

FOTOINTERPRETACJA W GEOGRAFII

24 PROBLEMY TELEGEODYDZIEJ

WARSZAWA 1994



Zdzisław Mazik*

Statystyczna metoda optymalizacji zakresu widmowego uczulenia urządzeń wizyjnych w teledetekcji

A statistical method of optimization of the spectral range of sensitivity of visual devices

The increasing demand from the side of economy on systematically updated information on the condition of the environment makes it necessary to implement more and more advanced image-based methods of evaluation and control. The special value for the remote sensing assessment of environment are the multispectral methods yielding information not only on the changes of color contents, but also on changes of structure.

The facilities mounted on aircraft and cosmic devices, in the form of multispectral photographic cameras and scanners (like the photographic cameras and scanners used in LANDSAT satellites and in the orbiting station SALUT-7 are commonly known). A survey of the image information, obtained with the multispectral equipment used until now gives rise to the conclusion of the purposefulness of the flexible operation with respect to location and number of spectral ranges of sensitivity of this equipment. The dominating tendency in the modern and

future designs for the optoelectronic devices is development of image spectrometers and TV systems in which automatic adaptation process can be carried out according to definite algorithms. This implies that the image spectrometers and the multispectral TV systems should either be specialized for definite domains or automatically tuned. In this manner it will become possible for a device to "adapt" to the spectral and energy changes occurring on the surfaces observed.

The paper presents one of the methods of determination of optimum spectral ranges for observation of environment, illustrated with the example of analysis of albedo conditions in Central Europe.

The analysis presented in the paper makes it possible to state that the optimum spectral range of observation of the earth cover in European conditions is the interval of electromagnetic wavelengths between 700 and 815 nm.

Wstęp

Rosnące zapotrzebowanie gospodarki na systematycznie uaktualniane informacje o stanie otoczenia, zmuszają do wdrażania coraz to nowych obrazowych metod oceny i kontroli. Szczególnie cenne dla zdalnej oceny środowiska są metody wielospektralne dające informacje nie tylko o zmianach kolorystyki, lecz także struktury.

Znane są powszechnie urządzenia na samolotach i

platformach kosmicznych, w postaci wielospektralnych kamer fotograficznych i skanerów (Bojborodin, 1985), jak na przykład kamery fotograficzne i skanery stosowane w satelitach LANDSAT i stacji orbitalnej SALUT-7. Przegląd informacji obrazowych, uzyskanych dotychczas stosowanymi urządzeniami wielospektralnymi, nasuwa wnioski o celowości elastycznego operowania położeniem i liczbą widmowych zakresów uczulenia tych urządzeń. Dominującą tendencją we współczesnych i przyszłościowych opracowaniach systemów optoelekt-

* Dr inż. Zdzisław Mazik, Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Inżynierii Lotniczej i Geodezji, Instytut Geodezji i Meteorologii, ul. Gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 01-476 Warszawa.

ronicznych jest tworzenie spektrometrów obrazowych i telewizyjnych systemów, w których można realizować automatyczny proces adaptacji, według określonych algorytmów. Z powyższego wynika, że spektrometry obrazowe i wielospektralne systemy telewizyjne powinny być specjalizowane do określonych dziedzin lub automatycznie dostrajane. Umożliwi to „przystosowanie” się urządzenia do zmian widmowo-energetycznych występujących na obserwowanej powierzchni.

W artykule przedstawiony został jeden ze sposobów wyznaczania optymalnych zakresów widmowych obserwacji środowiska, zobrazowany przykładem analizy warunków odbiciowych terenu środkowej Europy.

Uwarunkowania optymalizacji zakresu uczulenia urządzeń wizyjnych

Stan lub własności ośrodków i powierzchni określane są szeregiem wielkości fizycznych, powodujących zmiany padającego strumienia światła (Chrgian, 1969). Zmiany te transformowane zostają przez strumień wtórny światła (przechodzący lub odbity) i przetwornik światło-sygnal elektryczny na parametry rozpoznawczego urządzenia wizyjnego (Condit, 1954; Gawrilow, 1966; Kazarian, 1985). Zbiór tych parametrów formuje na jego wyjściu obraz będący odwzorowaniem obserwowanego pierwowzoru. Odwzorowany obraz jest następnie analizowany przez operatora lub urządzenie decyzyjne.

