

Mikrofotometryczna analiza obrazu lasów na zdjęciach lotniczych

WPROWADZENIE

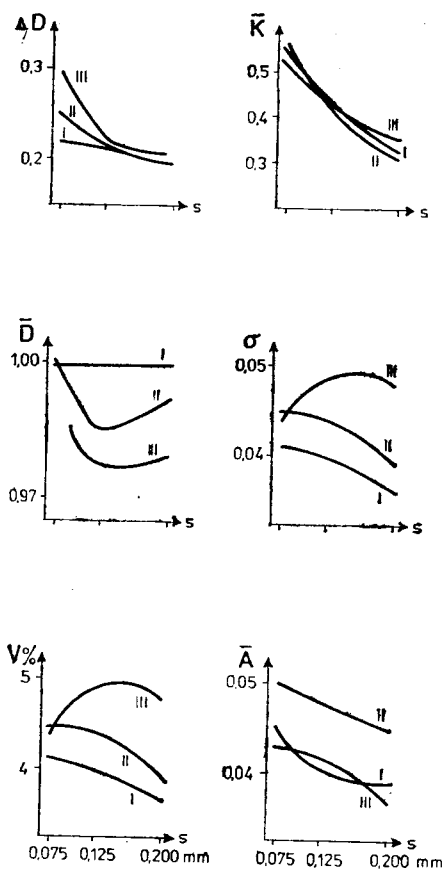
W niniejszym opracowaniu podjęto próbę uzyskania istotnych parametrów obrazu różnorodnych drzewostanów na zdjęciach lotniczych. Szczególnie przydatna jest tu metoda mikrofotometryczna umożliwiająca szczegółową analizę ilościową. Wykorzystane zostały panchromatyczne zdjęcia lotnicze w skali 1 : 10 000 z terenu Poligonu Fotointerpretacyjnego „Łódź”, położonego na południe od Zduńskiej Woli, wykonane w 1959 roku. Identyfikację wybranych drzewostanów przeprowadzono na podstawie materiałów uzyskanych w Okręgowym Zarządzie Lasów Państwowych w Łodzi. Badaniom poddano różnowiekowe drzewostany: brzozy (Brz), dębowy (Db), jodłowy (Jd), olchowy (Ol), sosnowy (So) i świerkowy (Sw). Rejestracji gęstości optycznej na diapozytywach dokonano z wykorzystaniem mikrofotometru samorejestrującego IFO-451, pod kierunkiem dra K. Furmańczyka. Dla 18 typów drzewostanów wykonano po 2—4 mikrofotogramy o długości 45 mm—215 mm przy stosunku skal mikrofotogramu i zdjęcia 5 : 1.

Opracowanie mikrofotogramów pozwoliło uzyskać dane wyjściowe w postaci zbiorów dwóch wartości: gęstości optycznej (D) oraz amplitudy fali (A). Dla każdego mikrofotogramu wyznaczono następujące parametry: empiryczny zakres zmienności gęstości optycznej (AD), średnią wartość gęstości optycznej (\bar{D}), odchylenie standardowe wartości $D(\sigma)$, współczynnik zmienności wartości $D(V)$, średnią koncentrację fal (\bar{K}), średnią amplitudę fal (\bar{A}). Dla każdego typu drzewostanu wykreślono figurę charakterystyczną, oraz obliczono niektóre jej parametry: wysokość (h) i stosunek wysokości do podstawy (R).

WYBÓR SZCZELINY ANALIZUJĄCEJ

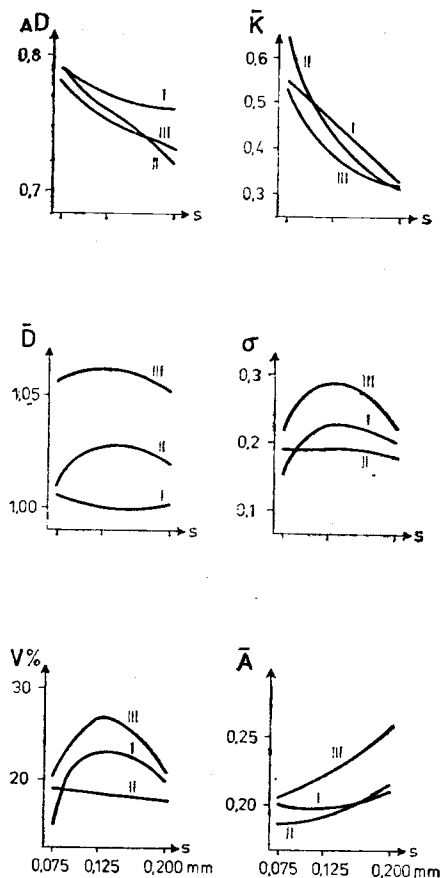
W mikrofotometrze IFO-451 można regulować wymiary szczeliny analizującej. Przeprowadzono zatem badanie dokładności rejestracji z uwzględnieniem różnych wymiarów szczeliny oraz struktur obrazu. Przy ustalonej wysokości szczeliny (0,250 mm) zastosowano zmienną jej szerokości (0,075, 0,125 oraz 0,200 mm). Zbadano obraz o strukturze drob-

