także porosty występujące na martwym drewnie, na pniach i gałęziach drzew oraz na skałach i kamieniach (jeżeli występują licznie, np. w lasach górskich). Ich wykaz zamieszcza się poniżej głównego spisu, a ilościowość określa się w stosunku do powierzchni dostępnego substratu, a nie całej powierzchni monitoringowej. Opis florystyczno-fitosocjologiczny powtarza się co 4 lata.

Jednym z warunków gwarantujących wysoki poziom merytoryczny monitoringu jest założenie zielnika dokumentacyjnego. Zbiory egzemplarzy do zielnika powinno się rozpocząć w trakcie pierwszych prac terenowych po założeniu powierzchni. Zielnik obejmuje wszystkie gatunki roślin naczyniowych, mchów i porostów występujących na powierzchni monitoringowej i w jej najbliższym sąsiedztwie, choć zbioru egzemplarzy na ogół dokonuje się wyłącznie na zewnątrz powierzchni monitoringowej. Do zielnika dokumentacyjnego zbiera się rośliny naczyniowe dobrze rozwinięte, nieuszkodzone, w miarę możliwości małych rozmiarów, razem z systemem korzeniowym. Z drzew i krzewów zbiera się kwitnące i owocujące gałązki z liśćmi. Siewki zbiera się w całości. Sposób zabezpieczania, opisu i przechowywania arkuszy zielnikowych powinien odpowiadać ogólnie przyjętym normom. Zbiór materiałów zielnikowych uzupełnia się co 12 lat.

## 4. ILOŚCIOWA OCENA WYSTĘPOWANIA POROSTÓW

Ocena dotyczy porostów występujących na korze drzew oraz na dużych blokach skalnych. Obiekty badań wybiera się i oznacza jednorazowo, w trakcie zakładania powierzchni monitoringowych runa. W przypadku drzew wybiera się co najmniej trzy żywe drzewa o nieuszkodzonej korze, należące do gatunku dominującego i po jednym drzewie z gatunków domieszkowych. Drzewa mogą różnić się pod względem gatunku, wieku, wysokości, pierśnicy i pozycji biosocjalnej. W przypadku obumarcia wybranego drzewa należy je pozostawić w serii pomiarowej, z zaznaczeniem w protokole obserwacyjnym. W przypadku bloków skalnych wybiera się 10 miejsc o maksymalnie równej i horyzontalnej powierzchni.

Do ilościowej oceny porostów na pniach (skałach) służy ramka zawieszana (tylko na czas pomiaru) na trwale zamontowanych bolcach. Ramka ma być wykonana z białego elastycznego tworzywa. Pole obserwacyjne ramki ma wymiary 20 cm (poziomo) na 30 cm (pionowo). Ocena polega na określeniu z dokładnością do 5% powierzchni kory (skały) zajętej przez porosty w obrębie pola obserwacyjnego ramki. Ponadto określa się również gatunek dominujący oraz ogólną liczbę gatunków porostów w obrębie pola obserwacyjnego. Niezbędną dokumentację stanowią zdjęcia fotograficzne, wykonane tak, aby w kadrze znalazła się cała ramka oraz fragmenty pnia powyżej i poniżej ramki. Ocenę ilościową porostów powtarza się co 4 lata.

## 5. ANALIZA STRUKTURY POZIOMEJ RUNA

Strukturę poziomą runa należy analizować na powierzchni  $100\text{ m}^2$  ( $10 \times 10\text{ m}$ ). Powierzchnia ta stanowi część ("podpowierzchnię") głównej powierzchni obserwacyjnej (ryc. 1, kwadrat 1). Oznakowaną podpowierzchnię należy podzielić na 25 kwadratów wielkości  $4\text{ m}^2$ . Dla każdego z kwadratów wykonuje się uproszczone zdjęcie fitosocjologiczne, bez warstwy drzew, uwzględniając krzewy, rośliny runa i warstwę mchów i porostów. Kolejnym elementem jest wykonanie planu rozmieszczenia głównych składników runa. Na takim planie należy zaznaczyć (za pomocą prostych kodów literowych) dominujące formy gatunków w poszczególnych kwadratach, stosując przy tym następujące oznaczenia: A — brak roślin (powierzchnia bez roślin powyżej 95%); B — mchy; C — porosty; D — gatunki o pokroju trawiastym; E — dwuliścienne zielne; F — krzewinki; G — siewki drzew. W przypadku występowania w jednym kwadracie dwóch dominujących form (np. mchy i krzewinki) stosuje się podwójne oznaczenia (np. BF).