Właściwości i rozkład wielkości fizycznych pól promieniowania wychodzącego z ośrodka lub odbitego od powierzchni ma charakter widmowy. Powszechnie operuje się uśrednionymi w pewnym zakresie widma właściwościami transmisyjnymi ośrodka lub odbiciowymi obserwowanego pola.

W praktyce informacja o cechach obserwowanego pola (praobrazu) może być zawarta w całym widmie promieniowania świetlnego, w określonym zakresie widma lub w kilku podzakresach (Mazik, 1987; 1987a; 1993).

Elementem urządzenia wizyjnego decydującym o transformacji obserwowanego pola na obraz, jest przetwornik światło-sygnal elektryczny (detektor). W rzeczywistości nie występuje pojęcie detektora uniwersalnego i uniwersalnego zbioru charakterystyk, za pomocą których można opisać „idealny” odbiornik promieniowania świetlnego, pasujący do wszystkich możliwych zastosowań. Można jednak wprowadzić określenie detektora optymalnego, dopasowanego do warunków obserwacji i specyfiki dziedziny (np: monitoring środowiska, rozpoznanie obrazowe, rolnictwo, zastosowania kosmiczne, a także medycyna, biotechnologia itd). W monitoringu środowiska naturalnego za dopasowany detektor będzie rozumiany taki przetwornik, który umożliwi uzyskanie maksymalnej wykrywalności skażeń. Osiągnięcie tego będzie możliwe po określeniu własności odbiciowych obserwowanego otoczenia, a następnie wykorzystaniu przedziału widmowego dającego pełną informację o jego stanie.

Inaczej ujmując, optymalne odwzorowanie kontra-

stów rozpoznawanego obrazu przetransformowanego w płaszczyznę detektora, a więc widzianego bezpośrednio przez urządzenie wizyjne, jest możliwe po określeniu optymalnego odbioru fali świetlnej niosącej informację o obserwowanym polu.

Oto jedna z definicji optymalnego odbioru: detektor powinien odbierać i przetwarzać możliwie pełną informację niesioną przez odbitą falę świetlną.

Z definicji tej wynika, że detektor powinien odbierać i przetwarzać wszystkie kontrasty tworzące praobraz przeniesione w płaszczyznę detektora, w całym zakresie widmowym uczulenia rozpoznawczego urządzenia wizyjnego.

Kontrast pozorny — „widziany” przez detektor można przedstawić w następującej formie (Zujew, 1983):

$$K_{\lambda_1 - \lambda_2} = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} [I_1(\lambda) - I_2(\lambda)] a(\lambda) d\lambda}{\max \left[\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} I_1(\lambda) a(\lambda) d\lambda, \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} I_2(\lambda) a(\lambda) d\lambda \right]} \quad (1)$$

gdzie: $I_1(\lambda)$, $I_2(\lambda)$ — luminacje elementów obiektu; $a(\lambda)$ — czułość widmowa odbiornika.

Występująca w zależności czułość widmowa urządzenia wizyjnego (detektora), decyduje o przetwarzaniu widzianych kontrastów i czytelności analizowanego obrazu. Przez optymalizację tej funkcji należy rozumieć dopasowanie jej do warunków „widmowych” (transmisyjnych lub odbiciowych) występujących na obiekcie podlegającym obserwacji. Sposób wyznaczania optymalnych zakresów widmowych obserwacji powierzchni (stanowiący cel pracy) przedstawiony zostanie na przykładzie analizy warunków odbiciowych terenu, przeznaczonej dla ochrony środowiska lub ogólnie dla teledetekcji.

