

Paweł LECH

Instytut Badawczy Leśnictwa  
Zakład Fitopatologii Leśnej  
00-973 Warszawa, ul. Bitwy Warszawskiej 1920 R. nr 3  
e-mail: P.Lech@ibles.waw.pl

## WYBÓR WSKAŹNIKÓW STANU ZDROWOTNEGO DRZEW MOŻLIWYCH DO ZASTOSOWANIA W MONITORINGU BIOLOGICZNYM LASÓW NA PRZYKŁADZIE WYBRANYCH DRZEWOSTANÓW ŚWIERKOWYCH Z NADLEŚNICTWA SZKLARSKA PORĘBA

SELECTION OF TREE HEALTH STATE INDEXES APPLICABLE  
IN THE BIOLOGICAL FOREST MONITORING BASED ON STUDIES  
PERFORMED IN THE CHOSEN SPRUCE STANDS  
IN THE SZKLARSKA PORĘBA DISTRICT

**Abstract.** *In three 60-70-year-old Spruce stands in the Szklarska Poręba Forest Division following measurements were done of over 100 Spruce trees (*Picea abies* (L.) Karst.): electrical resistance of cambial tissue, chosen biometrics features of needles and shoots, annual radial diameter increment. The visual assessment of defoliation degree was also done. Based on that measurements 17 indexes of tree health state were calculated. Then, the hypothesis about their equal likelihood diagnostic usefulness for tree health state evaluation was tested. The statistical analysis rejected the hypothesis. The visual estimation of crown defoliation length of the shoot last-year increment and electrical resistance of cambial tissues while some indexes of assimilative organs biometric features — greatest.*

**Key words:** *forest biological monitoring, health assessment, indexes of biometric feature.*

# 1. WPROWADZENIE

Monitoring lasu jest podstawowym źródłem wiedzy o aktualnym o stanie lasów. Od połowy lat 80. dostarcza informacji w oparciu o zunifikowaną dla całej Europy metodykę, w jednolitym porządku przestrzennym i chronologicznym. Jednak rezultaty otrzymywane w jego ramach nie poddają się jednoznacznej interpretacji. Dotyczy to zwłaszcza związku pomiędzy stanem koron drzew a warunkami środowiska, czy przyczynami występowania uszkodzeń a symptomami chorobowymi. Wynika stąd potrzeba przeanalizowania użyteczności (wiarygodności\*) stosowanych obecnie w badaniach monitoringowych metod i kryteriów oceny stanu zdrowotnego lasu oraz rozważenia możliwości ich modyfikacji, lub zastąpienia innymi.

Badania realizowano w ramach tematu nr BLP 429 na zlecenie Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych.

## 2. WSKAŹNIKI STANU ZDROWOTNEGO LASU STOSOWANE W EUROPIE W MONITORINGU BIOLOGICZNYM NA POWIERZCHNIACH I RZĘDU

Wizualnie oszacowany stopień defoliacji korony drzewa oraz stopień przebarwienia liści są praktycznie jedynymi parametrami, na podstawie których dokonywana jest ocena stanu zdrowotnego drzewostanów w wykonywanym na powierzchniach obserwacyjnych I rzędu, europejskim monitoringu biologicznym (Manual on Methodologies 1986; Forest Condition in Europe 1998). Każde z 20 drzew zlokalizowanych na powierzchni oceniane jest w odniesieniu do tzw. drzewa "referencyjnego", w założeniu cechującego się pełnym ulistnieniem i brakiem przebarwienia. Również fotografie zdrowych drzew reprezentatywnych dla danego regionu mogą być wykorzystywane jako pomoc, zwłaszcza w przypadku, kiedy nie można wskazać drzewa referencyjnego w otoczeniu powierzchni. Wyniki szacowania defoliacji drzew i przebarwienia liści rejestrowane są w 5 lub 10% stopniach. Powszechnie uznaje się, że defoliacja powyżej 25% oznacza uszkodzenie i traktowana jest jako symptom obniżonej zdrowotności drzewa. Średnią defoliację i przebarwienie liści drzew z danej powierzchni określa się jako średnią z szacunków wszystkich drzew. Stan zdrowotny całego drzewostanu waloryzuje się przyjmując, że jest on syntezą obydwu ocen (defoliacji koron i przebarwienia liści) i wyraża w postaci klas uszkodzenia.

Wyniki wielu badań zdają się wskazywać, że defoliacja jest użytecznym wskaźnikiem stanu drzewa. Stwierdzano pozytywną zależność pomiędzy defo-

---

\* termin "wiarygodność" oznacza tu pewność, rzetelność, w takim znaczeniu wykorzystywany jest w dalszych częściach artykułu

liacją a redukcją przyrostu miąższości (SODERBERG 1991, WILMOT i in. 1995), zaś negatywną pomiędzy defoliacją a zawartością w liściach chlorofilu lub związków odżywczych (STACHURSKI i in. 1994). Zależności te wskazują, że z występowaniem defoliacji związane jest ograniczenie intensywności takich podstawowych procesów życiowych roślin, jak fotosynteza, pobieranie związków mineralnych, czy aktywny transport asymilatów. Zakłócenia w przebiegu tych procesów odzwierciedlane są następnie w redukcji przyrostu biomasy, stanowią również czynnik predyspozycyjny obniżający naturalną odporność roślin na oddziaływanie biotycznych i abiotycznych stresorów.

### 3. WIARYGODNOŚĆ WYNIKÓW BADAŃ MONITORINGOWYCH

Przyjęcie stopnia defoliacji i odbarwienia liści jako podstawowego kryterium oceny zdrowotności lasów w większości programów monitoringowych prowadzonych w Europie wzbudzało i wzbudza zastrzeżenia. Wyróżnić można dwa zasadnicze nurty tej krytyki: pierwszy — kwestionujący zasadność przyjętej reguły: “im większa defoliacja korony pojedynczych drzew, tym gorszy stan zdrowotny bądź uszkodzenie drzewostanu” oraz drugi — podnoszący problem dokładności i miarodajności sposobu określania wielkości defoliacji, a co za tym idzie, wiarygodności określanych na jej podstawie ocen stanu zdrowotnego.