Ponadto należy wyróżnić agregacje zwarte i luźne. Agregacje zwarte pokrywają ponad 50% powierzchni kwadratu. Oznacza się je literami dużymi. Agregacje luźne pokrywają od 5 do 50% powierzchni kwadratu. Oznacza się je odpowiednimi małymi literami.

## 6. OCENA ODNOWIENIA NATURALNEGO DRZEWOSTANÓW

Istotnym parametrem określającym kondycję drzewostanów jest jego zdolność do odnowienia naturalnego. Cecha ta zależy zarówno od fazy rozwojowej drzewostanu, jak i od stanu siedliska, warunków klimatycznych i poziomu antropopresji. W ramach monitoringu runa ocena stanu odnowienia naturalnego drzewostanów zajmuje odrębne miejsce, z uwagi na rolę, jaką pełni w odtworzeniu ekosystemu, a także z uwagi na specyfikę metody oceny występowania i dynamiki zmian w czasie. Do głównych celów rejestracji odnowień naturalnych w ramach monitoringu szaty roślinnej należą: określenie intensywności odnowień naturalnych, ich witalności i stopnia przeżywalności w wybranych typach siedliskowych i drzewostanowych na terenie Polski w różnych krainach przyrodniczoleśnych.

Ocena odnowień naturalnych drzewostanów będzie wykonywana na powierzchniach obserwacyjnych szaty roślinnej, które zlokalizowane są na SPO II rzędu w drzewostanach sosnowych i świerkowych w wieku ok. 50–60 lat oraz w drzewostanach dębowych i bukowych w wieku 70–90 lat. W celu uchwycenia zmienności powierzchniowej odnowienia naturalnego obserwacje przeprowadza się na czterech kwadratach o wymiarach 10×10 m rozmieszczonych na powierzchni obserwacyjnej w układzie szachownicy (ryc. 1, kwadraty 2, 3, 5, 8). Kwadraty te podzielone są na poletka podstawowe o wymiarach 2,5×2,5 m i oznaczone kolejnymi numerami od 1 do 16 poczynając od górnego lewego rogu do prawego dolnego rogu, zaczynając numerację każdego rzędu od lewej strony. Numer poletka składa się z pierwszej cyfry oznaczającej numer kwadratu i dwu kolejnych cyfr oznaczającej numer poletka, np. 312 lub 802. W zakres obserwacji i pomiarów wchodzi: klasyfikacja odnowienia naturalnego, ocena liczebności oraz określenie wieku i żywotności odnowienia.

Odnowienie naturalne dzieli się na nalot, młodszy podrost, starszy podrost. Nalot stanowią drzewka do 0,5 m wysokości, młodszy podrost stanowią drzewka od 0,5 m do 1,3 m wysokości, starszy podrost stanowią drzewka o wysokości ponad 1,3 m do grubości pierśnicy 7 cm. W grupie drzewek do 1,3 m wysokości należy wyróżnić w odrębnej kategorii podsadzenia. Ocena liczebności i strukturę powierzchniową rozkładu odnowienia naturalnego przeprowadza się indywidualnie na każdym poletku w czterech wyznaczonych uprzednio kwadratach. Dla



każdego poletka podaje się liczbę drzewek podrostu młodszego i starszego, podsadzeń oraz drzew rosnących na poletku wg gatunku.

Na każdym poletku określamy średni wiek nalotu oraz młodszego i starszego podrostu z 10 losowo wybranych drzewek. W wypadku gatunków iglastych wiek określamy licząc okółki i dodając 2 lata dla odnowienia sosnowego i 3 lata dla odnowienia świerkowego. Wiek drzewek gatunków liściastych określamy szacunkowo.

Klasę żywotności nalotu, podrostu i podsadzeń określamy na podstawie cech wzrokowych takich jak pokrój korony, jej długość, barwa igliwia oraz stosunek długości pędu głównego do długości pędów bocznych (Bernadzki 1967). Podobne cechy wykorzystuje się przy ocenie żywotności drzewek liściastych.