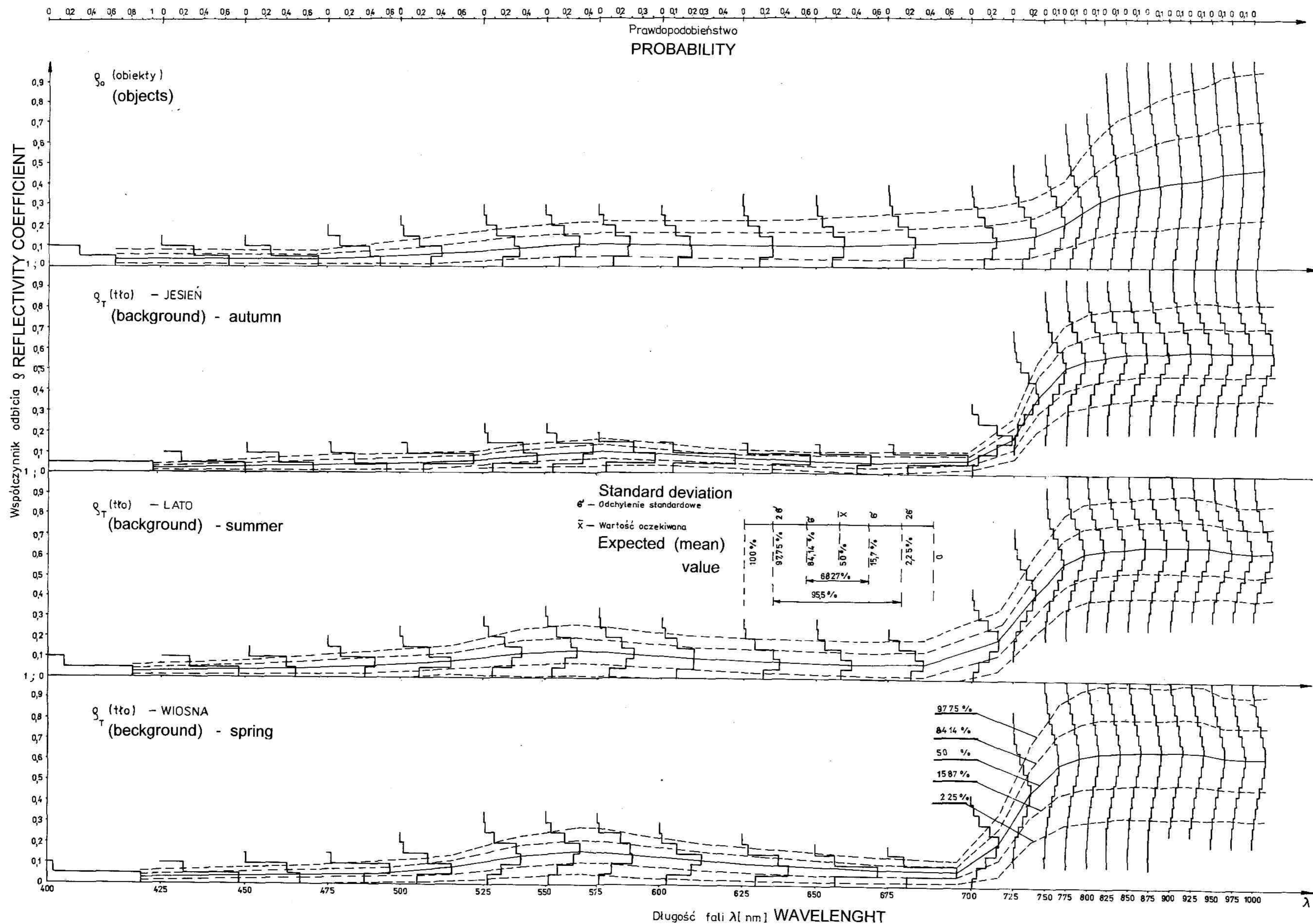
Istota przedstawionej metody optymalizacji

W monitoringu środowiska głównym źródłem oświetlenia jest energia słoneczna, której rozkład widmowy jest ogólnie znany, dlatego też bliżej przedstawiona zostanie analiza wpływu warunków odbiciowych występujących na powierzchni Ziemi i decydujących o jej obrazie w okresach intensywnej wegetacji roślinności tzn. wiosną, latem i jesienią.

Na szerokościach geograficznych obejmujących Polskę i odpowiadających klimatowi umiarkowanemu, przyjętych do analizy, charakterystyki optyczne tła i obiektów terenowych podlegają silnym zmianom. Zmiany te powodują znaczną złożoność obserwowanych obrazów powierzchni Ziemi.

Większość powierzchni obiektów naturalnych i sztucznych występujących na tych obrazach posiada stosunkowo niewielkie średnie wartości współczynnika odbicia, zawarte w przedziale $\rho = 0,01 - 0,2$, a tylko w pojedynczych przypadkach osiągają wielkości w granicach $\rho = 0,4 - 0,85$ (Album współczynnika..., 1970).

