

Jerzy WAWRZONIAK, Mieczysław PLUCIAK, Jadwiga MAŁACHOWSKA

Instytut Badawczy Leśnictwa  
Zakład Badań i Systemów Informacji Przestrzennych  
Sękocin-Las, 05-090 Raszyn

## STATYSTYCZNA OCENA ZGODNOŚCI SZACUNKÓW DEFOLIACJI DRZEW PRÓBNYCH NA STAŁYCH POWIERZCHNIACH OBSERWACYJNYCH MONITORINGU LASU

STATISTICAL AGREEMENT EVALUATION OF DEFOLIATION ASSESSMENT  
OF TREES ON PERMANENT OBSERVATION PLOTS IN THE FOREST  
MONITORING PROGRAMME

**Abstract:** *Actual agreement and kappa statistic for different defoliation classes estimated by two independent observers were calculated. The highest values were achieved for 20% defoliation classes and for two classes: below 25% defoliation and above 25% defoliation.*

**Key words:** *defoliation assessment, statistical agreement, kappa statistic, forest monitoring*

## 1. WSTĘP

Poziom defoliacji drzewa, czyli redukcja jego powierzchni asymilacyjnej, stanowi często stosowany wskaźnik kondycji drzewa. Oceniany jest on corocznie na około 30 000 drzew próbnych znajdujących się na stałych powierzchniach obserwacyjnych (SPO) monitoringu lasu. Defoliacja rozumiana jest jako stopień redukcji aparatu asymilacyjnego drzewa w odniesieniu do drzewa wzorcowego o pełnym ulistnieniu znajdującego się w danym regionie i w porównywalnych warunkach siedliskowych i wiekowych. Ocena defoliacji jest przeprowadzana w pełni sezonu wegetacyjnego, najczęściej w lipcu przez dwóch przeszkolonych taksatorów. Po dokładnym obejrzeniu korony drzewa przy użyciu lornetki o ośmiokrotnym powiększeniu taksatorzy uzgadniają ocenę defoliacji. Defoliacja wyrażona jest w stopniowaniu co 5%. Taksatorzy prowadzący ocenę defoliacji przechodzą corocznie szkolenia centralne i szkolenia w swoich oddziałach przed podjęciem obserwacji w terenie. W swojej pracy wykorzystują materiały pomocnicze w postaci barwnych zdjęć drzew o różnym poziomie defoliacji. Wyniki defoliacji uzyskane w terenie były agregowane w 10-procentowe bądź 20-procentowe równe przedziały, w cztery klasy (0–10%, 11–25%, 26–60%, powyżej 60% defoliacji) oraz w dwie grupy (do 25% defoliacji i powyżej 25% defoliacji).

Jakość ocen defoliacji koron drzew często budzi wątpliwości. Głównym tego powodem jest subiektywizm obserwatorów i brak precyzyjnie określonego wzorca drzewa zdrowego. Z tego powodu może występować systematyczna różnica szacunków pomiędzy regionami kraju, ze względu na przyjęcie przez zespoły obserwatorów odmiennych drzew referencyjnych. Przedmiotem niniejszego artykułu będzie statystyczna ocena zgodności i wielkości błędu (subiektywizmu) szacunków defoliacji dokonywanych przez obserwatorów w zależności od gatunku i wieku drzewa, regionu kraju i sposobu agregacji danych.

Praca niniejsza została wykonana w ramach tematu BLP–830, finansowanego przez Dyрекcję Generalną Lasów Państwowych.

## 2. STATYSTYCZNA METODA OCENY ZGODNOŚCI SZACUNKU DEFOLIACJI DRZEW

W 1996 roku, na 204 stałych powierzchniach obserwacyjnych, czterech niezależnych obserwatorów, zwanych umownie ekspertami, przeprowadziło ocenę defoliacji równoległe z pracami terenowych taksatorów. Liczba powierzchni szacowanych przez ekspertów stanowiła 13,96% wszystkich SPO. Każdy z ekspertów przeprowadził obserwację defoliacji na 51 stałych powierzchniach

obserwacyjnych, rozmieszczonych po 3 w każdej regionalnej dyrekcji lasów państwowych. Drzewostany na powierzchniach kontrolnych były zróżnicowane wiekowo. W drzewostanach w wieku do 40 lat przeprowadzono kontrole na 35 powierzchniach. Stanowiło to 12,46% wszystkich SPO w tym wieku. Drzewostany starsze, powyżej 40 lat, reprezentowane były przez 169 SPO, co stanowiło 14,32% wszystkich powierzchni w tym przedziale wiekowym. Liczbowy i procentowy udział powierzchni szacowanych przez ekspertów dla poszczególnych gatunków podany jest w tabeli 1.

**Tabela 1**  
Table 1

**Liczba kontrolnych stałych powierzchni obserwacyjnych wg gatunków**

Number of verified observation plots according to species

Gatunek Species	Liczba po- wierzchni Number of plots	Udział powierzchniowy danego gatunku Percent of plots of each species
Sosna Pine	152	15,75
Świerk Spruce	10	8,47
Jodła Fir	8	17,02
Buk Beech	12	11,32
Dąb Oak	13	10,83
Brzoza Birch	9	8,57

Na podstawie zebranych danych rozstrzygnięto następujące zagadnienia:

— jakie jest prawdopodobieństwo, że dwóch taksatorów zaklasyfikuje drzewo do tego samego przedziału lub klasy defoliacji w zależności od gatunku, poziomu defoliacji i wieku drzewa,

— jaka jest zgodność ocen poziomu defoliacji drzew w różnych regionach kraju.

W niniejszym opracowaniu zastosowano metodę oceny danych jakościowych, w której miarą zgodności jest wartość kappa (COHEN 1960), która ocenia odchylenie zgodności szacunków od zgodności przypadkowej. Opis metody można znaleźć w kilku innych publikacjach (BISHOP i in. 1975, FLEISS 1981, CZAPLEWSKI 1994). W naszym przypadku danymi jakościowymi podlegającymi ocenie zgodności będą szacunki defoliacji tych samych drzew dokonane niezależnie przez taksatora i eksperta.

Do statystycznej oceny zgodności defoliacji drzew utworzono tablicę krzyżową szacunków defoliacji dokonanych przez taksatora i eksperta. Stanowi ona podstawę do wyznaczenia wskaźnika kappa, który jest miarą zgodności zastosowaną w niniejszym opracowaniu. Tablica krzyżowa podaje rozkład obserwacji

procentu defoliacji dla obserwacji taksatora i eksperta. Statystyczna zgodność wyznaczana jest dla podziału cechy (procentu defoliacji) na przedziały wartości występujące w tablicy krzyżowej.