Wyróżnia się cztery klasy żywotności:

— 1 klasa żywotności — drzewka bujnie rosnące, o pędzie głównym co najmniej tak długim jak pędy boczne;

— 2 klasa żywotności — drzewka normalnie rozwinięte, o pędzie głównym wynoszącym od 1/2 do 1/1 długości pędu bocznego;

— 3 klasa żywotności — drzewka osłabione, o pędzie głównym wynoszącym 1/4 do 1/2 długości pędu bocznego;

— 4 klasa żywotności — drzewka zamierające, zahamowane we wzroście, o pędzie głównym wynosząc do 1/4 długości pędów bocznych. Do tej klasy zalicza się drzewka pozbawione przyrostu na wysokość oraz bez pędu głównego zniszczonego w wyniku uszkodzeń mechanicznych.

Klasę żywotności określa się dla nalotu, a także dla młodszego i starszego podrostu oraz podsadzeń jako średnią określoną na 10 losowo wybranych drzewkach zaokrąglając wartość klasy do jednej dziesiątej. Jeżeli liczba drzewek na poletku jest mniejsza od 10, średnią klasę żywotności określa się na podstawie oceny wszystkich rosnących drzewek.

Dodatkowo na każdym poletku określa się liczbę drzew każdego gatunku o pierśnicy powyżej 7 cm, a także procent powierzchni poletka zacienionej przez korony drzew.

## 7. PRZECHOWYWANIE DANYCH PODSTAWOWYCH

W każdym cyklu pomiarowym wynikiem badań monitoringowych na każdej powierzchni są wypełnione odpowiednie formularze oraz komplet odbitek fotograficznych pni z porostami. Całkowite i poprawne wypełnienie formularzy jest obowiązkiem osoby (kierownika ekipy) prowadzącej prace terenowe. Oznacza to m.in., że jest on odpowiedzialny za oznaczenie (lub spowodowanie oznaczenia) gatunków nierozpoznanych w terenie. Wypełnione formularze i inne materiały

(np. zielnik) przekazuje się do instytucji, który prowadzi archiwum danych monitoringowych.

Sposób zapisu, przechowywania i udostępniania podstawowych danych jest taki sam dla wszystkich elementów monitoringu lasu, przy czym w przypadku monitoringu szaty roślinnej postuluje się spełnienie następujących warunków:

a) dla każdej powierzchni monitoringowej należy założyć odrębną bazę danych, o takiej samej strukturze. Wydzielenie bazy danych dla każdej z powierzchni wynika z braku ciągłości przestrzennej między nimi;

b) w każdej bazie danych wyróżnia się położenie geograficzne powierzchni, które jest elementem spinającym oddzielne bazy danych i GIS;

c) w bazie danych należy wyodrębnić każdy czteroletni cykl pomiarowy. Zestawienie informacji odnoszących się do kilku (co najmniej dwóch) cykli umożliwi obserwację dynamiki zmian;

d) należy zeskanować, a następnie odpowiednio zgeometryzować zdjęcia fotograficzne służące do ilościowej analizy porostów, tak aby możliwe było nakładanie na siebie zdjęć wykonanych w różnym czasie.

## 8. MOŻLIWE KIERUNKI INTERPRETACJI DANYCH

Zgromadzone w bazie danych informacje umożliwią wykonanie szeregu analiz numerycznych prowadzonych przy użyciu systemu informacji geograficznej (GIS), pakietów statystycznych i programów obróbki obrazów rastrowych.

W ujęciu ogólnym można wyróżnić kilka powiązanych ze sobą kierunków interpretacji danych:

a) analizy poszczególnych stanów (okresów pomiaru) i analizy różnic między stanami;

b) uśrednione charakterystyki wg podziału na regiony, gatunek panujący w drzewostanie, typ siedliskowy lasu, klasy wieku i typ fitosocjologiczny;

c) analizy na podstawie cech bezpośrednio monitorowanych oraz analizy na podstawie wyliczonych wskaźników pochodnych;

d) analizy tylko na podstawie charakterystyk szaty roślinnej oraz łączne analizy na podstawie danych z różnych segmentów monitoringu lasu.

Na podstawie wykonanych zdjęć fitosocjologicznych można między innymi określać pozycję syntaksonomiczną powierzchni leśnych, wskaźniki różnorodności florystycznej oraz wskaźniki fitoindykacyjne, a także można analizować wewnętrzną strukturę zbiorowisk.