Kwestionowano, na podstawie analizy dostępnych materiałów historycznych (SCHWEINGRUBER 1989, KANDLER 1992), adekwatność stopnia defoliacji jako miernika zdrowotności drzew. Wskazano m.in. drzewa cechujące się obecnie zadowalającą kondycją i żywotnością, których korony na fotografiach z początków bieżącego stulecia, zaklasyfikowano by wedle współcześnie stosowanych kryteriów jako silnie uszkodzone. Wykazywano również (MAYER i in. 1980, MUELLER-DOMBOIS 1987), że naturalnym elementem struktury przestrzennej lasów pierwotnych są obszary, na których drzewostan znajduje się w fazie rozpadu (zamierania), będącego efektem procesu lasotwórczego, przejawiającego się sukcesją pokoleniową lub gatunkową. Jednakże w przeciwieństwie do lasów gospodarczych, w których zjawiska tego typu rejestrowane są na wielkich arealach, obszary te cechują się małą powierzchnią jednostkową i rozproszeniem w obrębie kompleksu leśnego. Sprawia to, że szybko następuje ponowna integracja ekosystemu leśnego i stwarza wrażenie wewnętrznej harmonii całego systemu oraz płynności zachodzących przemian. Natomiast w wymiarze ekosystemowym oznacza, że zamieranie pojedynczych drzew, czy ustępowanie jakiegoś gatunku nie jest przejawem totalnej destrukcji i zagłady, ale raczej dynamizmu i siły trendów adaptacyjnych (MUELLER-DOMBOIS i in. 1983).

Wiele kontrowersji wzbudza także sposób określania rozmiarów defoliacji, który zgodnie z metodyką ICP–Forest (International Co-operative Programme

on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests), jest szacunkowy i całkowicie subiektywny. Badania porównawcze wykazały, że określona w ten sposób defoliacja nie odzwierciedlała stanu drzew, wyrażonego za pomocą parametrów biometrycznych aparatu asymilacyjnego (SIEROTA 1991), czy wskaźników oporności elektrycznej tkanek przykambialnych (RYKOWSKI i in. 1990). Przyczyn małej dokładności ocen wielkości defoliacji upatrywano w zmienności warunków oświetlenia, nieprecyzyjności kryteriów oceny, zróżnicowaniu poziomu doświadczenia i przeszkolenia obserwatorów, jak i ich skłonności do zawyżania lub zaniżania szacunków (LICK, KRAPPENBAUER 1986, SKELLY 1992, INNES i in. 1993, GHOSH i in. 1995).

Wszystkie wymienione powyżej zastrzeżenia poddają w wątpliwość miarodajność wskaźnika defoliacji określanej wg metodyki ICP–Forest jako kryterium oceny stanu zdrowotnego pojedynczego drzewa, czy tym bardziej drzewostanu. Przypuszczenie to zdają się potwierdzać wyniki eksperymentów INNES'A (1988) oraz analiz LECHA (1995). Wykazały one, że występują statystycznie istotne różnice pomiędzy ocenami szacowania defoliacji tych samych drzew wykonanymi w tym samym czasie przez różne zespoły taksatorów o zbliżonym poziomie doświadczenia. Stwierdzono również istnienie statystycznie istotnych rozbieżności pomiędzy wskaźnikami defoliacji lasów zagregowanymi dla rdLP, czy nawet grup rdLP, określonymi w ramach dwu niezależnie prowadzonych programów oceny stanu lasów: monitoringu biologicznego i wielkopowierzchniowej inwentaryzacji zdrowotnego stanu lasu w 1991 roku.

#### 4. CELE I ZAKRES BADAŃ

Sformułowano następujące cele badań:

1) Weryfikacja przydatności wskaźnika defoliacji do oceny stanu zdrowotnego świerków;

2) Wyróżnienie spośród wybranych wskaźników stanu zdrowotnego drzew, stosowanych bądź możliwych do zastosowania w monitoringu biologicznym, wskaźników o największej wiarygodności i użyteczności diagnostycznej, jako kryteria stanu zdrowotnego świerków.

Realizacji celów badań służyło wykonanie ocen i pomiarów następujących cech biometrycznych drzew:

- defoliacji koron drzew;
- oporu elektrycznego tkanek przykambialnych;
- wybranych biometrycznych cech aparatu asymilacyjnego;
- wybranych parametrów dendrometrycznych.

## 5. CHARAKTERYSTYKA POWIERZCHNI BADAWCZYCH

Badania przeprowadzono na terenie Karkonoszy (Nadleśnictwo Szklarska Poręba). Region ten charakteryzuje się ekstremalnie trudnymi warunkami ekologicznymi, wyrażającymi się surowym klimatem z silnymi wiatrami, niskimi temperaturami i krótkim sezonem wegetacyjnym, wysokim poziomem zanieczyszczeń powietrza, ubogimi i płytkimi glebami o wysokiej kwasowości (JADCZYK 1994). Drzewostany występujące na tym terenie cechują się dominującym udziałem świerka w składzie gatunkowym, niedostosowaniem do lokalnych warunków, często nieznane jest także pochodzenie nasion z których powstały (WILCZKIEWICZ 1982).

Pomiary wykonano na trzech powierzchniach doświadczalnych, zlokalizowanych w litych świerczynach w wieku 60–70 lat, położonych na wysokościach 650 (pow. 328), 850 (pow. 84) i 950 m n.p.m. (pow. 86) na siedliskach LMG (pow. 328) i BG (pow. 84 i 86), cechujących się odpowiednio północno-wschodnią, południowo-zachodnią i południową wystawą (tab. 1). Pochodzenie tych drzewostanów było nieznane, cechowały się one zróżnicowaniem pod względem zwarcia, przeciętnej pierśnicy, wysokości i defoliacji drzew. W trakcie wykonywania prac terenowych (1992–1994) nie obserwowano istotnych zmian tych parametrów. Łącznie na trzech powierzchniach pomiarami i obserwacjami objęto, w zależności od parametru od 97 do 110 drzew.

