

SŁAWOMIR KRÓLEWICZ

ZMIENNOŚĆ JASNOŚCI POWIERZCHNI PIASZCZYSTYCH W OKOLICY ŁEBY NA ZDJĘCIACH LOTNICZYCH Z UWZGLĘDNIENIEM ZMIAN POŁOŻENIA I WŁAŚCIWOŚCI UKŁADU OPTYCZNEGO KAMERY*

ZARYS TREŚCI

Celem pracy jest przedstawienie ilościowe zmienności jasności powierzchni piaszczystych odfotografowanych na kolejnych zdjęciach lotniczych w szeregu kamerą RMK A 15/23. Jako obszar testowy wybrano wydmy położoną w okolicach Łeby. Za bezwzględną miarę jasności obiektu badawczego na negatywie zdjęcia przyjęto gęstość optyczną. Jej pomiary wykonano za pomocą profesjonalnego skanera poligraficznego. Przed analizą zmienności jasności badanych powierzchni skorygowano wpływ układu optycznego. Stwierdzono, że główną przyczyną modyfikującą jasność powierzchni piaszczystych na zdjęciach lotniczych jest kąt, pod jakim padają na nie promienie słoneczne. Przy zróżnicowaniu tego kąta w zakresie od 23° do 62° zakres gęstości optycznej, w jakim zarejestrowano powierzchnie piaszczyste, stanowił niemal 30% pełnego zakresu gęstości optycznej zmierzonej na negatywie. Zmiana kierunku obserwacji, związana z przemieszczeniem kamery lotniczej w trakcie lotu, spowodowała zmianę jasności powierzchni piaszczystych o 10–25% zakresu gęstości optycznej na nie przypadającego.

WPROWADZENIE

Większość obiektów naturalnych nie odbija promieniowania słonecznego równomiernie we wszystkich kierunkach. Znaczna część naturalnych powierzchni glebowych wykazuje cechy obiektów nielambertowskich, które charakteryzują się zmiennością jasności w zależności od warunków jej oświetlenia i obserwacji. Przeważnie gleby są najjaśniejsze, gdy widzi się najmniej ich powierzchni zacienionych. Ma to miejsce, gdy detektor obserwuje powierzchnie, mając Słońce za sobą, i gdy kierunek obserwacji jest

zbliżony do kąta padania promieni słonecznych (MILTON, WEBB 1987; CIERNIEWSKI 1989; IRONS i in. 1989). Najważniejszym czynnikiem wpływającym na rozkład dwukierunkowego odbicia spektralnego od powierzchni glebowych jest stopień ich zacienienia, który wynika z szorstkości gleb (NORMAN i in. 1985; TAYLOR i in. 1996). Przy założeniu jednakowej szorstkości danej powierzchni głównymi przyczynami modyfikującymi kąt odbicia wiązki promieni słonecznych są nachylenie i ekspozycja stoku względem źródła oświetlenia. Szorstkość powierzchni jest zazwyczaj rozpatrywa-

* Praca prezentuje wyniki badań prowadzonych w ramach grantu finansowanego przez KBN nr 6PO4E05117. Autor składa podziękowania za opiekę naukową panu prof. Jerzemu Cierniewskiemu, panom Lechowi Kaczmarkowi i Tomaszowi Wesołowskiemu za pomoc w pomiarach geodezyjnych oraz panu Piotrowi Burdziakowi za udostępnienie skanera.

na w mikroskali, natomiast nachylenie i orientację stoku odnosi się do makroskali.

Obraz negatywowo powstaje na skutek reakcji światła z warstwą światłoczułą filmu, powodując jej zaczernienie. Stopień zaczernienia jest proporcjonalny do ilości energii padającej na błonę fotograficzną. Ilość światła docierającego bezpośrednio do obiektu kamery lotniczej zależy od jego odbicia od powierzchni Ziemi i rozproszenia w atmosferze.