Do wskaźników różnorodności florystycznej należą między innymi:

(a) wskaźnik bogactwa gatunkowego — określany liczbą występujących gatunków roślin zielnych;

(b) wskaźnik różnorodności gatunkowej Shannona  $H$ , obliczany według wzoru:  $H = -\sum p_i \log_2 p_i$ , gdzie  $p_i$  oznacza udział powierzchniowy (wyrażony ułamkiem dziesiętnym)  $i$ -tego gatunku (SHANNON, WEAVER 1949);

(c) wskaźnik maksymalnej różnorodności gatunkowej  $H_{\max}$  obliczany według wzoru:  $H = \log_2 n$ , gdzie  $n$  oznacza liczbę gatunków;

(d) wskaźnik równomierności, postaci:  $H/H_{\max}$ ;

(e) wskaźnik Simpsona (SIMPSON 1949) postaci:  $I = \sum p_i^2$ ;

(f) wskaźnik beta (SIMPSON 1949) postaci:  $\beta = (1 - I)/(1 - \frac{1}{n})$ .

Fitoindykacja to diagnozowanie warunków środowiska abiotycznego (czynników klimatycznych, glebowych i hydrologicznych) na podstawie występowania określonych gatunków roślin wskaźnikowych o znanych wymaganiach ekologiczno-siedliskowych, na ogół wahających się w ograniczonym zakresie. Na jej podstawie można określić tolerancję zbiorowisk roślinnych w stosunku do czynników siedliskowych znając cechy wskaźnikowe gatunków je tworzących. Metody fitoindykacyjne stanowią dobre uzupełnienie laboratoryjnych badań właściwości chemicznych gleb. We wszystkich analizach fitoindykacyjnych, dotyczących monitoringu lasu należy brać pod uwagę tylko skład florystyczny warstwy runa, która najżywiej reaguje na przemiany warunków abiotycznych, a wpływy antropogeniczne uwidaczniają się w niej najszybciej. Najczęściej określa się następujące wskaźniki fitoindykacyjne: (a) wskaźnik nasłonecznienia  $L$ , który wskazuje na zakres względnej siły oświetlenia dna lasu; (b) wskaźnik kontynentalizmu  $K$ , który określa odporność gatunków w stosunku do częstości i długości pojawiania się okresów posusznych w sezonie wegetacyjnym, jak też długość okresu przedprzymrozkowego; (c) wskaźnik wilgotności  $F$ , który wyraża ekologiczną reakcję gatunków w stosunku do wilgotności podłoża w okresie wegetacyjnym; (d) wskaźnik odczynu (reakcji)  $R$ , który wyraża biologicznie odczuwalną przez rośliny kwasowość podłoża; (e) wskaźnik azotu  $N$ , który wyraża ekologiczną reakcję gatunków na zawartość azotu w glebie. Charakterystyki fitoindykacyjne gatunków należy określać według tablic zawartych w opracowaniu ELLENBERGA (1979). Szczegółowy zakres opracowania fitoindykacyjny może być bardzo zmienny. Najczęściej dla każdego zdjęcia fitosocjologicznego oblicza się:

a) średnią wartość wskaźnika na podstawie liczby gatunków o określonych wymaganiach;

b) średnią ważoną, uwzględniającą ilościowości poszczególnych gatunków;

c) udział procentowy liczby gatunków z poszczególnych klas wymagań;

d) udział procentowy pokrywania przez gatunki z poszczególnych klas wymagań;

Przy ujęciach dynamicznych duże znaczenie mają niektóre wskaźniki pochodne, w tym wartość  $R/N$ , pozwalająca (przy porównaniu z innymi wskaźnikami) określić względny dopływ substancji zakwaszających i azotu z atmosfery.

Na analizę wewnętrznej struktury runa składa się m.in. określenie:

a) struktury fitosocjologicznej — z wykorzystaniem wykazu gatunków charakterystycznych W. MATUSZKIEWICZA (1981);

b) typu hemerobii — z wykorzystaniem danych zawartych w opracowaniu FRANKA i KLOTZA (1988);

c) dominującego typu strategii rozwoju — z wykorzystaniem danych zawartych w opracowaniu FRANKA i KLOTZA (1988);

d) spektrum form życiowych Raunkiaera — z wykorzystaniem danych zawartych w opracowaniu ELLENBERGA (1979);

e) typów trwałości liści — jw.;

f) typów struktury anatomicznej — jw.