**Tabela 2**  
Table 2

**Tablica krzyżowa dla taksatora i eksperta**  
Cross tabulation for observer and expert

Taksator/Ekspert <i>Observer/Expert</i>	Przedział 1 <i>Category 1</i>	Przedział 2 <i>Category 2</i>	...	Przedział <i>i</i> <i>Category i</i>	...	Przedział <i>k</i> <i>Category k</i>	Ogółem <i>Total</i>
Przedział 1 <i>Category 1</i>	$n_{11}$	$n_{12}$	...	$n_{1i}$	...	$n_{1k}$	$n_{1+}$
Przedział 2 <i>Category 2</i>	$n_{21}$	$n_{22}$	...	$n_{2i}$	...	$n_{2k}$	$n_{2+}$
...	...	...	...	...	...	...	...
Przedział <i>j</i> <i>Category j</i>	$n_{j1}$	$n_{j2}$	...	$n_{ji}$	...	$n_{jk}$	$n_{j+}$
...	...	...	...	...	...	...	...
Przedział <i>k</i> <i>Category k</i>	$n_{k1}$	$n_{k2}$	...	$n_{ki}$	...	$n_{kk}$	$n_{k+}$
Ogółem <i>Total</i>	$n_{+1}$	$n_{+2}$	...	$n_{+i}$	...	$n_{+k}$	$n$

gdzie:

$n_{ji}$  — liczba obserwacji, które pierwszy obserwator zaliczył do  $i$ -tego przedziału, a drugi obserwator zaliczył do  $j$ -tego przedziału, dla  $i, j = 1, 2, \dots, k$  (liczba obserwacji procentu defoliacji, które taksator zaliczył do  $i$ -tego przedziału, a ekspert zaliczył do  $j$ -tego przedziału, dla tych samych drzew i wszystkich przedziałów),

$n_{i+}$  — suma obserwacji 1 obserwatora (taksatora) dla  $i$ -tego przedziału (równanie 1),

$n_{+j}$  — suma obserwacji 2 obserwatora (eksperta) dla  $j$ -tego przedziału (równanie 2),

$n$  — liczba obserwacji wykonanych przez obu obserwatorów (równanie 3).

$$n_{i+} = \sum_{j=1}^k n_{ij} \quad (1)$$

$$n_{+j} = \sum_{i=1}^k n_{ij} \quad (2)$$

$$n = \sum_{i=1}^k n_{i+} = \sum_{j=1}^k n_{+j} = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^k n_{ij} \quad (3)$$

Mając wyznaczoną tablicę krzyżową dla zadanego podziału cech na klasy (przedziały defoliacji) definiujemy zgodność rzeczywistą ( $\tau_a$ ), losową ( $\tau_c$ ) i wskaźnik kappa ( $\kappa$ ) za pomocą równań 4, 5 i 6.

$$\text{Zgodność rzeczywista: } \tau_a = \frac{\sum_{i=1}^k n_{ii}}{n} \quad (4)$$

$$\text{Zgodność losowa: } \tau_c = \frac{\sum_{i=1}^k n_{i+} \times n_{+i}}{n^2} \quad (5)$$

$$\text{Wskaźnik kappa } \kappa = \frac{\tau_a - \tau_c}{1 - \tau_c} \quad (6)$$

Na podstawie równania 4 zgodność rzeczywista jest sumą wszystkich obserwacji znajdujących się w komórkach przekątnej tablicy krzyżowej podzielona przez sumę wszystkich obserwacji. Oznacza to, że sumowane są obserwacje zgodne w zadanych przedziałach dla taksatora i eksperta. Tak zdefiniowana rzeczywista zgodność jest nieujemna i nie może przekroczyć 1. Gdy przyjmuje ona wartość 1, świadczy to o pełnej zgodności obserwacji defoliacji dokonanych przez taksatora i eksperta w zadanych przedziałach. Rzeczywista zgodność równa 0 świadczy o braku zgodności obserwacji w zadanych przedziałach.

Zgodność losowa jest sumą po zadanych przedziałach iloczynów sumy obserwacji taksatora i sumy obserwacji eksperta w danym przedziale, podzieloną przez ogólną liczbę obserwacji podniesioną do kwadratu (równanie 5). Losowa zgodność umożliwia sprawdzenie, czy obserwowana zgodność jest statystycznie różna od przypadkowej.

Lepszą miarą jest wskaźnik kappa zdefiniowany równaniem 6. Wskaźnik kappa podaje stopień poprawy obserwowanej zgodności rzeczywistej w stosunku do zgodności losowej oraz w stosunku do najwyższej teoretycznie możliwej poprawy.

Do obliczania zgodności rzeczywistej, losowej i wskaźnika kappa w tym opracowaniu zastosowano bezwagowy model Fleisa. Tak zdefiniowany wskaźnik kappa jest zawsze mniejszy lub równy rzeczywistej zgodności. Wskaźnik kappa równy 1 świadczy o pełnej zgodności, 0 — o zgodności przypadkowej, a wartość ujemna — o zgodności mniejszej od przypadkowej. Według klasyfikacji Fleisa wartość wskaźnika kappa do 0,40 świadczy o słabej zgodności, 0,41–0,75 — o dobrej zgodności, a powyżej 0,75 — o doskonałej zgodności. Warto tu wspomnieć o istnieniu innej interpretacji wskaźnika kappa (LANDIS, KOCH 1977), wg której za-

kres wartości : 0–0,20 świadczy o zgodności losowej, 0,21–0,40 — o zgodności dostatecznej, 0,41–0,60 — o zgodności średniej, 0,61–0,80 — o zgodności wysokiej, a zakres 0,81–1,0 — o zgodności pełnej.

Określono także zgodność rzeczywistą, losową oraz wskaźnik kappa dla obserwatorów (taksatora lub eksperta) w konkretnym przedziale. Wartości te wyznaczane są przy pomocy równań 7, 8, 9, 10, 11, 12.