noziarnistej (drzewostan sosnowy 22-letni) oraz gruboziarnistej (drzewostan jodłowy 85-letni). Każdorazowo wykonano po trzy profile; dla otrzymanych 18 profili obliczono parametry ΔD , \bar{K} , \bar{D} , σ , V , \bar{A} . Rezultaty przedstawiają ryc. 1 i 2. Ponieważ zwiększenie wymiarów szczeliny powoduje większe uśrednienie wartości D w „polu widzenia”, fakt ten jest przyczyną zmniejszenia rejestrowanego zakresu zmienności wartości gęstości optycznej. Analogicznie wzrost szerokości szczeliny sprawia, iż zanikają fale drobniejsze i spada koncentracja fal na jednostkę długości.



Ryc. 1. Zmienność parametrów obrazu o strukturze drobnoziarnistej (So 22) przy różnej szerokości szczeliny analizującej. Cyfry rzymskie oznaczają numery profili

Fig. 1. Variability of the parameters of the fine-grained image (So 22) with different analyzing aperture. Roman numerals denote numbers of profiles.



Ryc. 2. Zmienność parametrów obrazu o strukturze gruboziarnistej (Jd 85) przy różnej szerokości szczeliny analizującej

Fig. 2. Variability of the parameters of the coarse-grained image (Jd 85) with different analyzing aperture

Oba zaobserwowane efekty są niezależne od struktury obrazu. Bazując na otrzymanych wynikach, uznano, iż zwiększanie wymiarów szczeliny odbija się negatywnie na dokładności rejestracji. Mając na względzie szczególność rejestracji, do dalszych pomiarów wybrano szczelinę o wymiarach $0,250 \text{ mm} \times 0,075 \text{ mm}$.