Na podstawie obserwacji zmian średnich współczyn-



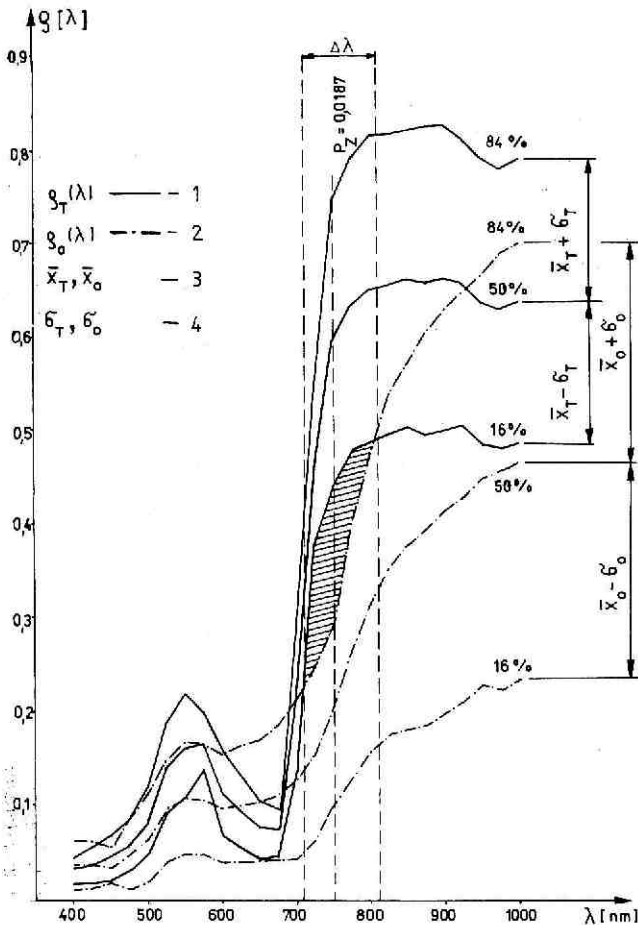
Ryc. 1. Widmowe rozkłady gęstości prawdopodobieństwa współczynników odbicia elementów pokrycia powierzchni terenu
 Fig. 1. Spectral probability density distributions for the coefficients of reflectivity of the elements of land cover

ników odbicia można sądzić, że różnice w jasności między fragmentami obrazów powierzchni Ziemi są niewielkie a przy tym bardzo zróżnicowane. Dlatego też podczas analizy ich własności informacyjnych należy brać pod uwagę charakterystyki widmowe współczynników odbicia, a przy optymalizacji odbioru stosować rachunek statystyczny.

Mając powyższe na uwadze w przedstawionej metodzie optymalizacji odbioru, utworzono zbiory charakterystyk widmowych: tła — obejmujące roślinność wiosną, latem i jesienią; oraz obiekt — obejmujący elementy bezchlorofilowe pokrycia powierzchni Ziemi. Zbiory te poddano następnie obróbce statystycznej, wykorzystując normalny rozkład prawdopodobieństwa (Lang, 1972; Mazik, 1987). Wyniki obliczeń statystycznych wymienionych zbiorów tła i obiektów przedstawione zostały na rycinie 1, natomiast porównanie rozkładów prawdopodobieństwa na rycinach: dla wiosny — 2, lata — 3, jesieni — 4.