Rzeczywista zgodność dla  $i$ -tego rzędu tablicy krzyżowej (obserwacji taksatora dla  $i$ -tego przedziału):

$$\tau_{ai+} = \frac{n_{ii}}{n_{i+}} \quad (7)$$

Losowa zgodność dla  $i$ -tego rzędu tablicy krzyżowej (obserwacji taksatora dla  $i$ -tego przedziału):

$$\tau_{ci+} = \frac{n_{+i}}{n} \quad (8)$$

Rzeczywista zgodność dla  $j$ -tej kolumny tablicy krzyżowej (obserwacji eksperta dla  $j$ -tego przedziału):

$$\tau_{a+j} = \frac{n_{ij}}{n_{+j}} \quad (9)$$

Losowa zgodność dla  $j$ -tej kolumny tablicy krzyżowej (obserwacji eksperta dla  $j$ -tego przedziału):

$$\tau_{c+j} = \frac{n_{j+}}{n} \quad (10)$$

Wskaźnik kappa dla  $i$ -tego rzędu tablicy krzyżowej:

$$\kappa_{i+} = \frac{\tau_{ai+} - \tau_{ci+}}{1 - \tau_{ci+}} \quad (11)$$

Wskaźnik kappa dla  $j$ -tej kolumny tablicy krzyżowej:

$$\kappa_{+j} = \frac{\tau_{a+j} - \tau_{c+j}}{1 - \tau_{c+j}} \quad (12)$$

Parametrem oceny zgodności jest oczekiwana zgodność dla zadanego przedziału tablicy krzyżowej z uwzględnieniem rzędu lub kolumny (taksatora lub eksperta). Aby wyznaczyć te wartości należy określić udział drzew w poszczególnych przedziałach defoliacji oraz rzeczywistą zgodność odpowiednio dla rzędu lub kolumny. Suma wyznaczonych udziałów dla wszystkich przedziałów uwzględnionych w tablicy krzyżowej jest jednością. Oczekiwana zgodność dla przedziału (rzędu lub kolumny) jest częścią rzeczywistej zgodności równą udziałowi drzew w tym przedziale lub (zgodnie z innym wzorem) iloczynem udziału drzew w tym przedziale i zgodności rzeczywistej dla tego przedziału. Suma oczekiwanych zgodności ze wszystkich przedziałów jest zgodnością oczekiwaną dla wszystkich obserwacji w tablicy krzyżowej.

Na podstawie tablicy krzyżowej można obliczyć, ile jest obserwacji zawyżonych lub zaniżonych przez pierwszego obserwatora (taksatora) w stosunku do drugiego obserwatora (eksperta) i odwrotnie, dla zadanego przedziału lub dla wszystkich przedziałów. W naszym przypadku interesujące jest jedynie porównanie obserwacji taksatora w stosunku do eksperta.

Elementy  $i$ -tego wiersza (tego przedziału) tablicy krzyżowej:

<b>Przedział <math>i</math> Category <math>i</math></b>	$n_{i1}$	$n_{i2}$	...	$n_{ii-1}$	$n_{ii}$	$n_{ii+1}$	...	$n_{ik}$	$n_{i+}$
	<b>Zaniżone obserwacje</b> Underestimated observations				<b>Zawyżone obserwacje</b> Overestimated observations				

Liczbę obserwacji zawyżonych dla przedziału “ $i$ ”, to jest dla tego wiersza tablicy krzyżowej (obserwacje taksatora względem eksperta) stanowi suma liczb od elementu “ $i_{+}$ ” do końca wiersza (suma 13). Sumując liczby zawyżone dla wszystkich przedziałów mających takie wartości otrzymamy liczbę obserwacji zawyżonych ogółem (suma 14).

$$\sum_{j=i+1}^k n_{ij} \quad (13)$$

$$\sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^k n_{ij} \quad (14)$$

Podobnie postępujemy aby wyznaczyć liczbę obserwacji zaniżonych. Liczbę obserwacji zaniżonych dla przedziału “ $i$ ”, to jest dla tego wiersza tablicy krzyżowej (obserwacje taksatora względem eksperta) stanowi suma liczb od elementu 1 do elementu “1” (suma 15). Sumując liczbę wartości zaniżonych dla wszystkich przedziałów mających takie wartości otrzymamy liczbę obserwacji zaniżonych ogółem (suma 16).

$$\sum_{j=1}^{i-1} n_{ij} \quad (15)$$

$$\sum_{i=2}^1 \sum_{j=1}^{i-1} n_{ij} \quad (16)$$

Na podstawie tablicy krzyżowej można jeszcze obliczyć liczbę obserwacji, które taksator zawyżył o 1, 2, lub więcej przedziałów względem eksperta. Dla danego przedziału “ $i$ ” liczbą obserwacji zawyżonych o “ $s$ ” przedziałów będzie element  $n_{ii+s}$  tablicy, a liczbą obserwacji zaniżonych o “ $s$ ” przedziałów — element  $n_{ii-s}$ , o ile takie elementy dla danego przedziału istnieją. Sumując liczby zawyżone i zaniżone o “ $s$ ” przedziałów dla wszystkich przedziałów otrzymamy

liczbę obserwacji zawyżonych o “s” przedziałów ogółem (suma 17) i liczbę obserwacji zaniżonych o “s” przedziałów ogółem (suma 18).

$$\sum_{i=1}^{k-s} n_{ii+s} \quad (17)$$

$$\sum_{i=s+1}^k n_{ii-s} \quad (18)$$

Liczba obserwacji zawyżonych lub zaniżonych różnych typów najczęściej wyrażana jest procentowo w stosunku do liczby wszystkich obserwacji.

### 3. ZGODNOŚĆ WYNIKÓW SZACOWANIA DEFOLIACJI DRZEW

Podstawowy przedział oceny defoliacji aparatu asymilacyjnego drzew próbnych w terenie ma szerokość 5%. Średnie prawdopodobieństwo zgodności pomiędzy grupą ekspercką a taksatorami dla kraju i wszystkich obserwowanych gatunków jest małe. Rzeczywista zgodność wynosi 22,48%, a wskaźnik kappa jest bardzo niski i wynosi 0,10. W 47,46% obserwacji zanotowano szacunek zawyżony, a w 30,07% — zaniżony (tab. 3).

Biorąc pod uwagę gatunki drzew wyższe prawdopodobieństwo zgodności oceny defoliacji w przedziałach 5-procentowych odnotowano w drzewostanach liściastych (26,76%) niż w iglastych (21,62%). Współczynnik kappa wynosił odpowiednio: 0,16 i 0,09. Najwyższą zgodność dla przedziału 5% wykazały obserwacje w drzewostanach bukowych (31,67%), a najniższą w drzewostanach świerkowych (12,12%). Wartości szacunków defoliacji drzewostanów liściastych były częściej zaniżane (47,06%), w przeciwieństwie do drzewostanów iglastych, gdzie 51,73% szacunków było zawyżonych (tab. 3).

Rozpatrując przestrzenną zmienność prawdopodobieństwa zgodności szacunków w 5-procentowych przedziałach można stwierdzić, że wyższą zgodność szacunków defoliacji osiągnięto w północnej i północno-wschodniej części Polski, tj. w krainach: Mazursko-Podlaskiej i Bałtyckiej, a także w krainie Karpackiej. Wyraźnie niższą zgodność osiągnięto w krainach: Śląskiej i Sudeckiej (tab. 4).