Tabela 1

Table 1

### Charakterystyka powierzchni badawczych

Characteristic of investigated plots

Cecha Feature		Powierzchnia		Plot
		328	84	86
Wysokość npm (m)	Altitude (m)	650	850	950
Wystawa	Aspect	N-E	S-W	S
Spadek terenu (%)	Slope (%)	5-10	0-5	0-5
Typ siedliskowy lasu	Site type	LMG	BG	BG
Wiek drzew (lata)	Tree age (year)	60-70	60-70	60-70
Zwarcie drzewostanu	Stand density	pełne fully-stocked	rozluźnione loosening	umiarkowane moderate
Zakres defoliacji (%)	Defoliation range (%)	20-75	10-65	25-85
Zakres pierśnic (cm)	DBH range (cm)	16,0-42,5	13,25-27,5	15,25-29,5
Zakres wysokości drzew (m)	Tree height range (m)	18,2-27,1	13,0-21,4	12,6-16,8
Liczba drzew próbných	Number of sample trees	39	37	34

## 6. METODY

### 6.1. Założenia i hipoteza

Podstawą sformułowania hipotezy badawczej było przyjęcie teorii organizmalnej VON BERTALANFFY'IEGO (1960), pokrewnej zasadzie korelacji Hipokratesa i wywodzonego z nich allometrycznego modelu wzrostu (VON BERTALANFFY 1957). W odniesieniu do niniejszej pracy oznaczało to stwierdzenie, że roślinę (np. drzewo), jako zintegrowany organizm, cechuje współzależność przebiegających w niej procesów życiowych. Przejawia się to skorelowaniem obserwowanych i mierzalnych wskaźników odzwierciedlających przebieg tych procesów, a także wynikających z nich cech strukturalnych i morfologicznych. Zintegrowanie to jest charakterystyczne zarówno dla organizmów zdrowych jak i chorych — nie można bowiem zakładać, że patologiczny przebieg danego procesu nie rzutuje na inne procesy, bądź powoduje zmiany strukturalne i morfologiczne jedynie w miejscu (organie), w którym występuje.

W ocenach, których przedmiotem są złożone i nie poddające się mechanistycznemu wyjaśnieniu obiekty, takie jak organizmy żywe (w tym również drzewa), podstawową trudność stanowi dobór parametrów opisu. Z jednej strony opis ten powinien bowiem być pełny i wyczerpujący (uwzględniać wszystkie wskaźniki charakteryzujące przedmiot badań), z drugiej zaś być spójny, zwięzły i precyzyjny. W badaniach OOS (ocena oddziaływania na środowisko) dążenie do maksymalizacji kompleksowości opisu było przyczyną wystąpienia zjawiska określonego mianem "efektu Niobara". Złożone i rozbudowane (pod względem liczby kryteriów) studium środowiskowych skutków zagospodarowania rzeki Niobara zostało, właśnie ze względu na swe skomplikowanie, całkowicie zignorowane przez decydentów. Dlatego też w analizach OOS przyjmuje się, że przedmiot badania scharakteryzowany być powinien przez niewiele kryteriów (wskaźników), umożliwiających dokonanie jego istotnościowej oceny (CLARC 1986). Podkreślić również należy, że dobór kryteriów stanowi kluczowy punkt całego procesu oceniania, jest on *de facto* praoceną.

Przyjęte założenia pozwoliły sformułować następującą hipotezę: wiarygodność i użyteczność diagnostyczna parametrów biometrycznych, charakteryzujących najistotniejsze procesy bądź cechy drzewa, jest dla oceny stanu zdrowotnego taka sama.

Poprawność tak postawionej hipotezy powinna znaleźć wyraz w występowaniu, dla dowolnie wybranego drzewa, statystycznie istotnych związków korelacyjnych pomiędzy wskaźnikami opisującymi wybrane parametry biometryczne, które to związki cechować się powinny ponadto określonym charakterem. Oznacza to, że mała liczba związków korelacyjnych danego wskaźnika z innymi, jak i brak zgodności określonego empirycznie charakteru (znaku) tych zależności z charakterem przyjętym *a priori* świadczyć będą o jego niskiej użyteczności

diagnostycznej. Częstość występowania statystycznie istotnych związków korelacyjnych danego wskaźnika z innymi oraz zgodność charakteru tych związków z oczekiwaniami pozwalają zatem na weryfikację przydatności wskaźników do oceny stanu zdrowotnego drzew. Można również przyjąć, że możliwe będzie określenie względnej miarodajności poszczególnych wskaźników, tzn. ustalenie, że wskaźnik X charakteryzuje się większą użytecznością diagnostyczną niż wskaźnik Y, który z kolei cechuje się większą użytecznością diagnostyczną niż wskaźnik Z, itd.

## 6.2. Kryteria oceny stanu drzew

Wykonano pomiary następujących cech biometrycznych drzew: długości pędów dwu ostatnich roczników, suchej masy igieł, pierśnicy, wysokości, rocznych promieniowych przyrostów grubości na wysokości 1,3 m, oporu elektrycznego tkanek przykambialnych, defoliacji. Wyniki tych pomiarów stanowiły materiał, na podstawie którego określono 17 wskaźników stanu zdrowotnego. Były to:

- opór elektryczny tkanek przykambialnych (Imp);
- defoliacja korony (Def);

wskaźniki dendrometryczne:

- pierśnica drzewa (d1,3);
- wysokość drzewa (H);
- średni roczny przyrost promieniowy z okresów 1981–85 i 1988–92 (Prz85, Prz92);

wskaźniki dynamiki przyrostowej (zmian tempa przyrostu promieniowego w czasie):

- stabilności przyrostu (Stab = Prz92/Prz65),
- załamania przyrostu na początku lat 80. (Dec = Prz85/Prz65)
- regeneracji przyrostu po okresie załamania (Reg = Prz92/Prz85);

wskaźniki cech aparatu asymilacyjnego:

- średniej długości pędów z dwu ostatnich roczników (L91, L92);
- średniej suchej masy jednej igły z roczników 1991 i 1992 (M1\_91, M1\_92);
- średniej suchej masy igieł na 1 cm pędu dwu ostatnich roczników (M/cm91, M/cm92);
- średniej suchej masy igieł na pędzie rocznika 1991 i 1992 (M/pęd91, M/pęd92).