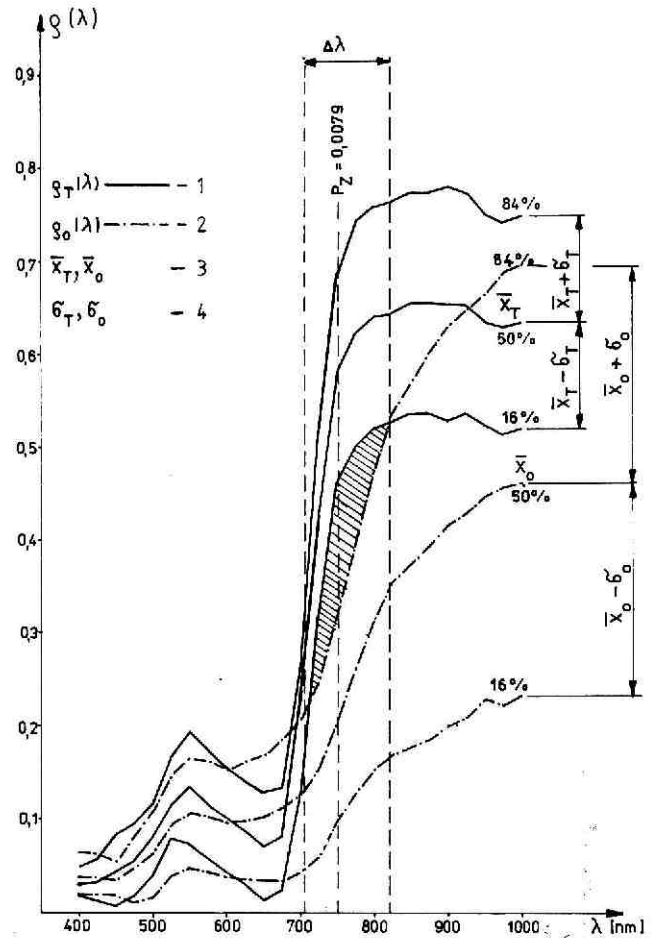
Analiza wyników

Z analizy statystycznej zbiorów charakterystyk widmowych obiektów i tła wynika, że w przedziale widmo-



Ryc. 2. Porównanie zbiorów współczynników odbicia (tła $\rho_T(\lambda)$ i obiektów $\rho_O(\lambda)$) w okresie wiosny. 1 — zbiór tła; 2 — zbiór obiektów; 3 — wartości oczekiwane; 4 — odchylenia standardowe

Fig. 2. Comparison of the sets of coefficients of reflectivity of the background $\rho_T(\lambda)$ and definite objects $\rho_O(\lambda)$ in the period of spring. 1 — background set; 2 — object set; 3 — expected (mean) value; 4 — standard deviation



Ryc. 3. Porównanie zbiorów współczynników odbicia (tła $\rho_T(\lambda)$ i obiektów $\rho_O(\lambda)$) w okresie lata. 1 — zbiór tła; 2 — zbiór obiektów; 3 — wartości oczekiwane; 4 — odchylenia standardowe

Fig. 3. Comparison of the sets of coefficients of reflectivity of the background $\rho_T(\lambda)$ and definite objects $\rho_O(\lambda)$ in the period of summer. 1 — background set; 2 — object set; 3 — expected (mean) value; 4 — standard deviation

wym od 400 do 1000 nm, występują podzakresy, w których zbiory pod względem prawdopodobieństwa występowania współczynników odbicia (na poszczególnych długościach fal) są wzajemnie mniej lub bardziej zbieżne. Analizę oceny zbieżności dwóch rozkładów niezależnych zmiennych przypadkowych jakimi są współczynniki odbicia obiektów tła, dokonano w tym przypadku przy zastosowaniu rachunku kompozycji zbiorów według zależności (Lang, 1972)

$$P_z = \sum_i P_{T_i}(\lambda) P_{O_i}(\lambda) \quad (2)$$

gdzie: $P_z(\lambda)$ — kompozycja dwóch niezależnych rozkładów prawdopodobieństwa dla długości fali λ ,

$P_{T_i}(\lambda)$ — prawdopodobieństwo występowania współczynnika odbicia tła ρ_T w i -tym przedziale wartości dla długości fali λ ,

$P_{O_i}(\lambda)$ — prawdopodobieństwo występowania współczynnika odbicia obiektów ρ_O w i -tym przedziale wartości dla długości fali λ .

Wartości kompozycji zbiorów zawarte są w przedzia-

le od $P_Z = 0$ gdy zbiory są rozbieżne, do $P_Z = 1$ dla zbiorów pokrywających się. Kompozycję dwóch rozkładów niezależnych zmiennych losowych jakimi są utworzone zbiory charakterystyk widmowych tła i obiektów, pokazano na rycinie 5. Największą wartość kompozycja zbiorów osiąga dla długości fali $\lambda = 400$ nm i wynosi $P_Z = 0.6$, występuje wówczas największe pokrycie zbiorów. W miarę wzrostu długości fali λ następuje płynne obniżanie się wartości kompozycji zbiorów aż do długości fali $\lambda = 700$ nm, gdzie osiąga poziom $P_Z = 0.18$. Od tej długości fali następuje szybki spadek wartości kompozycji (co oznacza rozchodzenie się zbiorów) aż do wartości minimalnej przypadającej na długość fali $\lambda = 750$ nm. Wiosną wartość kompozycji osiąga poziom $P_Z = 0,0188$, latem 0,00789 i jesienią 0,0147. Z powyższego omówienia wynika, że największa zbieżność występuje dla fali o długości $\lambda = 400$ nm, przy której zbiory prawie całkowicie pokrywają się. W miarę wzrostu długości fali, do $\lambda = 700$ nm, następuje stopniowe rozchodzenie się zbiorów. Od tej długości następuje szybki