Prawdopodobieństwo zgodności szacunku defoliacji wzrasta prawie dwukrotnie jeżeli rozpatrujemy 10-procentowe przedziały defoliacji. Średnie prawdopodobieństwo zgodności w tych przedziałach dla kraju wynosi 41,73%, a wskaźnik kappa 0,20. Większa zgodność szacunków defoliacji jest w drzewosta-



Tabela 3

Table 3

Zgodność rzeczywista, zgodność losowa i wskaźnik kappa oceny defoliacji drzew różnych gatunków w przedziałach 5-procentowych

Actual agreement, chance agreement and kappa statistic for the 5% defoliation classes for species

Gatunek Species	Liczba drzew Number of trees	Rzeczyw. zgodność Actual agreement	Losowa zgodność Chance agreement	Wskaźnik kappa Kappa statistic	Obserwacje zawyżone Overestimated observations	Obserwacje zaniżone Underestimated observations
	n	%	%		%	%
Sosna Pine	3033	22,32	14,53	0,09	50,02	27,66
Świerk Spruce	198	12,12	10,50	0,02	75,25	12,63
Jodła Fir	160	20,00	12,08	0,09	55,00	25,00
Buk Beech	240	31,67	15,94	0,19	25,83	42,50
Dąb Oak	260	25,00	14,54	0,12	27,31	47,69
Brzoza Birch	180	22,78	11,95	0,12	25,00	52,22
Iglaste Coniferous	3391	21,62	14,10	0,09	51,72	26,66
Liściaste Broadleaves	680	26,76	13,09	0,16	26,18	47,06
Ogółem Total	4071	22,48	13,92	0,10	47,46	30,06

Tabela 4

Table 4

Zgodność rzeczywista, zgodność losowa i wskaźnik kappa oceny defoliacji drzew w poszczególnych krainach przyrodniczo-lesnych w przedziałach 5-procentowych

Actual agreement, chance agreement and kappa statistic for the 5% defoliation classes in forest regions

Kraina Natural-forest region	Liczba drzew Number of trees	Rzeczywi. zgodność Actual agreement	Losowa zgodność Chance agreement	Wskaźnik kappa Kappa statistic	Obserwacje zawyżone Overestimated observations	Obserwacje zaniżone Underestimated observations
	n	%	%		%	%
Bałtycka	579	24,53	15,42	0,11	39,72	35,75
Mazursko-Podlaska	360	26,11	13,68	0,14	40,56	33,33
Wielkopolsko-Pom.	1137	24,19	15,64	0,10	52,85	22,96
Mazowiecko-Podl.	459	21,35	12,73	0,10	28,54	50,11
Śląska	279	13,98	11,53	0,03	68,46	17,56
Małopolska	839	20,74	12,71	0,09	49,46	29,80
Sudecka	79	13,92	14,63	-0,01	63,30	22,78
Karpacka	339	24,19	13,75	0,12	49,56	26,25
Ogółem Total	4071	22,48	13,92	0,10	47,46	30,06

nach liściastych, osiągając prawdopodobieństwo 48,24%, wskaźnik kappa wynosi 0,30, a więc jest niewiele mniejszy od wartości granicznej 0,4. Największą zgodność odnotowano w drzewostanach bukowych (50,83%) i brzozowych (50,00%). Wśród gatunków iglastych, osiągających niższą zgodność szacunków (40,43%), największe prawdopodobieństwo zgodnych szacunków odnotowano w drzewostanach sosnowych (41,48%), a najniższą w drzewostanach świerkowych (26,26%). Szacunki w drzewostanach liściastych częściej były zaniżone (34,26%), w przeciwieństwie do drzewostanów iglastych, gdzie 40,08% wartości było zawyżonych (tab. 5).

Przestrzenna zgodność ocen była wyrównana i w większości krain przyrodniczo-leśnych wahała się od 41,00 do 47,78%. Wyraźnie niższa zgodność szacunków wystąpiła w Krainie Śląskiej (26,52%) i Sudeckiej (34,18% — tab. 6).

Prawdopodobieństwo zgodności szacunków defoliacji w przedziałach 20-procentowych zwiększa się średnio w kraju do 65,54%, a wskaźnik kappa osiąga wartość 0,36. W drzewostanach liściastych prawdopodobieństwo zgodnych ocen jest wyższe i wynosi 71,32%, a współczynnik kappa (0,48) przekracza wartość graniczną świadczącą o zgodności istotnej. Najwyższe prawdopodobieństwo zgodności ocen odnotowano w drzewostanach brzozowych — 77,78% i bukowych — 73,33%, przy wskaźniku kappa równym odpowiednio: 0,55 i 0,47. Dla

Tabela 5

Table 5

### Zgodność rzeczywista, zgodność losowa i wskaźnik kappa oceny defoliacji drzew różnych gatunków w przedziałach 10-procentowych

Actual agreement, chance agreement and kappa statistic for the 10% defoliation intervals for species

Gatunek Species	Liczba drzew Number of trees	Rzeczyw. zgodność Actual agreement	Losowa zgodność Chance agreement	Wskaźnik kappa Kappa statistic	Obserwacje zawyżone Overestimated observations	Obserwacje zaniżone Underestimated observations
	n	%	%		%	%
Sosna Pine	3033	41,48	28,37	0,18	37,98	20,54
Świerk Spruce	198	26,26	21,31	0,06	65,66	8,08
Jodła Fir	160	38,13	22,02	0,21	48,12	13,75
Buk Beech	240	50,83	30,85	0,29	17,50	31,67
Dąb Oak	260	44,62	27,82	0,23	18,84	36,54
Brzoza Birch	180	50,00	25,11	0,33	15,56	34,44
Iglaste Coniferous	3391	40,43	27,59	0,18	40,08	19,49
Liściaste Broadleaves	680	48,24	25,75	0,30	17,50	34,26
Ogółem Total	4071	41,73	27,27	0,20	36,31	21,96

drzewostanów iglastych większa zgodność ocen występuje w drzewostanach sosnowych — 65,41%, przy wskaźniku kappa równym 0,34. W drzewostanach świerkowych i jodłowych wartości te są niższe, wynosząc odpowiednio 54,04% i 57,50% (tab. 7).

W układzie przestrzennym prawdopodobieństwo zgodności ocen defoliacji w 20-procentowych przedziałach jest większe w krainach: Mazursko-Podlaskiej (73,06%) i Bałtyckiej (71,16%), przy wskaźniku kappa równym lub większym od 0,4. Wyraźnie mniejsze prawdopodobieństwo zgodności ocen jest w krainach: Sudeckiej (49,37%) i Śląskiej (50,54%); tu wskaźnik kappa przyjmuje wartości poniżej 0,4 (tab. 8).

Tendencja zawyżania szacunków w drzewostanach iglastych i ich zaniżania w drzewostanach liściastych przejawia się także w ocenie defoliacji w 20-procentowych przedziałach.