Wyboru tych charakterystyk dokonano dlatego, że wprost, bądź pośrednio odzwierciedlają one najważniejsze procesy i stany żywego drzewa: fotosyntezę, transpirację, uwodnienie i stopień odżywienia mineralnego tkanek przykambialnych, uszkodzenie aparatu asymilacyjnego. Istotne znaczenie odgrywała również możliwość zastosowania wskaźnika w praktyce monitoringu biologicznego lasów.





### 6.3. Metodyka pomiarów

#### POMIARY OPORU ELEKTRYCZNEGO

Pomiary oporu elektrycznego tkanek przykambialnych dokonane zostały jesienią 1992 roku, łącznie w 4 seriach, w godzinach przedpołudniowych, w zbliżonych warunkach pogodowych. Drzewa nakłuwano do głębokości około 1 cm, w czterech miejscach na obwodzie pnia (N, E, S, W), na wysokości pierśnicy. Do pomiarów wykorzystano przyrząd: Condiometer AS-1 firmy Bollmann Electronic Systeme. Uzyskane wartości impedancji tkanek stanowiły następnie podstawę określenia dla każdego drzewa wartości średniej, parametru wykorzystywanego w dalszych obliczeniach i analizach statystycznych.

#### OCENA DEFOLIACJI KORON

Wszystkie drzewa objęte pomiarami poddano wizualnej ocenie stopnia defoliacji. Ocena ta wykonana została przez ekspertów (zgodnie z metodyką ICP—Forest) równocześnie z innymi pracami pomiarowymi (wrzesień—październik). Wielkość defoliacji określana była z dokładnością do 5%.

#### POMIARY CECH BIOMETRYCZNYCH APARATU ASYMILACYJNEGO

Próbki aparatu asymilacyjnego pozyskano w 1992 roku z podwierzchołkowej strefy koron drzew stojących. Starano się dobierać pędy zewnętrzne, położone po stronie południowej. Przed wykonaniem pomiarów próbki podlegały przygotowaniu polegającemu na wyborze z całej partii od 12 do 18 pędów (zwykle 15), opłukaniu ich w wodzie destylowanej, rozdzieleniu na 1-letnie i dwuletnie (roczniki 1992 i 1991), suszeniu w temperaturze 80°C (suszarka "Termaks" z wymuszonym obiegiem powietrza) i oddzieleniu igieł od pędów. Następnie mierzo no długość pędów (z dokładnością do 1 mm) oraz ważono wszystkie igły (z dokładnością do 1 mg). W celu obliczenia przeciętnej suchej masy 1 igły zważeniu (z dokładnością do 0,1 mg) poddano również 300 wybranych losowo igieł. Wartości te posłużyły do obliczenia wskaźników biometrycznych aparatu asymilacyjnego.

#### POMIARY PIERŚNICY, WYSOKOŚCI ORAZ PROMIENIOWEGO PRZYROSTU GRUBOŚCI DRZEW

Pierśnica każdego drzewa została zmierzona średnicomierzem o dokładności 0,5 cm na dwu prostopadłych do siebie kierunkach (do analiz wykorzystano średnią z obydwu pomiarów). Wysokość drzew zmierzono z dokładnością do 0,5 m za pomocą klinometru "Suunto" i taśmy stalowej.

W celu określenia wielkości promieniowego przyrostu grubości w kolejnych latach, w 1993 roku z każdego drzewa na wysokości pierśnicy, pobrano świdrem Presslera po dwa wywierty. Szerokości słoików rocznych zmierzono stosując przyrząd pomiarowy "Digitalpositometer" o dokładności 0,01 mm. Przyrosty

określono dla lat 1993–1949 na powierzchni 328, 1993–1952 — na powierzchni 86 i 1993–1955 — na powierzchni 84. Następnie dla każdego drzewa obliczono średnie przyrosty dla kolejnych lat. Pozwoliło to na określenie wskaźników przyrostowych oraz wskaźników dynamiki przyrostowej drzew. Do ich obliczenia zastosowano zmodyfikowaną metodę Zawady (1983), polegającą na określeniu stosunku dziesięcioletniego przyrostu z okresu poprzedzającego pomiar do przyrostu z okresu referencyjnego (cechującego się niezakłóconym wzrostem). Po modyfikacji, wartości poszczególnych wskaźników dynamiki przyrostowej określano według następujących wzorów:

$$\text{Stab} = \text{Prz92/Prz65}, \text{ Dec} = \text{Prz85/Prz65}, \text{ Reg} = \text{Prz92/Prz85}$$

#### 6.4. Metody i procedura analiz statystycznych

Wstępny etap analiz statystycznych obejmował sprawdzenie zgodności rozkładów badanych zmiennych na każdej z trzech powierzchni z rozkładem normalnym. Wykorzystano do tego celu test Shapiro-Wilka (ZIELIŃSKI, ZIELIŃSKA 1990). Stwierdzono, że rozkłady dziesięciu zmiennych odbiegały w sposób statystycznie istotny od rozkładu normalnego przynajmniej na jednej powierzchni (wskaźniki Imp, Pn85, Prz 92, Stab, Dec, Reg, M1\_91, M1\_92, M/pęd91, M/pęd92). Wartości tych zmiennych poddane zostały transformacji według formuły Noxa-Coxa (BOX, COX 1964).

W celu określenia wiarygodności wizualnie oszacowanej defoliacji, a także selekcji wskaźników nie odpowiednich dla oceny stanu zdrowotnego drzew (najslabiej korelujących i o charakterze (znaku) związków korelacyjnych niezgodnym z oczekiwaniami), zastosowano analizę korelacji pomiędzy zmiennymi (wartościami wskaźników).

Wartości wskaźników nie odrzuconych jako niemiarodajne posłużyły następnie jako materiał dla analizy klasterowej, przy pomocy której pogrupowano drzewa z poszczególnych powierzchni. Grupowanie to miało wyróżnić drzewa o największym wzajemnym podobieństwie pod względem analizowanych cech, czyli dokonać wstępnej klasyfikacji drzew pod względem zdrowotności. Klasyfikacja ta posłużyła następnie jako podstawa przeprowadzenia jednoczynnikowej analizy wariancji, której celem było stwierdzenie, które zmienne i w jakim stopniu wpływają na różnicowanie się klasterów. W ten sposób dokonano podziału zmiennych na dwie kategorie:

- I — determinujące podział drzew na klaster (klasy zdrowotności),
- II — podziału tego nie odzwierciedlające.