Analiza występowania gatunków w kwadratach o powierzchni  $1 \text{ m}^2$  może iść w wielu różnych kierunkach. Do najważniejszych z nich należy między innymi:

a) określenie różnic w typie rozmieszczenia gatunków (tzn. rozmieszczenie skupiskowe, losowe, równomierne), zmiany typu rozmieszczenia i przyczyny tych zmian;

b) określenie zasięgów geograficznych i zmian zasięgów poszczególnych gatunków, ważnych dla określonych typów lasu;

c) ocena stabilności populacji wybranych gatunków, ich ekspansywności lub zanikania, związki tych zjawisk z czynnikami wewnętrznymi lasu (stopień dorastania) i z czynnikami geograficznymi (zmiany klimatu i zanieczyszczenia);

d) występowanie gatunków rzadkich, chronionych i zagrożonych.

Analiza przestrzennego rozmieszczenia agregacji gatunków dominujących służy przede wszystkim ocenie heterogeniczności runa. Miarami heterogeniczności runa są między innymi:

(a) liczba typów agregacji na jednostkę powierzchni;

(b) wskaźnik różnorodności powierzchniowej  $H(P)$ , obliczany według wzoru:  $H(P) = -\sum p_i \log_2 p_i$ , gdzie  $p_i$  oznacza udział powierzchniowy (wyrażony ułamkiem dziesiętnym)  $i$ -tego typu agregacji;

(c) wskaźnik maksymalnej różnorodności powierzchniowej  $H_{\max}(P)$ , obliczany według wzoru  $H(P) = \log_2 n$ , gdzie  $n$  oznacza liczbę typów agregacji;

(d) wskaźniki równomierności, postaci  $H/H_{\max}$ .

Dane z przestrzennego rozmieszczenia agregacji gatunków dominujących mogą służyć również do wyboru miejsc zbioru prób biomasy w przypadku wprowadzenia tego bloku tematycznego do programu monitoringu. Uwzględniając powierzchniowy udział poszczególnych typów agregacji można także określać średnią ważoną biomasę runa na jednostkę powierzchni.

Ocena ilościowa (powierzchniowa) występowania porostów umożliwia między innymi opracowanie modelu korelacyjnego, wiążącego wiek drzewostanu, obfitość porostów i poziom zanieczyszczeń. Potrzebne są przy tym dodatkowe dane, pochodzące z innych segmentów monitoringu leśnego.

Ocena odnowienia naturalnego drzewostanu będzie zmierzała do określenia zdolności drzewostanów do regeneracji w różnych częściach kraju, przy różnym poziomie i rodzaju zewnętrznych oddziaływań środowiskowych. Umożliwi określenie stopnia przeżywalności odnowień naturalnych w kolejnych fazach wiekowych w zależności od parametrów drzewostanu, siedliska oraz poziomu antropopresji.

Jednym z najważniejszych kierunków łącznej interpretacji wszystkich danych zebranych w poszczególnych segmentach monitoringu lasu jest próba stworzenia całościowych modeli, początkowo korelacyjnych, następnie przyczynowo-skutkowych, wiążących różnorodność gatunkową, strukturę runa, położenie geograficzne, cechy gleby i cechy drzewostanu.

Poza możliwościami wspomnianymi wyżej wszechstronność zebranych danych umożliwia prowadzenie analiz w bardzo wielu innych kierunkach, zależnych od zapotrzebowań praktycznych i celów badawczych.

## 9. UWAGI KOŃCOWE

Proponowana poniżej metodyka monitoringu szaty roślinnej zbiorowisk leśnych pozwala na analizę aktualnego stanu szaty roślinnej i rejestrację zmian w czasie z uwzględnieniem oceny zdolności ekosystemów leśnych do naturalnego odnowienia. Stanowi ona uzupełnienie wcześniej wprowadzonych elementów całościowego programu monitoringu lasu. Jej realizacja pozwoli na pełniejsze rozeznanie zmian zachodzących w lasach oraz umożliwi głębszą ocenę związków przyczynowo-skutkowych pomiędzy czynnikami środowiska a ekosystemem lasu.