W metodyce międzynarodowego programu ICP-Forest (Manual of methodology and criteria, 1994) zalecana była ocena defoliacji w czterech klasach: 0–10%, 11–25%, 26–60% i powyżej 60%. Prawdopodobieństwo zgodności ocen defoliacji w tych czterech klasach wynosiło średnio dla kraju 57,87%, osiągając wskaźnik kappa 0,29. W drzewostanach liściastych prawdopodobieństwo zgodności szacunków było wyższe niż w iglastych i wynosiło odpowiednio: 63,97% i 56,65%, przy wskaźniku kappa równym 0,41 i 0,27 (tab. 9).

Tabela 6

Table 6

**Zgodność rzeczywista, zgodność losowa i wskaźnik kappa oceny defoliacji drzew w poszczególnych krainach przyrodniczo-lesnych w przedziałach 10-procentowych**  
Actual agreement, chance agreement and kappa statistic for the 10% defoliation intervals in the natural-forest regions

Kraina Natural-forest region	Liczba drzew Number of trees	Rzeczyw. zgodność Actual agreement	Losowa zgodność Chance agreement	Wskaźnik kappa Kappa statistic	Obserwacje zawyżone Overestimated observations	Obserwacje zaniżone Underestimated observations
	n	%	%		%	%
Bałtycka	579	43,87	29,25	0,21	28,84	27,29
Mazursko-Podlaska	360	47,78	27,46	0,28	29,72	22,50
Wielkopolsko-Pom.	1137	42,92	30,14	0,18	39,67	17,41
Mazowiecko-Podl.	459	42,70	24,71	0,24	18,74	38,56
Śląska	279	26,52	23,23	0,04	58,42	15,06
Małopolska	839	41,60	25,38	0,22	38,38	20,02
Sudecka	79	34,18	28,33	0,08	49,36	16,46
Karpacka	339	41,00	26,85	0,19	42,18	16,82
<b>Ogółem Total</b>	4071	41,73	27,27	0,20	36,31	21,96

Tabela 7

Table 7

**Zgodność rzeczywista, zgodność losowa i wskaźnik kappa oceny defoliacji drzew poszczególnych gatunków w przedziałach 20-procentowych**

Actual agreement, chance agreement and kappa statistic for the 20% defoliation intervals for species

Gatunek Species	Liczba drzew Number of trees	Rzeczyw. zgodność Actual agreement	Losowa zgodność Chance agreement	Wskaźnik kappa Kappa statistic	Obserwacje zawyżone Overestimated observations	Obserwacje zaniżone Underestimated observations
	n	%	%		%	%
Sosna Pine	3033	65,41	47,79	0,34	22,75	11,84
Świerk Spruce	198	54,04	39,02	0,25	44,95	1,01
Jodła Fir	160	57,50	38,71	0,31	33,12	9,38
Buk Beech	240	73,33	50,11	0,47	8,34	18,33
Dąb Oak	260	65,00	47,54	0,33	12,31	22,69
Brzoza Birch	180	77,78	50,52	0,55	6,67	15,55
Iglaste Coniferous	3391	64,38	46,63	0,33	24,53	11,09
Liściaste Broadleaves	680	71,32	45,27	0,48	9,42	19,26
<b>Ogółem Total</b>	<b>4071</b>	<b>65,54</b>	<b>46,42</b>	<b>0,36</b>	<b>22,01</b>	<b>12,45</b>

Tabela 8

Table 8

**Zgodność rzeczywista, zgodność losowa i wskaźnik kappa oceny defoliacji drzew w poszczególnych krainach przyrodniczo-lesnych w przedziałach 20-procentowych**

Actual agreement, chance agreement and kappa statistic for the 20% defoliation intervals in the natural-forest region

Kraina Natural-forest region	Liczba drzew Number of trees	Rzeczyw. zgodność Actual agreement	Losowa zgodność Chance agreement	Wskaźnik kappa Kappa statistic	Obserwacje zawyżone Overestima observations	Obserwacje zaniżone Underestimated observations
	n	%	%		%	%
Bałtycka	579	71,16	51,94	0,40	11,05	17,79
Mazursko-Podlaska	360	73,06	50,67	0,45	17,22	9,72
Wielkopolsko-Pom.	1137	67,81	49,81	0,36	22,60	9,59
Mazowiecko-Podl.	459	66,67	45,94	0,38	12,20	21,13
Śląska	279	50,54	39,58	0,18	39,07	10,39
Małopolska	839	63,05	42,92	0,35	25,86	11,09
Sudecka	79	49,37	45,81	0,07	36,71	13,92
Karpacka	339	61,06	42,90	0,32	30,09	8,85
<b>Ogółem Total</b>	<b>4071</b>	<b>65,54</b>	<b>46,42</b>	<b>0,36</b>	<b>22,01</b>	<b>12,45</b>

Tabela 9

Table 9

**Zgodność rzeczywista, zgodność losowa i wskaźnik kappa oceny defoliacji drzew poszczególnych gatunków przy 4 klasach defoliacji**

Actual agreement, chance agreement and kappa statistic in 4 defoliation intervals for species

Gatunek Species	Liczba drzew Number of trees	Rzeczyw. zgodność Actual agreement	Losowa zgodność Chance agreement	Wskaźnik kappa Kappa statistic	Obserwacje zawyżone Overestimated observations	Obserwacje zaniżone Underestimated observations
	n	%	%		%	%
Sosna Pine	3033	57,60	41,87	0,27	28,35	14,05
Świerk Spruce	198	34,85	32,05	0,04	57,57	7,58
Jodła Fir	160	65,63	41,99	0,41	26,24	8,13
Buk Beech	240	67,08	43,65	0,42	13,75	19,17
Dąb Oak	260	61,54	43,00	0,33	12,69	25,77
Brzoza Birch	180	63,33	34,27	0,44	7,23	29,44
Iglaste Coniferous	3391	56,65	40,96	0,27	29,96	13,39
Liściaste Broadleaves	680	63,97	38,53	0,41	11,62	24,41
Ogółem Total	4071	57,87	40,64	0,29	26,90	15,23

Poziom zgodności szacunków defoliacji w czterech klasach jest więc niższy od zgodności osiąganey w równych przedziałach 20-procentowych. Podobnie jak we wcześniej omówionych przedziałach największą zgodność ocen odnotowano w drzewostanach bukowych i brzozowych, a najniższą w drzewostanach świerkowych.

Zachowana została prawidłowość przestrzennego rozkładu wartości prawdopodobieństw szacunków defoliacji. Najwyższe wartości odnotowano w krainach: Mazursko-Podlaskiej i Bałtyckiej, najniższe — w krainach: Sudeckiej i Śląskiej (tab. 10).