Tym samym określono zmienne (wskaźniki) o największych zdolnościach indukcyjnych dla określania stanu zdrowotnego drzew. Następnie powtórzono analizę klasterową, tym razem w obliczeniach uwzględniając jedynie zmienne, które uprzednio wyselekcjonowane zostały jako najbardziej użyteczne diagnostycznie. Pozwoliło to dokonać ostatecznej klasyfikacji zdrowotnościowej drzew na

poszczególnych powierzchniach. Wyniki tej klasyfikacji zestawiono następnie z oceną defoliacji drzew. Umożliwiło to dokonanie porównania wyników obydwu grupowań i określenie ich zgodności.

## 7. WYNIKI

Pierwszym kryterium selekcji wskaźników stanu zdrowotnego drzew była zgodność charakteru związków korelacyjnych określonych na podstawie danych z pomiarów z charakterem tych związków przyjętym a priori. Znak zależności korelacyjnych pomiędzy analizowanymi wskaźnikami w większości przypadków odpowiadał oczekiwaniom. Większą liczbą korelacji o charakterze niezgodnym z założeniami cechowały się jedynie dwa wskaźniki: długość pędu rocznika 1992 (L92) oraz defoliacja korony drzewa (Def). Dla tych wskaźników stwierdzono brak zgodności znaku korelacji z oczekiwaniami odpowiednio dla 6 i 5 par wskaźników na powierzchni 86 oraz dla 7 i 1 pary na powierzchni 328. Inny niż zakładany znak zależności korelacyjnej pomiędzy wskaźnikami stwierdzano również w pojedynczych przypadkach dla następujących wskaźników: pierśnica (d1,3), długość pędu rocznika 1991 (L91), sucha masa jednej igły rocznika 1992 (M1\_92), sucha masa igieł na 1 cm pędu rocznika 1992 (M/cm92) oraz sucha masa igieł na pędzie rocznika 1992 (M/pęd92). Charakter związków korelacyjnych pozostałych wskaźników w 100% zgodny był z oczekiwaniami. Nie stwierdzono ponadto, by charakter jakiegokolwiek statystycznie istotnego związku korelacyjnego nie odpowiadał założeniom. Oznacza to, że stwierdzone niezgodności mogą być przypadkowe, co z kolei wskazuje, że kryterium to nie jest wystarczające do selekcji wskaźników nieprzydatnych do oceny stanu zdrowotnego drzew.

Drugim kryterium selekcji wskaźników o najniższej użyteczności dla oceny stanu zdrowotnego drzew była liczba statystycznie istotnych związków korelacyjnych pomiędzy wskaźnikami. Przyjęto, że granicą akceptowalności wskaźnika jest łączne spełnianie przezeń dwu następujących warunków:

- występowanie średnio na powierzchni 8<sup>\*</sup> statystycznie istotnych korelacji z dowolnymi innymi wskaźnikami (połowa wszystkich możliwych przypadków);
- tworzenie na każdej z powierzchni więcej niż 5,33<sup>\*\*</sup> statystycznie istotnych zależności z innymi wskaźnikami (więcej niż 1/3 możliwych przypadków).

\* Dla wskaźników Prz85, Dec, L92, L91, M/pęd92 i M/pęd91 liczba ta wynosi 7,50, zaś dla Reg – 7,00

\*\*Dla wskaźników Prz85, Dec, L92, L91, M/pęd92 i M/pęd91 liczba ta wynosi 5,00, zaś dla Reg – 4,67

**Tabela 3**  
Table 3

**Liczba statystycznie istotnych korelacji pomiędzy wskaźnikami**  
Number of significant correlation between indexes

Wskaźniki Indexes	Powierzchnia Plot			Średnia Mean	Wynik selekcji Result of selection
	84	86	328		
Imp	2	3	9	4,67	–
Def	0	3	3	2,00	–
D1,3	5	4	12	7,00	–
H	5	7	9	7,00	–
Prz85	5	4	12	7,00	–
Prz92	9	9	15	11,00	+
Stab	9	9	12	10,00	+
Reg	4	5	3	4,00	–
Dec	3	5	10	6,00	–
L92	4	2	1	2,33	–
L91	3	8	10	7,00	–
M1_92	7	8	11	8,67	+
M1_91	7	7	12	8,67	+
M/cm92	6	9	11	8,67	+
M/cm91	8	8	12	9,33	+
M/pęd92	6	6	8	6,67	–
M/pęd91	9	9	9	9,00	+

Spośród 17 analizowanych wskaźników następujące nie spełniały przynajmniej jednego z powyżej przedstawionych warunków (tab. 3):

- defoliacja korony drzewa (Def),
- średnia długość pędu rocznika 1992 (L92),
- wskaźnik regeneracji przyrostu (Reg),
- opór elektryczny tkanek przykambialnych (Imp),
- wskaźnik załamania przyrostu na początku lat 80. (Dec),
- pierśnica drzewa (d1,3),
- wysokość drzewa (H),
- średni roczny przyrost promieniowy z okresów 1981–85 (Prz85),
- średnia sucha masa igieł na pędzie rocznika 1992 (M/pęd92),
- średnia długość pędu rocznika 1991 (L91).

Wizualnie oceniona defoliacja korony drzewa, średnia długość pędu rocznika 1992, wskaźnik regeneracji przyrostu oraz opór elektryczny tkanek przykambialnych były wskaźnikami, dla których, przeciętna ze wszystkich powierzchni, liczba statystycznie istotnych związków korelacyjnych z innymi wskaźnikami była najmniejsza – wynosiła odpowiednio 2,00, 3,33, 4,00, 4,67. Z drugiej strony, wskaźnik przeciętnego rocznego przyrostu promieniowego grubości w latach 1988–1992 (Prz92) (średnio dla powierzchni 11 statystycznie istotnych korelacji z

innymi wskaźnikami), jak również wskaźnik stabilności przyrostu (Stab) (10 stat. istotnych korelacji) oraz średnia sucha masa igieł na pędzie rocznika 1991 (M/pęd91) (9 stat. istotnych korelacji) były wskaźnikami najliczniej korelującymi z innymi zmiennymi. Pozostałymi wskaźnikami spełniającymi obydwa warunki i nie wyeliminowanymi jako niemiarodajne były: średnia sucha masa 1 igły rocznika 1992 (M1\_92) i rocznika 1991 (M1\_91), średnia sucha masa igieł na 1 cm pędu rocznika 1992 (M/cm92) i rocznika 1991 (M/cm91) oraz średnia sucha masa igieł na pędzie rocznika 1992 (M/pęd92).