CHARAKTERYSTYKA OBRAZU DRZEWOSTANÓW ORAZ ICH OCENA

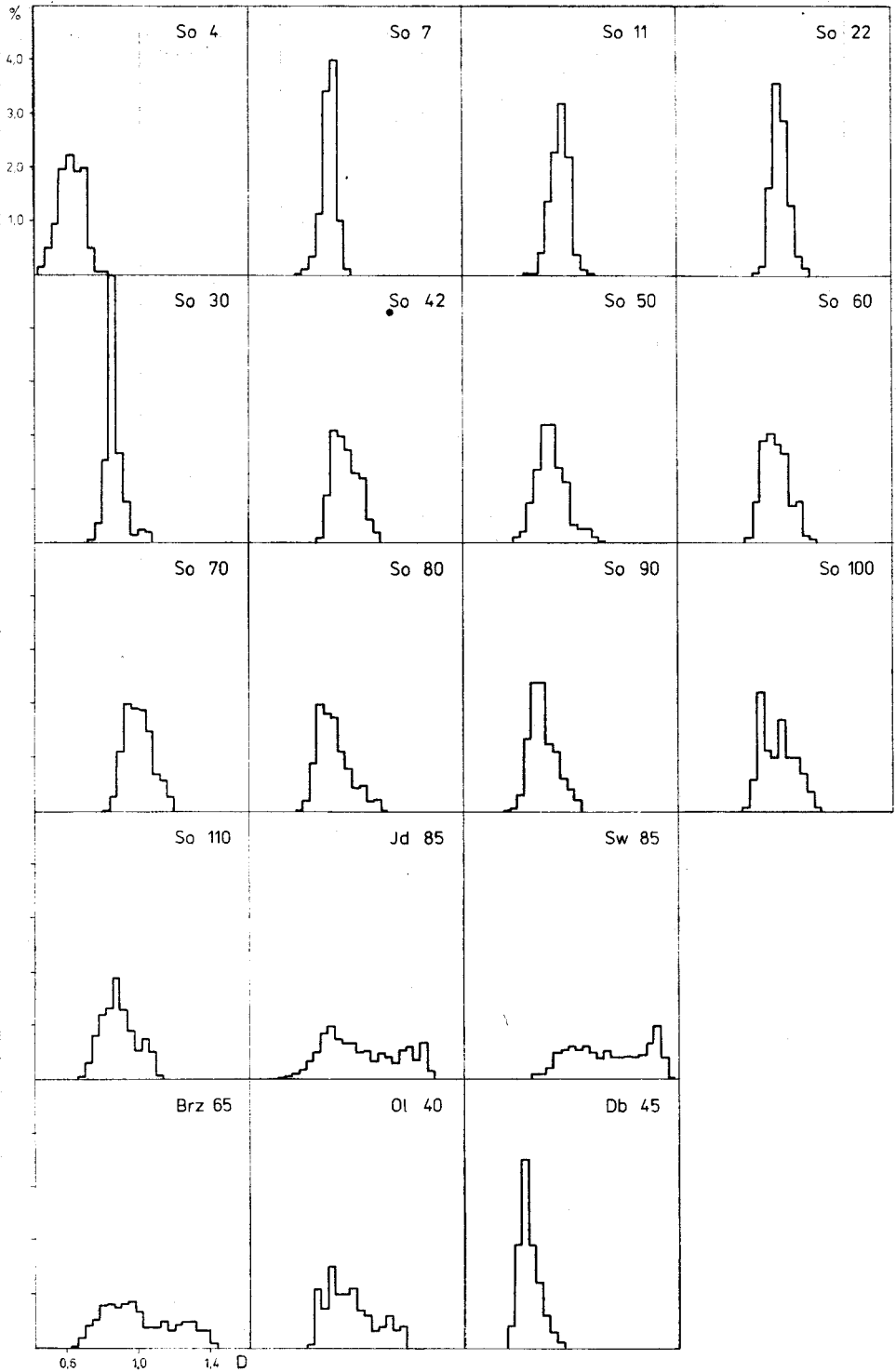
Wartości D odczytane z mikrofotogramów uporządkowano według częstości występowania. W większości przypadków ich rozkład statystyczny jest normalny lub do takiego zbliżony. Wprawdzie rozkład normalny jest pożądanym, by dane mogły być poddane opracowaniu statystycznemu, lecz przy analizie tego typu zjawisk nie zawsze jest to możliwe (por. Owen-Jones, 1977). Jak wynika z analizy histogramów, pewną cechą różnicującą może być ich kształt. Wśród drzewostanów sosnowych wraz z wiekiem zaznacza się postępujące rozproszenie wartości oraz przejście od lekkiej skośności ujemnej ku dodatniej. Drzewostany Jd 85, Sw 85, Brz 65 i Ol 40 odznaczają się już znacznym rozbudowaniem histogramu i wielomodalnością (ryc. 3). Jeszcze bardziej użyteczna jest figura charakterystyczna. W przypadku drzewostanów sosnowych wraz z wiekiem zwiększa się jej podstawa kosztem wysokości. W skrajnej postaci efekt ten prezentują drzewostany Jd 85, Sw 85 i Brz 65 (ryc. 4).