Prezentowany zakres monitoringu szaty roślinnej tworzy zwarty, przemyślany kompleks powiązanych ze sobą zagadnień. W przyszłości należy między innymi rozszerzyć zakres monitoringu lasu o bloki zagadnień dotyczących: (a) analizy mykologicznej; (b) biomasy runa; (c) bilansu produkcji-dekompozycji biomasy; oraz (d) składu chemicznego wybranych gatunków roślin, akumulacji wybranych pierwiastków w roślinach i elementów krążenia pierwiastków.

Zaproponowany sposób zbierania materiału i struktura informacji końcowej umożliwia wykorzystanie danych: (a) przy podejmowaniu decyzji praktycznych; (b) w pracach teoretyczno-naukowych.

W szczególności otrzymane wyniki będą przydatne dla:

- a) oceny stanu obecnego i prognozy stanu przyszłego elementów szaty roślinnej;
- b) określenia skuteczności zabiegów hodowlanych oraz planowania nowych zabiegów, dotyczących w szczególności podniesienia stanu sanitarnego lasu, możliwości stosowania odnowienia naturalnego, stopnia zachowania różnorodności biologicznej;
- c) określania skutków przeszłego, obecnego i przyszłego gospodarczego wykorzystywania zasobów przyrody oraz wariantowego modelowania tych skutków;
- d) dostarczania danych dla formułowania polityki środowiskowej państwa;
- e) głębszego poznania mechanizmów funkcjonowania przyrody żywej i powiązania jej z innymi komponentami środowiska.

Przy tworzeniu zasad monitoringu runa i odnowienia naturalnego starano się uwzględnić metody zalecane przez organizacje międzynarodowe lub stosowane w innych krajach w ramach monitoringu lasu. Wielkość powierzchni i sposób opisu składu gatunkowego i dynamiki runa koresponduje z zaleceniami ICP Forests (Assessment of Ground Vegetation 1994). Opis i dokumentację porostów wzorowano na opracowaniu FS USDA (STOLTE i in. 1993). Zakres dokumentacji polowej jest częściowo wzorowany na programie Forest Health Monitoring (TALLENT-HALSELL [ed.] 1994). Zakres i przebieg ewentualnych analiz chemicznych powinien być zgodny z procedurami używanymi przez kraje europejskie w Europejskim Programie Monitoringowym (Guidelines for Integrated Monitoring 1988).

Praca została przyjęta przez Komitet Redakcyjny 20 lutego 1999 roku.

## MONITORING OF FOREST GROUND VEGETATION AND NATURAL REGENERATION IN THE FOREST MONITORING SYSTEM

### Summary

The paper presents the approach to the ground vegetation monitoring as a part of forest monitoring system. In particular this kind of monitoring is focused on:

- a) the determination of spatial heterogeneity of the forest floor within the chosen forest type;

b) the determination and evaluation of temporal variation in the floristic composition of the ground vegetation during the successional development of forest communities as well as caused by natural and anthropogenic habitat changes;

c) the determination of the level of floristic diversity as well as determination of changes in floristic diversity for different geographical regions and forest types;

An observation plot for ground cover monitoring is a part of Second Order Permanent Observation Plot, network of which was established for Forest Monitoring System. The basic observation plot covers 800 sq m, and is divided into 8 squares 10 by 10 m (Fig. 1).

The scope of ground vegetation monitoring covers the following segments:

a) Floristic and phytosociological characterization of the plot on the basis of phytosociological record (including mosses and lichens). This description is conducted every four years for the area of 400 sq m. In addition, every 12 years a full floristic description for the whole of Second Order Permanent Observation Plot is conducted together with the collecting of plant specimens for herbarium.

b) Quantitative evaluation of lichen presence on the tree bark. For this purpose three trees of dominating species are chosen and one of each subdominating ones. The evaluation is conducted every 4 years on the permanently marked bark fragments (20 cm horizontally, 30 cm vertically). The per cent of the area occupied by lichens is measured, the dominant lichen species is determined and the number of lichen species is counted.

c) Analysis of herb layer horizontal heterogeneity, conducted every 4 years on the area of 100 sq. m. (Fig. 1, square 1). This subplot should be divided into 25 basic surfaces, 4 sq. m. each. For all of them the full list of species is prepared, according to phytosociological methodology (but without trees). In addition, a plan of the subplot is drawn. On the plan the dominant ecological forms of vegetation are marked according to the following codes: A — lack of plants (bare ground or litter covers more than 95 % of the basic surface); B — mosses; C — lichens; D — grasses and graminoids; E — herbaceous dicotyledones; F — dwarfshrubs; G — tree seedlings.

d) Evaluation of the natural regeneration (regrowth) of trees, which is conducted every 4 years on four 100 sq. m. subplots (Fig. 1, squares 2, 3, 5, 8). This evaluation includes: (i) classification of natural regeneration, (ii) counting the number of growing seedlings and young trees, (iii) determination of age and vitality of young trees.