W kolejnej fazie, za pomocą analizy wariancji określono wskaźniki o największej użyteczności diagnostycznej jako kryteria oceny stanu zdrowotnego drzew (tab. 4). Spośród 7 uwzględnionych zmiennych 3 nie różnicowały świerków z klasterów (klas zdrowotności) i jako takie uznane zostały za niedostatecznie miarodajne kryteria waloryzowania stanu zdrowotnego. Były to wskaźniki: przeciętnego przyrostu promieniowego w okresie 1988–92 (Prz92), stabilności przyrostu promieniowego (Stab) oraz średniej suchej masy jednej igły rocznika 1992 (M1\_92). Pozostałe cztery wskaźniki determinowały podział drzew na

Tabela 4  
Table 4

#### Wskaźniki różnicujące klasy zdrowotności

Differentiate indexes of health classes

Wskaźniki Index	Powierzchnia Plot			Łącznie z 3 pow. Total (3 plots)	Selekcja Selection
	328	84	86		
Prz92	–	+/-	–	–	–
Stab	+/-	+/-	–	–	–
M1_92	+	+/-	+/-	–	–
M1_91	+	+/-	+	+	+
M/cm92	+	+	+/-	+	+
M/cm91	+	+	+	+	+
M/pęd91	+	+	+	+	+

– oznacza brak statystycznie istotnego zróżnicowania średnich pomiędzy klasterami  
denotes no significant differences of means between clusters

+/- oznacza występowanie stat. istotnego zróżnicowania średnich pomiędzy częścią klasterów (np. w przypadku kiedy stat. istotne różnice występowały pomiędzy średnią z jednego klasteru a średnimi z pozostałych 2 klasterów, pomiędzy którymi takie zróżnicowanie nie występowało)

denotes significant differences of means between part of clusters (when significant differences were found between mean from one cluster and means from 2 other clusters)

+ oznacza występowanie stat. istotnego zróżnicowania średnich pomiędzy wszystkimi klasterami  
denotes occurrence of significant differences between all clusters

Przyjęto, że wskaźnik nie różnicuje klasterów (znak selekcji “–”) jeżeli statystycznie istotne zróżnicowanie średnich wartości tego wskaźnika z klasterów występuje na mniej niż połowie powierzchni.

It was assumed that there was not any differentiation of clusters if significant differences of cluster mean values were found on less than half plots.

poszczególnych powierzchniach na klastery, przez co uznano je za najbardziej miarodajne kryteria waloryzowania stanu zdrowotnego świerków. Były to następujące wskaźniki cech biometrycznych aparatu asymilacyjnego:

- średnia sucha masa 1 igły rocznika 1991 (M1\_91),
- średnia sucha masa igieł na 1 centymetr pędu rocznika 1992 (M/cm92),
- średnia sucha masa igieł na 1 centymetr pędu rocznika 1991 (M/cm91),
- średnia sucha masa igieł na pędzie rocznika 1991 (M/pęd91).

Zestawienie wyników oceny stanu zdrowotnego drzew za pomocą wizualnie szacowanej defoliacji koron drzew i analizy klasterowej w oparciu o 4 wyselekcjonowane wskaźniki cech aparatu asymilacyjnego (tab. 5), wykazało, że pomiędzy obydwoma klasyfikacjami występują znaczne różnice. Na powierzchni 328 brak zgodności obydwu ocen stwierdzono co prawda tylko dla 5 drzew (na 27), co stanowi 18,5%, ale na powierzchni 84 już dla 19 drzew (na 35), co stanowi prawie 55% wszystkich ocenianych drzew i na powierzchni 86 — dla 29 drzew (na 34), z czego wynika, że na tej powierzchni rozbieżne oceny stanu zdrowotnego stanowiły aż 85%.

## 8. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przeprowadzone analizy statystyczne wykazały, że uwzględnione w badaniach wskaźniki cechowały się zróżnicowaną wiarygodnością i użytecznością diagnostyczną dla oceny stanu zdrowotnego drzew. Defoliacja korony drzewa, szacowana wizualnie według metodyki zalecanej przez ICP–Forest okazała się wskaźnikiem o najniższej wiarygodności. Odzwierciedlone to zostało najmniejszą liczbą statystycznie istotnych związków korelacyjnych z innymi wskaźnikami, jak i znaczną liczbą niezgodności z oczekiwaniami charakteru (znaku) tych zależności. Najwyższa użyteczność diagnostyczna czterech wskaźników cech biometrycznych aparatu asymilacyjnego (M1\_91, M/cm92, M/cm91, M/pęd91) zdaje się wskazywać, że niska wiarygodność wskaźnika defoliacji jest spowodowana raczej metodą jego określania, niż niską użytecznością symptomu jako takiego. Taka interpretacja odpowiada opinii innych autorów, którzy słabość wizualnie określanej defoliacji koron drzew upatrywali w szacunkowości i subiektywizmie sposobu jej określania (INNES 1988, GOSH i in. 1995, LECH 1995).