Najwyższe prawdopodobieństwo zgodności ocen defoliacji osiągnięto przy podziale tylko na dwie klasy drzew: drzewa o defoliacji do 25% i powyżej 25%. Średnie prawdopodobieństwo zgodnych ocen dla kraju wynosiło 77,30%, przy wskaźniku kappa równym 0,43. W drzewostanach liściastych zgodność ocen osiągnęła 80,00%, przy wskaźniku kappa 0,54, a w drzewostanach iglastych — 76,76%, przy wskaźniku kappa 0,41 (tab. 11). Szacunki defoliacji w drzewostanach bukowych i brzozowych wykazywały najwyższą zgodność a drzewostany świerkowe — najniższą. Wartości niedoszacowane przeważały w drzewostanach liściastych, a szacunki zbyt wysokie w drzewostanach iglastych (tab. 11). W oce-

Tabela 10

Table 10

**Zgodność rzeczywista, zgodność losowa i wskaźnik kappa oceny defoliacji drzew w poszczególnych krainach przyrodniczo-lesnych przy 4 klasach defoliacji**

Actual agreement, chance agreement and kappa statistic in 4 defoliation intervals in the natural-forest region

Kraina Natural-forest region	Liczba drzew Number of trees	Rzeczyw. zgodność Actual agreement	Losowa zgodność Chance agreement	Wskaźnik kappa Kappa statistic	Obserwacje zawyżone Overestimated observations	Obserwacje zaniżone Underestimated observations
	n	%	%		%	%
Bałtycka	579	60,45	43,40	0,30	21,76	17,79
Mazursko-Podlaska	360	61,11	38,99	0,36	19,72	19,17
Wielkopolsko-Pom.	1137	58,40	44,58	0,25	29,81	11,79
Mazowiecko-Podl.	459	57,08	37,09	0,32	12,64	30,28
Śląska	279	41,94	36,79	0,08	49,10	8,96
Małopolska	839	59,59	38,43	0,34	26,94	13,47
Sudecka	79	51,90	45,17	0,12	39,24	8,86
Karpacka	339	59,59	40,00	0,33	31,56	8,85
<b>Ogółem Total</b>	4071	57,87	40,64	0,29	26,90	15,23

Tabela 11

Table 11

**Zgodność rzeczywista, zgodność losowa i wskaźnik kappa oceny defoliacji drzew poszczególnych gatunków przy 2 klasach defoliacji**

Actual agreement, chance agreement and kappa statistic in 2 defoliation intervals or species

Gatunek Species	Liczba drzew Number of trees	Rzeczyw- wista zgodność Actual agreement	Losowa zgodność Chance agreement	Wskaźnik kappa Kappa statistic	Obserwacje zawyżone Overestimated observations	Obserwacje zaniżone Underestimated observations
	n	%	%		%	%
Sosna Pine	3033	78,04	62,62	0,41	14,74	7,22
Świerk Spruce	198	58,59	46,92	0,22	39,89	1,52
Jodła Fir	160	75,00	48,95	0,51	20,00	5,00
Buk Beech	240	86,25	66,10	0,59	3,75	10,00
Dąb Oak	260	70,38	50,00	0,41	10,39	19,23
Brzoza Birch	180	85,56	62,10	0,62	2,78	11,66
Iglaste Coniferous	3391	76,76	60,57	0,41	16,46	6,78
Liściaste Broadleaves	680	80,00	56,44	0,54	6,03	13,97
<b>Ogółem Total</b>	4071	77,30	60,02	0,43	14,71	7,99

nach defoliacji w drzewostanach iglastych przeważały oceny zawyżone, a w drzewostanach liściastych zaniżone. W ujęciu przestrzennym największą zgodność ocen defoliacji osiągnięto w krainach: Mazursko-Podlaskiej i Bałtyckiej, a najmniejszą w krainach: Śląskiej i Sudeckiej (tab. 12).

Tabela 12  
Table 12

**Zgodność rzeczywista, zgodność losowa i wskaźnik kappa oceny defoliacji drzew w poszczególnych krainach przyrodniczo-lesnych przy 2 klasach defoliacji**

Actual agreement, chance agreement and kappa statistic in 2 defoliation intervals in the natural-forest region

Kraina Natural-forest region	Liczba drzew Number of trees	Rzeczyw. zgodność Actual agreement	Losowa zgodność Chance agreement	Wskaźnik Kappa Kappa sta- tistic	Obserwacje zawyżone Overestimated observations	Obserwacje zaniżone Underestimated observations
	n	%	%		%	%
Bałtycka	579	83,07	69,28	0,45	4,15	12,78
Mazursko-Podlaska	360	84,72	65,28	0,56	7,78	7,50
Wielkopolsko-Pom.	1137	79,51	67,16	0,38	14,77	5,72
Mazowiecko-Podl.	459	78,00	58,01	0,48	9,80	12,20
Śląska	279	63,80	50,65	0,27	30,47	5,73
Małopolska	839	74,85	54,09	0,45	17,16	7,99
Sudecka	79	55,70	46,60	0,17	35,44	8,86
Karpacka	339	73,45	52,48	0,44	22,71	3,84
<b>Ogółem Total</b>	<b>4071</b>	<b>77,30</b>	<b>60,02</b>	<b>0,43</b>	<b>14,71</b>	<b>7,99</b>

Interesującym problemem jest ocena zgodności szacunków w zależności od stopnia defoliacji drzew. Rozpatrując poziom zgodności szacunków defoliacji dla 20-procentowych przedziałów okazuje się, że zarówno zgodność warunkowa jak i zgodność oczekiwana jest najwyższa w przedziale 0-20% i zmniejsza się wraz ze wzrostem defoliacji (tab. 13). Przedziały o defoliacji powyżej 60% mają bardzo małą liczebność i wyliczone wartości trudno uznać za wiarygodne.

Rozpatrywano również zgodność szacunków defoliacji drzew biorąc pod uwagę 20-procentowe przedziały defoliacji w 20-letnich kategoriach wiekowych. Zgodność rzeczywista jak również wskaźnik kappa są wyrównane, wahając się odpowiednio w zakresie: 42,54 do 63,36% i od 0,28 do 0,41. Nieznacznie większą zgodność szacunków odnotowano w drzewostanach młodych w wieku 21-40 lat. Drzewostany młodsze były częściej szacowane zbyt nisko, a starsze zbyt wysoko (tab. 14).