znacznym wzrost rozbieżności zbiorów, by przy wartości $\lambda = 750$ nm osiągnąć najmniejsze pokrycie. Wiosną i jesienią rozbieżność omawianych zbiorów jest porównywalna, natomiast latem osiąga maksimum dla fali $\lambda = 750$ nm. Wartość kompozycji osiąga wówczas poziom $P_Z = 0,00789$. Można stwierdzić, że przy fali o długości $\lambda = 750$ nm występuje duża pewność wykrycia obiektu na tle zieleni (chlorofilu). Od długości 750 nm następuje stopniowe nakładanie się zbiorów, co jest wynikiem ustalania się współczynników odbicia tła (chlorofilu) i stopniowego wzrostu współczynników odbicia obiektów w zakresie $\Delta\lambda = 775 - 1000$ nm. Analizując charakter skupienia zbiorów tła (chlorofilu) można stwierdzić, że do długości fali $\lambda = 700$ nm skupienie jest duże i obejmuje małe wartości współczynników odbicia od $\rho = 0$ do $\rho = 0,3$. Natomiast od $\lambda = 700$ nm następuje poszerzenie się krzywej rozkładu gęstości prawdopodobieństwa i obniżenie się maksymalnej wartości gęstości. Zbiory przesuwają się na wyższe wartości współczynników odbicia w przedział $\rho = 0,25$ do $\rho = 1$ i stają się rozstrzelone. Fragmenty obrazów stanowiących tło są znacznie jaśniejsze od obiektów. Porównując funkcje rozkładów gęstości prawdopodobieństwa tła i obiektów, dla wszystkich trzech pór roku, bardzo interesujący jest przedział długości fal od $\lambda = 700$ nm do $\lambda = 815$ nm. W przedziale tym pokrywa się maksymalnie około 16%