O wartości promieniowania elektromagnetycznego odbitego od powierzchni decydują następujące czynniki:

- suma bezpośredniego promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni Ziemi i promieniowania rozproszonego atmosfery (im Słońce wyżej na horyzoncie, tym więcej energii dociera do powierzchni Ziemi, w efekcie tego również więcej ulega odbiciu),
- właściwości fizyczne i chemiczne powierzchni odbijającej (barwa, wilgotność, szorstkość powierzchni oraz jej położenie topograficzne itp.).

O zmienności wartości odbitego promieniowania elektromagnetycznego na drodze od rozpatrywanej powierzchni do kamery, gdzie jest rejestrowane, decydują warunki atmosferyczne (rozproszenie bezpośredniego promieniowania słonecznego i odbitego od powierzchni Ziemi od cząstek stałych i aerozoli) oraz wysokość fotografowania. W miarę wzrostu wysokości fotografowania słabnie kontrast pomiędzy obiektami terenowymi, czego przyczyną jest wzrost udziału promieniowania rozproszonego. Według HARRISA (1968) współczynnik odbicia jasnego piasku do ciemnych drzew ma się jak 20 do 1 na powierzchni Ziemi, natomiast na wysokości 4500 m jak 8 do 1 przy dobrych warunkach atmosferycznych i 3 do 1 przy dużym rozproszeniu światła. Dodatkowo strumień światła

docierający bezpośrednio do błony filmowej, przechodząc przez układ optyczny kamery, ulega osłabieniu w miarę wzrostu odległości od punktu głównego zdjęcia (LILLESAND, KIEFER 1994; WÓJCIK 1989). Uwzględnienie wszystkich wymienionych powyżej czynników podczas interpretacji jest dość trudne. Natomiast ich nieuwzględnienie w procesie cyfrowej klasyfikacji może być źródłem poważnych błędów.

Wykonując w ciągu 6–8 sekund 3–4 zdjęcia w jednym szeregu, można założyć stałość wysokości Słońca, warunków atmosferycznych, wysokości fotografowania oraz czasu otwarcia migawki i przysłony. Elementami, które powodują zmienność jasności obrazu, są kierunek obserwacji powierzchni i jej położenie w określonych warunkach topograficznych.

W celu przeanalizowania zmian jasności określonych punktów badawczych konieczne jest określenie warunków ich obserwacji i oświetlenia. Jasność określonych punktów badawczych na kolejnych zdjęciach wyraża się za pomocą gęstości optycznej. Definiuje się ją jako wielkość charakteryzującą absorpcję światła przez wywołane klisze fotograficzne (SITEK 1992). Jest ona wyrażona wzorem:

$$D = \log \left(\frac{l}{t} \right) \quad (1)$$

gdzie l – grubość warstwy pochłaniającej filmu, t – współczynnik transmisji.

W literaturze znajdujemy sporo przykładów stosowania pomiaru gęstości optycznej. W badaniach gleboznawczych na podstawie jej zróżnicowania wyznaczano poszczególne typy gleb. Np. ANDRONIKOW (1986) podaje, iż na podstawie pomiarów mikrofotometrycznych zdjęć satelitarnych wyróżniono gleby kasztanowe, piaszczyste gleby darniowobielicowe, piaski luźne oraz czarnoziemy. ORŁOW (1977, za ANDRONIKOWEM 1986)