Tabela 13

Table 13

**Zgodność warunkowa, oczekiwana oraz wskaźnik kappa oceny defoliacji drzew dla poszczególnych przedziałów 20-procentowych**

Conditional agreement, expected agreement and kappa statistic for the 20% defoliation intervals

Przedziały defoliacji Defoliation intervals	Liczba drzew Number of trees	Udział drzew Share of trees	Wskaźnik kappa Kappa statistic	Warunkowa zgodność Conditional agreement	Oczekiwana zgodność Expected agreement
	n	%		%	%
I 0–20%	2379	58,43	0,37	69,31	40,51
II 25–40%	1560	38,32	0,35	62,63	24,00
III 45–60%	111	2,73	0,28	31,53	0,86
IV 65–80%	19	0,47	0,31	31,58	0,15
V 85–95%	2	0,05	0,50	50,00	0,02
<b>Ogółem Total</b>	4071	100,00	x	x	65,54

Tabela 14

Table 14

**Zgodność rzeczywista, zgodność losowa oraz wskaźnik kappa oceny defoliacji drzew różnych klas wieku dla poszczególnych przedziałów 20-procentowych**

Actual agreement, chance agreement and kappa statistic for the 20% defoliation intervals and age

Wiek drzew Age of trees	Liczba drzew Number of trees	Rzeczyw. zgodność Actual agreement	Losowa zgodność Chance agreement	Wskaźnik kKappa Kappa statistic	Obserwacje zawyżone Overestimated observations	Obserwacje zaniżone Underestimated observations
	n	(%)	(%)		(%)	(%)
21–40	700	74,43	63,36	0,30	10,43	15,14
41–60	1213	65,95	45,63	0,37	23,74	10,31
61–80	1179	62,85	45,24	0,32	24,51	12,64
81–100	759	58,89	45,54	0,28	26,75	14,36
> 100	220	72,27	53,13	0,41	19,55	8,18
<b>Ogółem Total</b>	4071	65,54	46,42	0,36	22,01	12,45

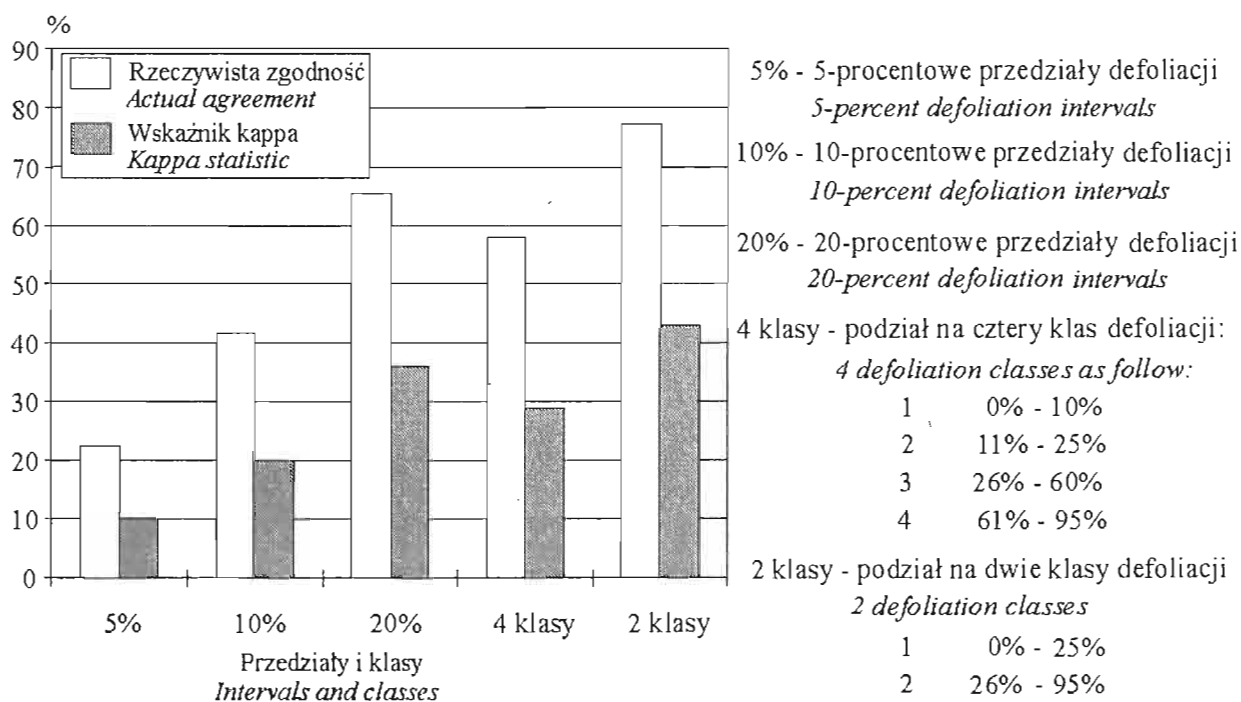
**4. DYSKUSJA WYNIKÓW**

Problem stopnia obiektywizmu ocen parametrów niemierzalnych występuje często w naukach przyrodniczych. W leśnictwie takie cechy jak zwarcie drzewostanu lub pokrycie badanej powierzchni przez gatunek roślinności runa jest określany poprzez zaliczenie do pewnej kategorii lub podanie procentowej wartości. Dzieje się tak zawsze kiedy pomiar jest niemożliwy lub zbyt kosztowny. Ocena



defoliacji drzew należy również do tej kategorii parametrów. Poziom zgodności szacunków defoliacji jest różny w zależności od przyjętego przedziału defoliacji (ryc. 1).

Zgodnie z oczekiwaniami zgodność szacunków defoliacji w 5% odstępach jest bardzo niska, a wartość wskaźnika kappa świadczy, że szacunki te niewiele odbiegają od zgodności losowej (tab. 3). Wprowadzenie tak wąskiego przedziału defoliacji nie było związane z oczekiwaniem wysokiej zgodności szacunków, lecz miało na celu zwiększenie staranności taksatorów w trakcie dokonywania ocen. Zwiększenie tolerancji ocen do 10% powoduje prawie dwukrotny wzrost zgodności ocen i zwiększenie wskaźnika kappa (tab. 5). Porównując poziom zgodności ocen defoliacji w 20-procentowych przedziałach ze zgodnością w 4 klasach okazuje się, że jest ona wyższa w przypadku przedziałów 20-procentowych. Zgodność ocen w przedziałach 20-procentowych wynosi 65,54%, a wskaźnik kappa równy 0,36 zbliża się do zadowalającego poziomu 0,40 (tab. 7). Wydaje się, że przyjęcie takiego poziomu agregacji danych jest bardziej celowe od grupowania danych w 4 klasy defoliacji, jak to ma miejsce dotychczas w opracowaniach monitoringu lasu zarówno krajowych jak i europejskich. Najwyższą zgodność szacunków defoliacji osiągnięto klasyfikując drzewa do dwóch kategorii defoliacji: do 25% i powyżej 25%. Wynosiła ona 77,30%, a wskaźnik kappa przekroczył wyraźnie poziom 0,40 osiągając wartość 0,43 (tab. 11). Wyniki te potwierdzają słuszność wykorzystywania udziału drzew o defoliacji powyżej 25%



Ryc. 1. Zgodność rzeczywista i wskaźnik kappa dla przedziałów i klas defoliacji

Fig. 1. Actual agreement and kappa statistic for defoliation intervals and classes

jako miernika poziomu uszkodzenia drzewostanów. Jest on powszechnie wykorzystywany w opracowaniach krajowych i zagranicznych (WAWRZONIAK, MAŁACHOWSKA 1996; Forest Condition in Europe 1997).