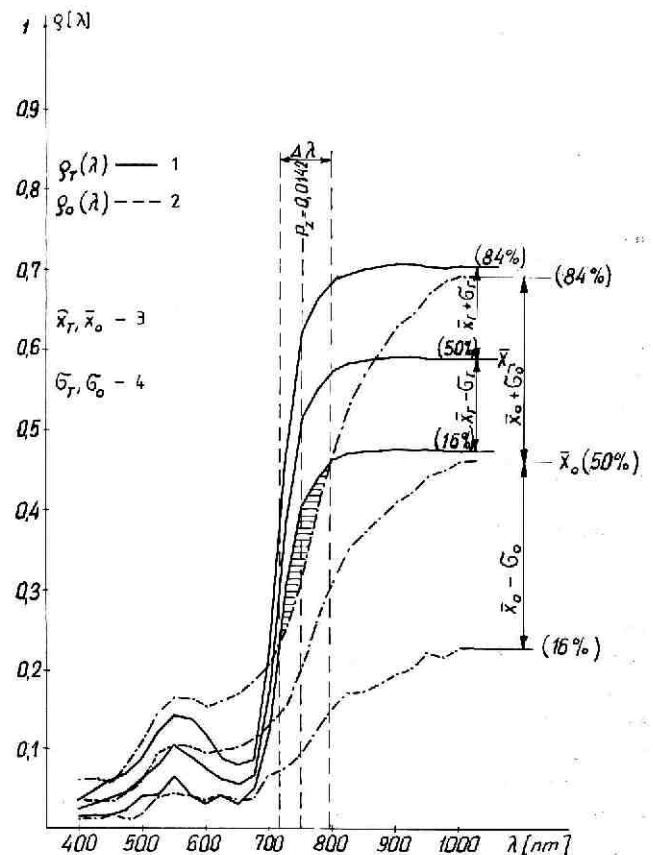
Tabela 1

Widmowe charakterystyki kompozycji zbiorów współczynników odbicia tła i obiektów

Spectral signature background and objects reflection factors files composition

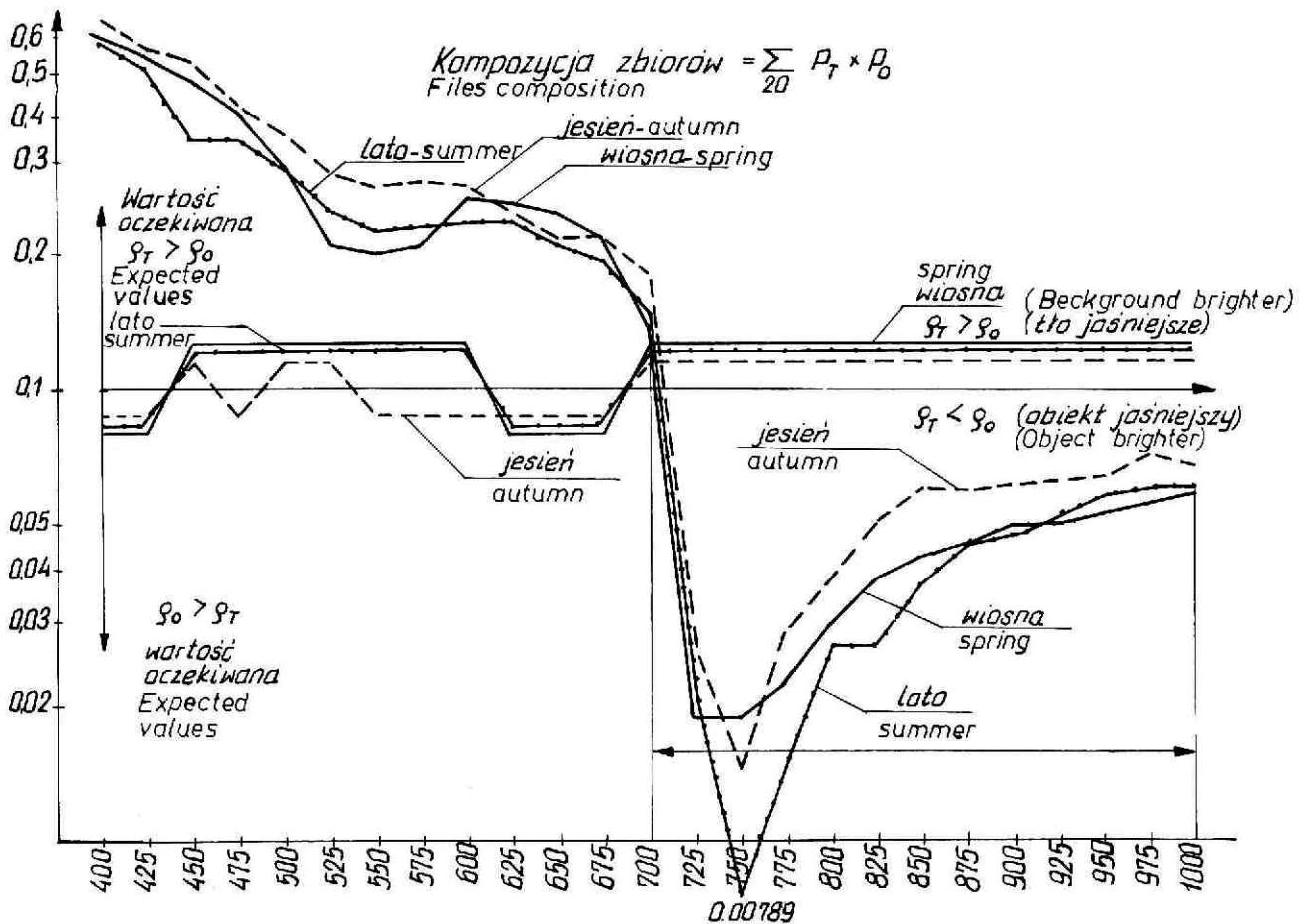
lambda nm	Kompozycja rozkładów prawdopodobieństwa**		
	Composition of the distributions of a random variable		
	wiosna spring	lato summer	jesień autumn
400	0,612	0,572	0,647
425	0,546	0,504	0,565
450	0,483	0,353	0,535
475	0,406	0,353	0,419
500	0,311	0,008	0,365
525	0,209	0,249	0,298
550	0,198	0,221	0,280
575	0,208	0,227	0,289
600	0,262	0,233	0,281
625	0,257	0,234	0,246
650	0,245	0,206	0,216
675	0,216	0,190	0,216
700	0,138	0,146	0,181
725	0,0187	0,021	0,0265
750	0,0188	0,00789	0,0147
775	0,0225	0,0154	0,029
800	0,0306	0,0274	0,0293
825	0,0456	0,0272	0,052
850	0,0423	0,0373	0,061
875	0,0386	0,0459	0,059
900	0,049	0,0498	0,062
925	0,051	0,0526	0,063
950	0,054	0,0587	0,064
975	0,056	0,061	0,073
1000	0,059	0,0613	0,068