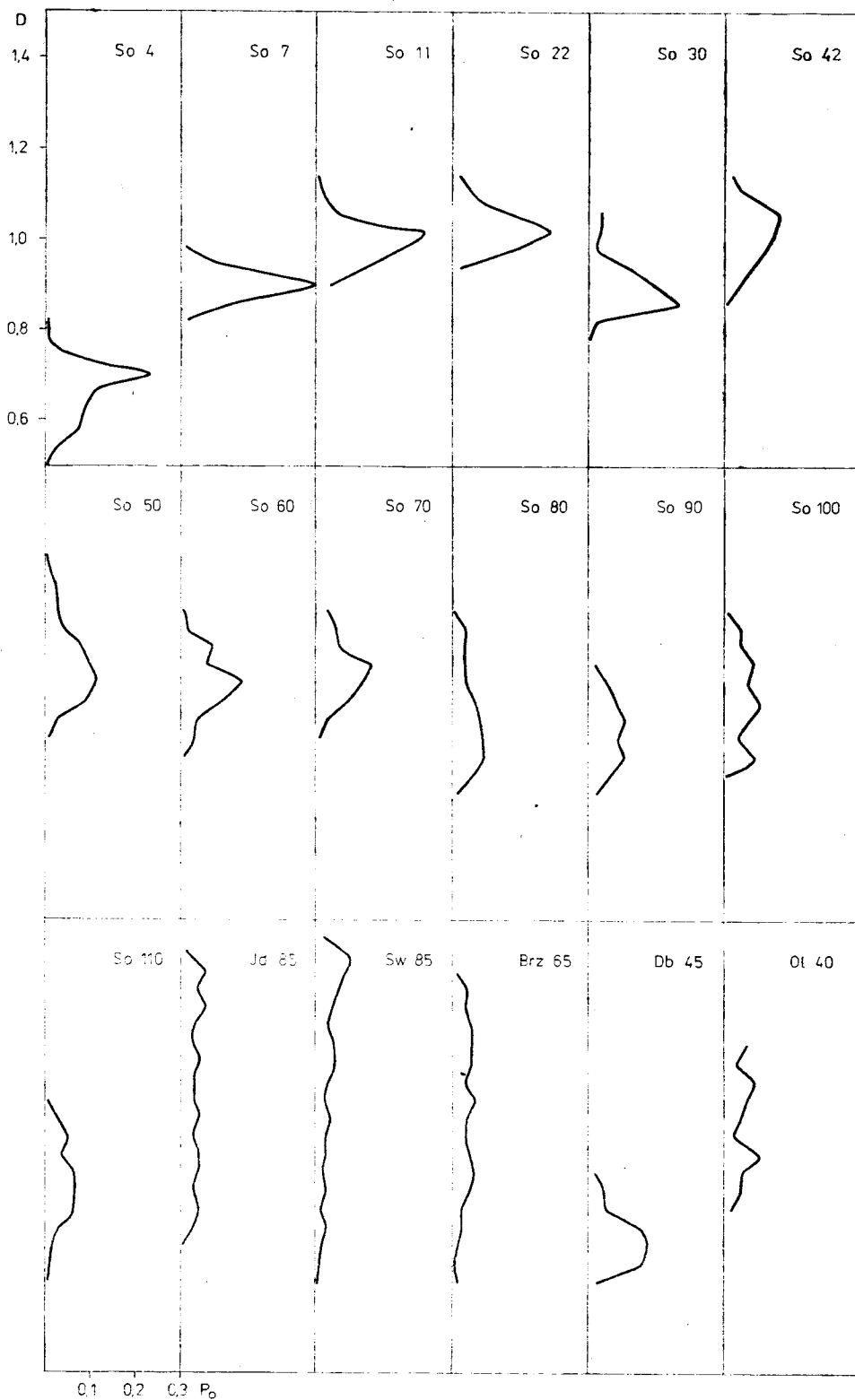
Odmienność drzewostanów sosnowych od pozostałych zaznacza się dla większości obliczonych parametrów (ryc. 5). W szczególności zaś wymienione powyżej trzy drzewostany mają względem sosnowych wyraźnie wyższe wartości \bar{A} , \bar{V} , $\bar{\Delta D}$, $\bar{\sigma}$ oraz niższe wartości h i R . W obrębie drzewostanów sosnowych zaznacza się wraz ze wzrostem wieku wzrost wartości parametrów \bar{A} , \bar{V} , $\bar{\Delta D}$, $\bar{\sigma}$ oraz spadek wartości parametrów h , R i \bar{K} . Średnia wartość D jedynie dla drzewostanu So 4 jest wyraźnie niższa (0,62) i wskazuje na duże znaczenie odsłoniętego gruntu dla tej charakterystyki. Wartość ta w przypadku pozostałych grup wiekowych oscyluje w zakresie 0,87—1,01 jednostek D .