Wykazanie najwyższej wiarygodności i użyteczności diagnostycznej dla oceny stanu zdrowotnego świerków wskaźników charakteryzujących aparat asymilacyjny nie budzi kontrowersji. Liście stanowią podstawowy organ roślin, którego stan determinuje zdolność do samożywności i w istotnym stopniu wpływa na przebieg wszystkich procesów życiowych rośliny. Natomiast zastanawiające

Tabela 5

Table 5

## Zestawienie klasyfikacji drzew na podstawie oceny defoliacji i wyników analizy klasterowej

Tree classification based on the defoliation assessment and cluster analysis

Powierzchnia 84			Powierzchnia 86			Powierzchnia 328		
Drzewo	Def	CA	Drzewo	Def	CA	Drzewo	Def	CA
33	25	0	36	35	1	48	40	1
35	20	0	38	55	1	6	20	2
11	40	0	11	50	2	19	50	2
6	20	1	13	30	2	13	40	2
16	40	1	35	70	2	15	40	2
37	45	1	44	70	2	41	50	2
45	25	1	47	75	2	34	55	2
20	40	1	39	45	2	36	40	2
21	30	1	42	30	2	18	35	2
1	35	1	4	25	2	44	50	2
10	45	1	15	45	3	32	35	2
43	45	1	3	25	3	40	60	2
18	45	1	12	45	3	46	25	2
46	15	1	14	40	3	38	40	2
8	30	1	34	35	3	47	20	2
9	40	1	2	25	3	39	60	2
41	25	1	8	40	3	50	55	2
32	45	1	30	70	3	10	30	2
42	45	1	40	80	3	31	55	2
44	55	2	41	45	3	33	50	2
5	30	2	1	55	3	16	30	2
31	10	2	37	50	3	17	25	2
34	45	2	6	45	3	49	50	2
40	30	2	46	55	3	42	55	2
7	40	2	48	55	3	43	45	2
15	25	2	9	30	3	45	50	2
38	50	2	43	70	3	37	55	2
12	45	2	49	45	3			
39	20	2	5	40	3			
14	40	2	33	65	3			
19	30	2	10	45	3			
13	35	2	45	85	3			
17	30	2	31	60	3			
2	30	2	32	50	3			
36	15	2						


klasa zdrowotności 0 lub defoliacja  $\leq 10\%$  health class 0 or defoliation  $\leq 10\%$

klasa zdrowotności 1 lub defoliacja  $>10-25\%$  health class 1 or defoliation  $>10-25\%$

klasa zdrowotności 2 lub defoliacja  $>25-60\%$  health class 2 or defoliation  $>25-60\%$

klasa zdrowotności 3 lub defoliacja  $>60\%$  health class 3 or defoliation  $>60\%$

jest, dlaczego wskaźniki ostatniego rocznika igieł i pędów cechowały się mniejszą użytecznością diagnostyczną niż te same wskaźniki dla rocznika przedostatniego. Spośród 4 miarodajnych indykatorów stanu zdrowotnego trzy związane były z rocznikiem 1991 (przedostatnim), a tylko jeden z rocznikiem 1992 (ostatnim). Wśród wskaźników tej grupy za niewiarygodne uznano trzy określone dla rocznika 1992 i jeden dla rocznika 1991. Wy tłumaczenia tego faktu upatrywać można w zależności tempa wzrostu, zwłaszcza w początkowym okresie wegetacji, od stanu aparatu asymilacyjnego starszych roczników. Nowo powstające igliwie, wzrost tegorocznych pędów oraz przyrost grubości odbywa się, zwłaszcza w początkowym okresie, “kosztem” ubiegłorocznych zasobów oraz dzięki produktom fotosyntezy odbywającej się w starszych rocznikach igieł. Efekty fotosyntezy przebiegającej w rozwijającym się młodym igliwiu są “konsumowane” na miejscu i dopiero po zakończeniu wzrostu igieł i pędów następuje ich alokacja do innych części drzewa.

Użyteczność diagnostyczna uwzględnionych w badaniach wskaźników przyrostowych okazała się bardzo zróżnicowana. Dwa z nich: średnioroczny przyrost promieniowy w okresie pięciu lat poprzedzających pozyskanie wywiertów (Prz92) i wskaźnik stabilności przyrostu (Stab) należały do zmiennych cechujących się największą, przeciętną dla powierzchni, liczbą statystycznie istotnych korelacji z innymi zmiennymi — odpowiednio 11 i 10 (na 16 możliwych). Jako takie, w pierwszej fazie selekcji wskaźników uznane zostały za indykatory stanu zdrowotnego drzew o dużym znaczeniu diagnostycznym. Jednakże, jak wykazała analiza wariancji, obydwie te wskaźniki nie determinowały podziału drzew na klastery i ostatecznie zostały uznane jako niewiarygodne dla oceny stanu zdrowotnego. Pozostałe trzy wskaźniki przyrostowe zostały wyeliminowane już na pierwszym etapie selekcji. Wynik taki nie dziwi w odniesieniu do średniorocznego promieniowego przyrostu grubości w okresie 1981–85, czyli w okresie 12–7 lat przed pozyskaniem wywiertów. Natomiast bardzo mała liczba korelacji z innymi wskaźnikami (średnia z 3 powierzchni: 4,00) zaskakująca jest w przypadku wskaźnika regeneracji przyrostu (Reg). W założeniu miał on odzwierciedlać aktualną żywotność drzew, wyrażającą się zdolnością do regeneracji po okresie największego załamania przyrostu na początku lat 80. Być może wzrost rocznych przyrostów grubości, obserwowany od połowy lat 80. jest pochodną nie tyle indywidualnych zdolności regeneracyjnych i żywotności drzew, co reakcją na zmianę warunków środowiska — tzn. na redukcję natężenia bądź ustąpienie czynników stresowych i zmianę (poprawę) warunków świetlnych, spowodowaną przeredzeniem koron i rozluźnieniem zwarcia drzewostanów. Zmiana tych warunków środowiskowych dotyczyła przecież wszystkich świerków, bez względu na ich stan zdrowotny. Podsumowując uwagi o przydatności wskaźników przyrostowych zauważyć również należy, że jako wartości średnie z okresów pięcioletnich, nie odzwierciedlają one aktualnego stanu drzew (tzn. z momentu pozyskiwania wywiertów i dokonywania innych pomiarów i ocen), ale



pewien stan uśredniony. W najlepszym przypadku, dla średniego wskaźnika przyrostu z lat 1988–92 (Prz92), było to pięciolecie poprzedzające dokonanie pomiarów innych cech i parametrów drzew. W pozostałych przypadkach, ta “dezaktualizacja” była jeszcze większa. Czynnikiem ten mógł rzutować na osiągnięte wyniki analiz i sklasyfikowanie wskaźników przyrostowych jako mało użytecznych diagnostycznie i niewiarygodnych kryteriów oceny stanu zdrowotnego świerków.