Analizując poziom zgodności ocen dla poszczególnych gatunków należy stwierdzić, że gatunki liściaste są szacowane ze zgodnością większą o kilka procent niż drzewostany iglaste. Wśród gatunków liściastych największą zgodność odnotowano w drzewostanach bukowych i brzozowych, a więc w drzewostanach stosunkowo zdrowych. W drzewostanach dębowych, charakteryzujących się wyższym stopniem uszkodzenia, zgodność była wyraźnie niższa. Prawidłowość tą można zaobserwować również w drzewostanach iglastych, gdzie najmniejszą zgodność stwierdzono w drzewostanach świerkowych, najbardziej uszkodzonych wśród drzewostanów iglastych. Niższy poziom zgodności ocen defoliacji w drzewostanach iglastych w porównaniu z drzewostanami liściastymi może wynikać z ich wyższego poziomu uszkodzenia. Związek pomiędzy poziomem uszkodzenia a niższą zgodnością potwierdza także rozkład przestrzenny poziomu zgodności szacunków. W południowej części Polski, gdzie drzewostany wykazują wyższe uszkodzenia, zgodność szacunków defoliacji jest wyraźnie niższa niż w Polsce północnej. Prawidłowość ta znajduje swoje wyjaśnienie w porównaniu zgodności szacunków dla poszczególnych 20-procentowych przedziałów defoliacji. Okazuje się, że drzewostany o defoliacji 0–20% szacowane są z najwyższą zgodnością i wartość ta zmniejsza się wraz ze wzrostem defoliacji (tab. 13).

Rozpatrując poziom zgodności szacunków defoliacji w 20-letnich klasach wieku stwierdzono wyższą zgodność w najmłodszej klasie wieku, od 21 do 40 lat, która charakteryzuje się niższą defoliacją (tab. 14). W drzewostanach w wieku powyżej 40 lat nie zanotowano wyraźnych różnic w zgodności szacunków defoliacji.

## 5. STWIERDZENIA KOŃCOWE I WNIOSKI

Prawdopodobieństwo zgodnych szacunków defoliacji zależy przede wszystkim od przyjętej dokładności oceny, czyli przedziału defoliacji. Wydaje się, że 20-procentowe przedziały defoliacji, przy intensyfikacji szkoleń i treningu mogą stanowić wiarygodną podstawę wnioskowania o poziomie uszkodzenia drzew. Podobny, chociaż nieco niższy, poziom zgodności szacunków osiągnięto dla 4 klas defoliacji: 0-10%, 11-25%, 26-60, powyżej 60%, które obowiązują w opracowaniach metodycznych programu ICP-Forest (Manual of methodologies and criteria, 1994). Klasyfikacja drzew do dwóch grup: do 25% i powyżej 25% defoliacji daje najwyższe prawdopodobieństwo zgodności szacunków. Powyższe

stwierdzenie potwierdza celowość stosowania procentowego udziału drzew powyżej 25% defoliacji jako wskaźnika poziomu uszkodzenia drzewostanów.

Większą zgodność szacunków defoliacji osiągnięto w drzewostanach o mniejszym poziomie defoliacji i dotyczy to zarówno drzewostanów iglastych jak i liściastych. Fakt ten zdaje się potwierdzać zarówno wyższa zgodność szacunków w mniej zdefoliowanych drzewostanach liściastych, jak również wyższa warunkowa zgodność w przedziałach defoliacji 0-20% i 20-40%, a także w drzewostanach młodszych, których poziom defoliacji jest najczęściej niższy.

Praca została przyjęta przez Komitet Redakcyjny 19 sierpnia 1998 roku

## STATISTICAL AGREEMENT EVALUATION OF DEFOLIATION ASSESSMENT OF TREES ON PERMANENT OBSERVATION PLOTS IN THE FOREST MONITORING PROGRAMME

### Summary

Assessment of classification accuracy is important to forest health monitoring. Possibility of defoliation data comparison between two or more observers depends on agreement level. The kappa statistic, which is computed from a square contingency table, is a scalar measure of the agreement between two observers. If one observer is considered as a reference that is without error, then the kappa statistic is a measure of classification accuracy. Kappa equals 1 for perfect agreement, and zero for agreement expected by chance alone. The calculations of actual agreement and kappa statistic have been done for 5% , 10% , 20% defoliation classes, IV defoliation classes and two groups of trees: up to 25% defoliation and over 25% defoliation.

Estimates of 5% defoliation classes for the same tree made by two independent observers are highly variable. Actual agreement obtained 22,48% and kappa statistic was 0,10. In 10% defoliation classes assessments actual agreement increased to 41,73% and kappa statistic was 0,20. Extension of defoliation intervals to 20% allowed achieving the high value of actual agreement — 65,54% and kappa statistic — 0,36. Considering four defoliation classes actual agreement was 57,87% and kappa statistic — 0,29. Classification of trees to defoliation classes: up to 25% defoliation and over 25% defoliation reached the highest values of actual agreement — 77,30 and kappa statistic — 0,43.

The higher values of actual agreement and kappa statistic were calculated for more healthy stands with lower defoliation level.

## LITERATURA

- BISHOP Y.M.M., FIENBERG S.E., HOLLAND P.W. 1975. Discrete multivariate analysis: Theory and practice. MIT Press, Cambridge (Massachusetts): 557 p.
- COHEN J. 1960. A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20: 37–46.
- CZAPLEWSKI R.L. 1994. Variance Approximations for Assessments of Classification Accuracy. USDA Forest Service Research Paper RM-360.
- FLEISS J. L. 1981. *Statistical methods for rates and proportions*. John Wiley&Sons, New York.
- Forest Condition in Europe. Results of the 1996 crown condition survey. 1997. Report, International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests. Federal Research Centre for Forestry and Forest Products.
- LANDIS J. R., KOCH G. G. 1977. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33: 159–174.
- Manual of methodologies and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. 1994. International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution.
- WAWRZONIAK J., MALACHOWSKA J. 1996. Stan uszkodzenia lasów w Polsce w 1995 roku na podstawie badań monitoringowych. Biblioteka Monitoringu Środowiska, PIOŚ, Warszawa.