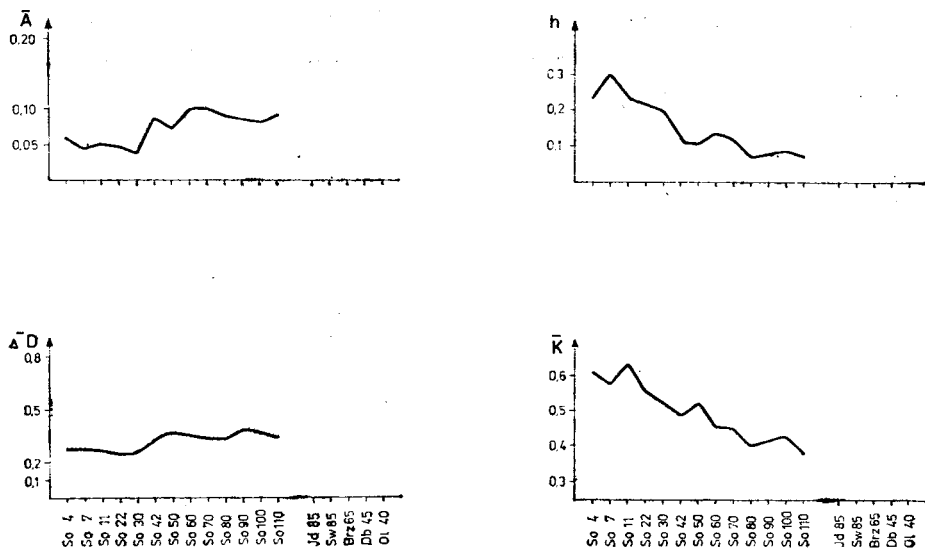
W celu obiektywnej oceny stopnia zależności pomiędzy wiekiem drzewostanów sosnowych a zmiennością poszczególnych parametrów zastosowano współczynniki korelacji i determinacji (Gregory, 1976). Rezultaty świadczą, iż najwyższy współczynnik determinacji istnieje pomiędzy wiekiem drzewostanów a parametrami \bar{K} (90,5%) oraz h (84,6%). Natomiast w najmniejszym stopniu zmienność wartości spowodowana wiekiem istnieje w odniesieniu do parametru \bar{D} (tab. 1). Dla sprawdzenia, czy

Ryc. 3. Histogramy rozkładu części wartości D

Fig. 3. Histogrammes of the distribution of D value frequency







Ryc. 5. Wartości niektórych parametrów dla różnych drzewostanów
 Fig. 5. Values of some parameters for various stands of trees

Tabela 1

Table 1

Ocena stopnia zależności między wiekem drzewostanu sosnowego a obliczonymi parametrami

Estimation of the correlation between fir standing trees and calculated parameters

Parametr (Parameter)	r	r ²	Test istotności korelacji (Test of the correlation essentiality)			
			t	α = 0,05	α = 0,01	α = 0,001
				t _α = 2,20	t _α = 3,11	t _α = 4,44
\bar{A}	0,736	0,542	3,61	+	+	-
$\bar{\Delta D}$	0,795	0,632	4,35	+	+	-
\bar{K}	-0,952	0,905	10,24	+	+	+
\bar{D}	0,237	0,056	0,81	-	-	-
$\bar{\sigma}$	0,765	0,586	3,94	+	+	-
\bar{V}	0,631	0,398	2,70	+	-	-
\bar{h}	-0,920	0,846	7,76	+	+	+
\bar{R}	-0,777	0,604	4,01	+	+	-

Objaśnienia: α — założony poziom istotności, t — wskaźnik testu istotności, t_α — wartość krytyczna wskaźnika t przy danym α, znak „+” oznacza istotność statystyczną przy założonym α (t > t_α).

α — essentiality preassumed level, t — indicator of the correlation essentiality test, t_α — critical value of the t indicator with the preassumed α. The mark „+” denotes the statistical essentiality with the preassumed α (t > t_α).

Ryc. 4. Figury charakterystyczne badanych drzewostanów

Fig. 4. Characteristic shapes of the stands of trees under examination

otrzymane wartości współczynnika korelacji (r) wiernie odzwierciedlają istniejące zależności, przeprowadzono test istotności korelacji. Obliczono wartość t (Gregory, 1976):