Uzyskane wyniki upoważniają do sformułowania następujących wniosków:

1) Testowane w badaniach wskaźniki określone na podstawie pomiarów wybranych cech biometrycznych świerków charakteryzują się zróżnicowaną użytecznością diagnostyczną dla oceny stanu zdrowotnego. Zróżnicowanie to wydaje się być powodowane bardziej metodyką określania wskaźników (defoliacja, wskaźniki przyrostowe), aniżeli niską użytecznością symptomów (które te wskaźniki opisują) jako takich.

2) Największą użytecznością diagnostyczną dla oceny stanu zdrowotnego drzew charakteryzowały się następujące wskaźniki:

- średnia sucha masa 1 igły przedostatniego rocznika (1991).
- średnia sucha masa igieł na 1 centymetrze pędu ostatniego rocznika (1992).
- średnia sucha masa igieł na 1 centymetrze pędu przedostatniego rocznika (1991).
- średnia sucha masa igieł na pędzie ostatniego rocznika (1992).

Praca została złożona 6 maja 1999 r. przyjęta przez Komitet Redakcyjny 20 maja 1999 r.

## PIŚMIENNICTWO

- VON BERTALANFFY L., 1957: Quantitative laws for metabolism and growth. *Quart. Rev. Biol.*, 32/3: 217-231.
- VON BERTALANFFY L., 1960: *Problems of Life*. New York.
- BOX G. E. P., COX D. R. 1964: An Analysis of Transformations. *J. Royal Stst. Society*. B26: 211-243.
- CLARC W. C., 1986: The Cummulative Impaacts of Human Activities on the Atmosphere. *Proceedings of the Workshop on: Cummulative Environmental Effects: A Binational Perspective*. Canadian Environmental Assessment Resources Council and U.S. National Resources Council. Ottawa, Ontario.
- Forest Condition in Europe. Results of the 1997 crown condition survey. 1998 Technical Report. UN/ECE and EC, Geneva and Brussels, 1998.
- GHOSH S., INNES J. L., HOFFMANN C., 1995: Observer Variation as a Source of Error in Assessments of Crown Condition Through Time. *Forest Sci.*, 41/2: 235-254.
- INNES J. L., 1988: Forest health surveys: problems in assessing obsrver objectivity. *Can. J. For. Res.*, 18: 560-565.

- INNES J. L., LANDMANN G., METTENDORFF B., 1993: Consistency of observation of forest tree defoliation in three European countries. *Environ. Monitor. Assess.*, 25: 29-40.
- JADCZYK P., 1994: Przyczyny zniszczenia lasów w Górach Izerskich i Karkonoszach. I. Warunki środowiska i czynniki antropogeniczne. *Sylvan*, 12: 39-47.
- KANDLER O., 1992: Historical declines and diebacks of Central European forests and present conditions. *Environ. Toxicol. Chem.*, 11: 1077-1094.
- LECH P. 1995: Przydatność szacunkowej metody określania defoliacji drzew do badań stanu zdrowotnego lasu. *Sylvan*, 8: 99-109.
- LICK E., KRAPPENBAUER A., 1986: Terrestrische Waldzustandsinventuren und Probleme einer Objektivierung. *Centralbl. Gesamte. Forstwes.*, 103.
- Manual on Methodologies and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. 1986. Global Environment Monitoring System PCC, UNEP, UN-ECE.
- MAYER H., NEUMANN M., SOMMER H. G., 1980: Bestandesaufbau und Verjüngungsdynamik unter dem Einfluss natürlicher Wilddichten im kroatischen Urwaldreservat Corkova Uvala/Plitvicer Seen. *Schweiz. Z. Forstwes.*, 131: 45-70.
- MUELLER-DOMBOIS D., 1987: Natural Dieback in Forests. *BioScience*, 8: 575-583.
- MUELLER-DOMBOIS D., Canfield J.E., Holt R.A., Buelow G.P., 1983: Tree-group death in North American forests: a pathological problem or a new problem for vegetation ecology? *Phytocoe-nologia*, 11(1): 117-137.
- RYKOWSKI K., SIEROTA Z., LECH P., ŻÓŁCIAK A., ŁOZIŃSKA A., ZALEWSKA-GORZELSKA E., 1990: Stan fizjologiczny tkanek przykambialnych oraz igliwia jako wyraz predyspozycji chorobowej drzew w zależności od stopnia uszkodzenia drzewostanów pod wpływem emisji. IBL, Warszawa.
- SCHWEINGRUBER F.H., 1989: Lasst sich fehlends Datenmaterial zur Waldschadenssituation anhand von Postkarten ergänzen? *Allg. Forstz.*, 44: 266-268.
- SIEROTA Z., 1991: Biometryczne cechy aparatu asymilacyjnego jako pośrednie kryterium oceny kondycji życiowej sosny rosnącej w warunkach stresu. *Sylvan*, nr 4-6: 51-62.
- SKELLY J. M., 1992: A closer look at forest decline: A need for more accurate diagnostics. W: Manion P.D., Lachance D.: *Forest Decline Concepts*. American Phytopathological Society Press.
- SODERBERG U., 1991: The relation between increment and defoliation for Scots pine and Norway spruce in Sweden. W: *Proc. of the IUFRO & ICP-Forests Workshop on Monitoring Air Pollution Impact on Permanent Sample Plots, Data Processing and Results Interpretation*. Prachattice, 2-6.09.1991, 119-127.
- STACHURSKI A., ZIMKA J. R., KWIECIEŃ M., 1994: Forest decline in Karkonosze (Poland). I. Chlorophyll, phenols, defoliation index and nutrient status of the Norway spruce (*Picea abies* L.). *Ekol. Pol.*, 42, 3-4: 289-316.
- WILCZKIEWICZ M., 1982: Rys historyczny gospodarki w lasach sudeckich. *Sylvan*, 6: 49-54.
- WILMOT T. R., ELSWORTH D. S., TYREE M. T., 1995: Relationships among crown condition, growth and stand nutrition in seven northern Vermont sugarbushes. *Can. J. For. Res.*, 25(3): 386-397.
- ZAWADA J., 1983: Metoda oceny stanu zdrowotnego drzewostanów znajdujących się pod wpływem emisji przemysłowych. *Las Pol.*, 10: 19-20.
- ZIELIŃSKI R., ZIELIŃSKI W. 1990: *Tablice statystyczne*. PWN, Warszawa.