Data for more than 140 plots spread all over Poland collected every 4 years should allow to perform different kinds of spatial and temporal analyses, e.g.:

1) comparison between data collection in successive period, and forecasting the future development of forests;

2) comparison of average herb layer characteristics from point of view of forest regions, dominant tree species, age classes and habitat types;

3) verification of syntaxonomic position of a given forest stand;

4) determination of diversity indices, phytoindicative indices as well as of changes in horizontal structure of the herb layer;

5) evaluation of population stability for chosen species in comparison with the tree stand dynamics;

6) evaluation of tree stand ability to regenerate in a natural way, as well as the modeling of different kind of human impact (direct and indirect).

## LITERATURA

- Assessment of Ground Vegetation. 1994. ICP Forests Programme Coordinating Centre West, s. 10.
- BERNADZKI E. 1967. Badania nad wyborem rębni w drzewostanach jodłowych w Górach Świętokrzyskich, Pr. Inst. Bad. Leśn., 328-331; 101-106.
- DE VRIES W., POSH M., KAMARI J. 1989. Simulation of the long-term soil response to acid deposition in various buffer ranges. *Water, Air Soil Poll.*, 48: 349-390.
- ELLENBERG H. 1979. Zeigerwerte der Gefasspflanzen Mitteleuropas. *Scr. Geobot.*, 9: 5-982.
- FRANK D., KLOTZ S. 1988. Biologisch-Ökologische Daten zur Flora der DDR. Halle, 1-103.
- Guidelines for Integrated Monitoring in the Nordic Countries. 1988. Steering Body for Environmental Monitoring, Nordic Council of Ministers, Geteborg, s. 61.
- KONDRACKI J. 1977. Regiony fizycznogeograficzne Polski. Wydawnictwa UW, Warszawa.
- MATUSZKIEWICZ J. M. 1993. Krajobrazy roślinne i regiony geobotaniczne Polski. Pr. Geogr. Inst. Geogr. Przestrz. Zagosp., 158-180.
- MATUSZKIEWICZ W. 1981. Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski, PWN Warszawa.
- Krajowa polityka leśna. 1997. Ministerstwo Ochrony Środowiska Zasobów Naturalnych i Leśnictwa. Warszawa.
- Ochrona Środowiska. 1997. Główny Urząd Statystyczny. Warszawa
- REUSS J.O. 1983. Implication of the Ca-Al exchange system for the effect of acid precipitation on soils. *J. Environ. Qual.*, 12: 591-595.
- SHANNON C.E., WEAVER W. 1949. The mathematical theory of communication. Univ. of Illinois Press, Urbana, s. 117.
- SIMPSON E.H. 1949. Measurement of diversity. *Nature*, 163: 688-720.
- STOLTE K., MANGIS D., DOTY R., TONNESSEN K. 1993. Lichens as bioindicators of air quality. Gen. Tech. Rep. Fort Collins, Co USA, RM-224: 1-131.
- SZAFER W., ZARZYCKI K. (red.) 1972. Szata roślinna Polski. T. I. PWN, Warszawa.
- TALLENT-HALSELL N.G. (ed.) 1994. Forest Health Monitoring 1994. Field Methods Guide. EPA/620/r-94/027. US EPA, Washington, D.C.
- TRAMPLER T., KLICZKOWSKA A., DMYTERKO E., SIERPIŃSKA A. 1990. Regionalizacja przyrodniczo-leśna na podstawach ekologiczno-fizjograficznych, PWRiL Warszawa.
- WAWRZONIAK J., MAŁACHOWSKA J., WÓJCIK J., LIWIŃSKA A., LECH P., SIEROTA Z., ZAŁĘSKI A. 1997. Stan uszkodzenia lasów w Polsce w 1996 roku na podstawie badań monitoringowych. Biblioteka Monitoringu Środowiska, PIOŚ, Warszawa.