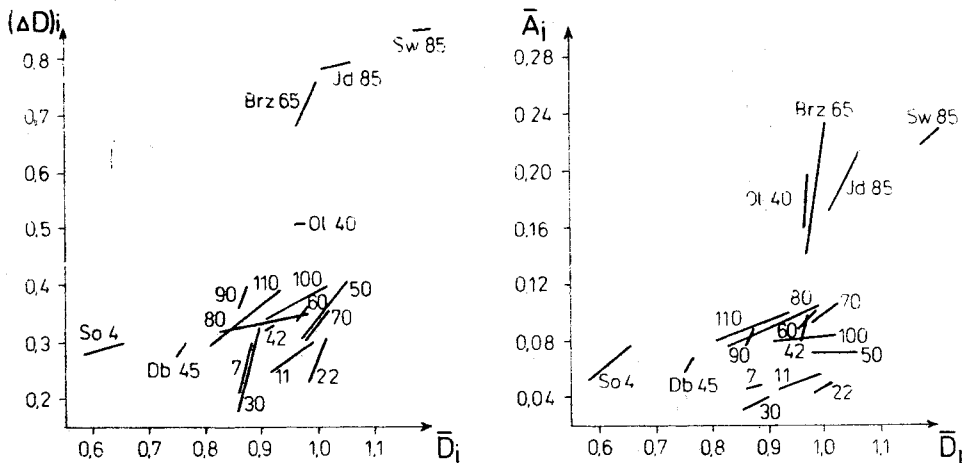
$$t = \frac{r\sqrt{p-2}}{\sqrt{1-r^2}},$$

gdzie:

- r — współczynnik korelacji liniowej = $\frac{1/p \sum (a-\bar{a}) \cdot (w-\bar{w})}{\sigma_a \cdot \sigma_w}$
 r^2 — współczynnik determinacji,
 p — liczba par badanych danych,
 a — wartość danego parametru,
 w — wiek drzewostanu,
 σ — odchylenie standardowe.

Wartość ta przy $p-2 = 11$ stopniach swobody odniesiona została do wartości krytycznych rozkładu t Studenta przy założonych poziomach istotności ($\alpha = 5\%$, 1% oraz $0,1\%$). Wysoce istotne statystycznie okazały się wartości r obliczone dla parametrów \bar{A} , \bar{K} , $\bar{\Delta D}$, σ , h oraz R (tab. 1). W odniesieniu do nich powyżej 50% zmienności ($r^2 > 0,5$) może być wyjaśnione wiekiem.

Pomimo uzyskania dość wysokich współczynników korelacji między poszczególnymi parametrami a wiekiem drzewostanów sosnowych niejasna pozostawała istotność różnic wartości tych parametrów. Szczególne wątpliwości nasuwało porównanie zakresów ich zmienności w odniesieniu do indywidualnych prób (ryc. 6). Konieczne było stwierdzenie, czy



Ryc. 6. Zakresy zmienności charakterystyk \bar{D} , \bar{A} i ΔD różnych drzewostanów dla poszczególnych prób

Fig. 6. Ranges of the D , A and ΔD characteristics variability for various stands of trees

różnice otrzymanych średnich wartości są istotnie wynikiem zmienności międzygrupowej, czy też odpowiedzialna za nie jest zmienność wewnątrzgrupowa (międzypróbowa). Traktując typ drzewostanu jako grupę, a mikrofotogram jako próbę, przeprowadzono analizę wariancji na podstawie testu F Snedecora. Wskaźnik testu obliczono według wzoru (Gren, 1978):

$$F = \frac{\frac{1}{k-1} \sum_1^k (\bar{x}_i - \bar{x})^2 n}{\frac{1}{n-k} \sum_1^k \sum_1^n (x_i - \bar{x}_i)^2},$$

gdzie:

- k — liczba populacji,
- n — liczba prób,
- x_i — wynik pojedynczej próby,
- \bar{x}_i — średnia grupowa (z n prób),
- \bar{x} — średnia ogólna (z k grup).

Rozważaniom poddano hipotezę zerową: „wszystkie średnie wartości danego parametru w badanych populacjach są równe”. Do odrzucenia tejże i przyjęcia hipotezy alternatywnej konieczne jest spełnienie nierówności $F \geq F_\alpha$ (tab. 2). Ocenę przeprowadzono dla 6 parametrów przy przyjętych poziomach istotności 5% i 1%. Istotnie statystycznie okazały się różnice zaobserwowane dla średnich wartości wszystkich parametrów,

Tabela 2

Table 2

Ocena istotności różnic pomiędzy średnimi wartościami 6 parametrów dla 13 klas wieku drzewostanów sosnowych

Estimation of the essentiality of the differences occurring among average values of 6 parameters for 13 age classes of fir standingtrees