** Rozkład prawdopodobieństwa obliczony jest według wzoru:
Distribution of a random variable is calculated according to formula
 $P_Z = \sum_{20} P_r P_o$



Ryc. 4. Porównanie zbiorów współczynników odbicia tła $\rho_T(\lambda)$ i obiektów $\rho_o(\lambda)$ w okresie jesieni. 1 — zbiór tła; 2 — zbiór obiektów; 3 — wartości oczekiwane; 4 — odchylenia standardowe

Fig. 4. Comparison of the sets of coefficients of reflectivity of the background $\rho_T(\lambda)$ and definite objects $\rho_o(\lambda)$ in the period of autumn. 1 — background set; 2 — object set; 3 — expected (mean) value; 4 — standard deviation



Ryc. 5. Widmowe charakterystyki kompozycji zbiorów współczynników odbicia tła i obiektów

Fig. 5. Spectral characteristics of the composition of sets of reflectivity coefficients for the background and objects

wartości zbiorów. Pokrycie zbiorów jest najmniejsze przy $\lambda = 750$ nm obejmuje wartości współczynników odbicia w zakresie od $\rho = 0,2$ do $\rho = 0,55$. Istnieje więc duża pewność, że wartości większe od $\rho = 0,55$ przyjmują elementy tła, natomiast mniejsze od $\rho = 0,2$ elementy obiektów.

Wnioski

Reasumując powyższe omówienie wyników należy stwierdzić, że optymalnym zakresem widmowym obserwacji pokryć powierzchni Ziemi w warunkach europejskich, jest przedział fal elektromagnetycznych od 700 do 815 nm. Urządzenie wizyjne o takiej charakterystyce widmowej uczulenia będzie dopasowane do tego typu obserwacji. Ponieważ dla innych zastosowań zakresy widmowe uczulenia będą różne, urządzenia wizyjne powinny być specjalizowane lub mieć możliwość adaptacji do warunków transmisyjnych lub odbiciowych występujących na obserwowanym obrazie.

Literatura

Album współczynnika odbicia tła. 1970: Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji Wjskowej Akademii Technicznej, Warszawa.

- Bojborodin W.A., 1985: *Aviacionnyje sistemy informacii optičeskowo diapazona*. Maszynostrojenie, Moskwa.
- Churgian A. Ch., 1969: *Fizyka atmosfery*. Gidrometeorologičeskoje izdatielstwo, Leningrad.
- Condit H.R., 1954: Spektral energy distribution of day light. *Journal of Optical Society of America*, Vol. 54, No 7.
- Gawriłow W.A., 1966: *Widimost w obłocznoy atmosferze*. Gidrometeorologičeskoje izdatelstwo, Leningrad.
- Kazarian R.A., 1985: *Optičeskie sistemy pieredaczi informacii po atmosferomu kanalu*. Radio i swiaź, Moskwa.
- Lang A., 1972: *Zastosowanie rachunku wyrównawczego w geodezji*. PWN, Warszawa.
- Mazik Z., 1987: Wykrywanie i rozpoznawanie obiektów w zakresie widzialnym. III Konferencja Naukowa WAT — Referaty, Warszawa.
- Mazik Z., 1987: *Modelowanie charakterystyki widmowej urządzenia rozpoznawczego dla potrzeb rozpoznania obrazowego w zakresie widzialnym i bliskiej podczerwieni*. Rozprawa doktorska WAT. Warszawa.
- Mazik Z., 1993: Wybrane metody optymalizacji zakresu widmowego urządzeń rozpoznawczych w monitoringu środowiska. *Symposium naukowe "Stan i kierunki rozwoju aparatury geodezyjnej i monitoringu środowiska"*, Referaty, Turawa.
- Zujew B.E., 1983: *Primienienije korelacionnych metodow w atmosfernoj optičke*. Nauka, Nowosybirsk.