Parametr (Parameter)	Wartość F przy $(k-1)$ i $(n-k)$ stopniach swobody (F value $(k-1)$ and $(n-k)$ option estent)	Test istotności (The essentiality test)	
		$\alpha = 0,05$ $F_\alpha = 2,18$	$\alpha = 0,01$ $F_\alpha = 3,03$
\bar{A}	11,69	+	+
\bar{K}	5,07	+	+
\bar{AD}	2,72	+	—
\bar{D}	14,65	+	+
\bar{V}	2,35	+	—
$\bar{\sigma}$	1,62	—	—

Objaśnienia: α — założony poziom istotności, F — wskaźnik testu F Snedecora, F_α — wartość krytyczna wskaźnika F przy danym α , znak „+” oznacza istotność statystyczną przy założonym α ($F \geq F_\alpha$).

α — essentiality preassumed level, F — indicator of the Snedecor F test, F_α — critical value of F indicator with the given α . The mark „+” denotes the statistical essentiality with the preassumed α ($F \geq F_\alpha$).

z wyjątkiem odchylenia standardowego. Wysokim stopniem istotności cechują się różnice uśrednionych wartości parametrów D , K , A . Jak wykazano wcześniej (tab. 1), w odniesieniu do parametru \bar{D} nie stwierdzono istotnej korelacji z wiekiem drzewostanu. Jednakże różnice pomiędzy średnimi wartościami gęstości optycznej okazały się istotne statystycznie (tab. 2). W związku z tym ocenie poddano istotność różnic \bar{D} pomiędzy klasami wiekowymi drzewostanu sosnowego. Zastosowano test t Studenta, którego wskaźnik wyliczono według wzoru (Greń, 1978):

$$t = \frac{\bar{D}_1 - \bar{D}_2}{\sqrt{\frac{\hat{\sigma}_1^2}{N_1} + \frac{\hat{\sigma}_2^2}{N_2}}}$$

gdzie:

\bar{D} — średnia gęstość optyczna,

N — liczba ogólna,

$\sigma^2 = \frac{\sum (x - \bar{x})^2}{N}$; wariancja,

$\hat{\sigma}^2 = \frac{N}{N-1} \cdot \sigma^2$; ocena najlepsza wariancji.

Analizie poddano hipotezę zerową („wartości średnie parametru w obu populacjach są równe”) i w przypadku zaistnienia (przy założonych $\alpha = 5\%$ i 1%) uznano statystyczną istotność różnic wartości \bar{D}_1 i \bar{D}_2 . Wyniki przedstawia tab. 3. Świadczy ona, iż najlepsze rezultaty otrzymano dla klas wieku 4, 50 i 80 lat, a zadowalające dla klas 22 i 70 lat.

WNIOSKI

Parametry otrzymane w wyniku zastosowania metody mikrofotometrycznej pochodzily:

1) ze statystycznego opracowania odczytanych wartości gęstości optycznej — średni empiryczny zakres zmienności, średnia wartość gęstości optycznej, odchylenie standardowe, średni współczynnik zmienności wartości D ;

2) z analizy mikrofotogramów — średnia koncentracja fal, średnia amplituda fal;

3) z analizy figur charakterystycznych — wysokość figury, iloraz wysokości i podstawy figury. W przypadku większości parametrów stwierdzono wyraźną odrębność drzewostanów: jodłowego 85-letniego, brzożowego 65, świerkowego 85, olchowego 40, dębowego 45 oraz sosnowego 4-letniego od pozostałych drzewostanów sosnowych w klasach wieku 7—110 lat. Okazuje się, że drzewostany sosnowe w tym przedziale wiekowym można stosunkowo lepiej zróżnicować biorąc pod uwagę parametry pochodzące z analizy mikrofotogramów. Cechują się one wy-

Ocena istotności różnic średniej wartości gęstości optycznych pomiędzy każdą klasą wieku drzewostanów sosnowych

Estimation of the essentiality of the differences occurring among average values of the optical density between particular age classes of fir standingtrees

	So	$\alpha = 0,05$					$t_{\alpha} = 1,96$							
		4	7	11	22	30	40	50	60	70	80	90	100	110
$t_{\alpha} = 2,58$	4	X	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	7	+	X	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+
	11	+	+	X	+	+	-	+	-	+	+	+	-	+
	22	+	+	+	X	+	+	+	+	-	+	+	+	+
	30	+	-	+	+	X	+	+	+	+	+	+	+	-
	42	+	+	-	+	+	X	+		+	+	+	-	+
	50	+	+	+	+	+	+	X	+	+	+	+	+	+
	60	+	+	+	+	+		+	X	+	+	+	-	+
	70	+	+	+	-	+	+	+	+	X	+	+	+	+
	80	+	+	+	+	+	+	+	+	+	X	+	+	+
$\alpha = 0,01$	90	+	-	+	+	-	+	+	+	+	X	+	-	
	100	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	X	+
	110	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	X

znak „+” oznacza istotność statystyczną przy założonym α ($t \geq t_{\alpha}$).

α — założony poziom istotności,

t — wskaźnik testu t Studenta,

t_{α} — wartość krytyczna wskaźnika t przy danym α ,

n — liczba prób,

n_1 — liczebność pojedynczej próby; ponieważ $585 \leq \sum_1^n n_i \leq 1587$, przyjęto jednolite wartości

t_{α} dla wszystkich klas wieku

rażnie jednokierunkową zależnością od wieku drzewostanu, podobnie jak parametry pochodzące z analizy figur charakterystycznych. Trzy spośród parametrów uzyskanych w wyniku matematyczno-statystycznego opracowania odczytanych wartości gęstości optycznej (odchylenie standardowe, współczynnik zmienności, empiryczny zakres zmienności) wykazują dość dużą zależność od wieku drzewostanu, lecz istotność statystyczna różnic pomiędzy ich średnimi wartościami jest niewystarczająca. Natomiast średnia wartość gęstości optycznej jest w niewielkim stopniu zależna od wieku, ale różnice tej wartości są statystycznie istotne. Nie dotyczy to jednak wszystkich klas wieku.

LITERATURA

Furmańczyk K., 1980: *Zarys fotointerpretacji*, Gdańsk.

Gregory S., 1976: *Metody statystyki w geografii*, PWN, Warszawa.

Greń J., 1978: *Statystyka matematyczna. Modele i zadania*, PWN, Warszawa.

Owen-Jones E. S., 1977: *Densitometric methods of processing remote sensing data with special reference to crop-type and terrain studies*. W: *Environmental remote sensing 2: Practices and problems*, Eds Barrett, Curtis. London, Arnold Publ., p. 101—124.

MIROSLAW HASIUK

THE MICROPHOTOMETRICAL ANALYSIS OF THE IMAGE OF FORESTS ON AERIAL PHOTOS

S u m m a r y

Microphotograms of panchromatic aerial photos were made to obtain the quantitative characterization of image of various types of trees. They were registered with the aid of self-registering micrometer. The interrelation between the accuracy of the optical density and the dimensions of an analyzing aperture was investigated and the disadvantageous effect of the aperture width extending was recorded.

Eight parameters characterizing the object image on a photo were obtained in a result of photometrical profiles elaboration. It was found out that the parameters regarding various species of trees were differentiated. A detailed statistical-mathematical analysis was performed to estimate the parameters usefulness in case when the same species of trees but different age. Parameters obtained through microphotograms and characteristic figures elaboration appeared to be of greater value than those resulting from the statistical elaboration of the read-out values of the optical density.

MIROSLAW HASIUK

ANALYSE MICROPHOTOMÉTRIQUE DE L'IMAGE DES FORÊTS SUR LES PHOTOGRAPHIES AÉRIENNES

R é s u m é

Afin d'obtenir une caractéristique quantitative de l'image des divers types de peuplement d'arbres, nous avons effectué des microphotogrammes de photographies aériennes panchromatiques. L'enregistrement a été réalisé à l'aide d'un microphotomètre autoenregistreur. Nous avons effectué une étude de la dépendance de la précision de l'enregistrement de la densité optique des dimensions de la fente analysante, constatant une influence négative de l'agrandissement de la largeur de la fente.

Par suite de l'élaboration de profils photométriques, nous avons obtenu huit paramètres caractérisant l'image de l'objectif sur la photographie. Nous avons constaté une différenciation des paramètres par rapport aux divers genres de peuplement en arbres. Afin d'apprécier l'utilité des paramètres dans le cas de peuplement en arbres d'âge différents de la même essence, nous avons effectué une

analyse statistique mathématique détaillée. Nous avons reconnu la supériorité des paramètres provenant de l'élaboration des microphotogrammes ainsi que des figures caractéristiques sur les paramètres obtenus par la voie de l'élaboration statistique des valeurs relevées de la densité optique.

(Traduit par Michal Michalak)