oraz JANUTSZ (1963, za ANDRONIKOWEM 1986) na podstawie charakteru zróżnicowania profili densytometrycznych określali stopień erozji. BIAŁOUSZ (1979) wskazał na przydatność krzywych mikrofotometrycznych do identyfikacji użytkowania gruntów rolnych. GERBERMANN i in. (1971) ocenili przydatność dwóch kolorowych filmów do identyfikacji typów gleb na podstawie barwy. Analizę struktury zasiewów przy wykorzystaniu danych densytometrycznych wykonał CIOŁKOSZ (1970). FURMAŃCZYK (1977) zastosował pomiar gęstości optycznej do określania głębokości w strefie brzegowej Morza Bałtyckiego. Pomiar gęstości optycznej stosowano również do rozpoznawania wieku, rodzaju i stanu zdrowotnego drzewostanów leśnych (BĘDKOWSKI 1984; HASIUK 1984; MIZGAJSKI 1980; LESCHACK 1971; CIEŚLA i in. 1971), badania zróżnicowania struktury krajobrazu (GACKI 1977, 1980), wyróżniania typów roślinności w strefie brzegowej (PESTRONG 1969), automatycznej identyfikacji rodzaju pokrycia terenu na podstawie tonu i tekstury obrazu (RIB, MILES 1969), radiometrycznej analizy treści zdjęcia (BECKER i in. 1993; SILVESTRO 1969) oraz dokładności pomiarów fotogrametrycznych (BEKER i in. 1981, 1982). Korektę wartości gęstości optycznej ze względu na właściwości optyczne układu optycznego kamery lotniczej zastosowali FURMAŃCZYK (1977), BECKER i in. (1993) oraz SILVESTRO (1969).

W obiektywie kamery lotniczej następuje osłabienie natężenia strumienia promieniowania elektromagnetycznego w miarę wzrostu odległości od punktu głównego zdjęcia. Właściwość ta teoretycznie wyraża się formułą (LILLESAND, KIEFER 1994; WÓJCIK 1989):

$$E_{\alpha} = E_0 \cos^4(\alpha) \quad (2)$$

gdzie: E_0 – natężenie strumienia świetlnego przy kącie α równym 0° , E_{α} – natężenie strumienia świetlnego w dowol-

nym punkcie przy kącie obserwacji α (kąt zawarty pomiędzy osią optyczną a kierunkiem na dany punkt – rys. 6).

Celem pracy jest ilościowe przedstawienie zmienności jasności powierzchni piaszczystych na kolejnych zdjęciach lotniczych, wynikającej z odmiennego kierunku obserwacji. Uwzględniono tu również wpływ układu optycznego na jasność obrazu. Do realizacji postawionego zadania wybrano powierzchnie wydymowe o względnie jednorodnej szorstkości.

OBSZAR BADAŃ

Obszar badań jest położony w środkowej części Mierzei Łebskiej i stanowi część rezerwatu ścisłego w ramach Słowińskiego Parku Narodowego. Badaniami objęto jedną z przemieszczających się z zachodu na wschód wydym (położoną bezpośrednio za Górą Łacką).

Wybrana forma wydymowa to barchan o średnicy podstawy ok. 400 m (Kobendzina 1968), którego średnie nachylenie stoków dystalnych (zawietrznych) wynosi 18° , a proksymalnych – 6° (MISZAŁSKI 1973). Maksymalne nachylenie stoków dochodzi do 50° . Maksymalna wysokość tej formy sięga ok. 24 m n.p.m.

Na powierzchni wydmy występuje warstwa suchego piasku, która pod wpływem wiatru przemieszcza się i tworzy na niej różnego rodzaju mniejsze formy. W zależności od warunków topograficznych i atmosferycznych powierzchnia wydmy może posiadać różną szorstkość. W dogodnych warunkach pogodowych, w jakich wykonywano zdjęcia lotnicze, szorstkość powierzchni wydmy była tworzona przez ripplemarki. Według badań BORÓWKI ripplemarki osiągają wysokość 5 mm. Występowały również gładkie suche powierzchnie (stoki o dużym nachyleniu) oraz wilgotne odsłonięte przez wiatr.

METODY BADAŃ

Zdjęcia lotnicze wykonano 30 kwietnia 1999 r. kamerą RMKA 15/23 o ogniskowej 153 mm zainstalowaną na pokładzie samolotu AN-2. Do analizy wybrano trzy zdjęcia z jednego szeregu o numerach 78, 79 i 80. Dane charakteryzujące warunki wykonania zdjęć oraz użyty film zestawiono w tabeli 1. Na rys. 1 przedstawiono wzajemne pokrycie zdjęć w siatce kartograficznej układu współrzędnych z 1965 r., a ponadto zaznaczono kierunek padania promieni słonecznych.

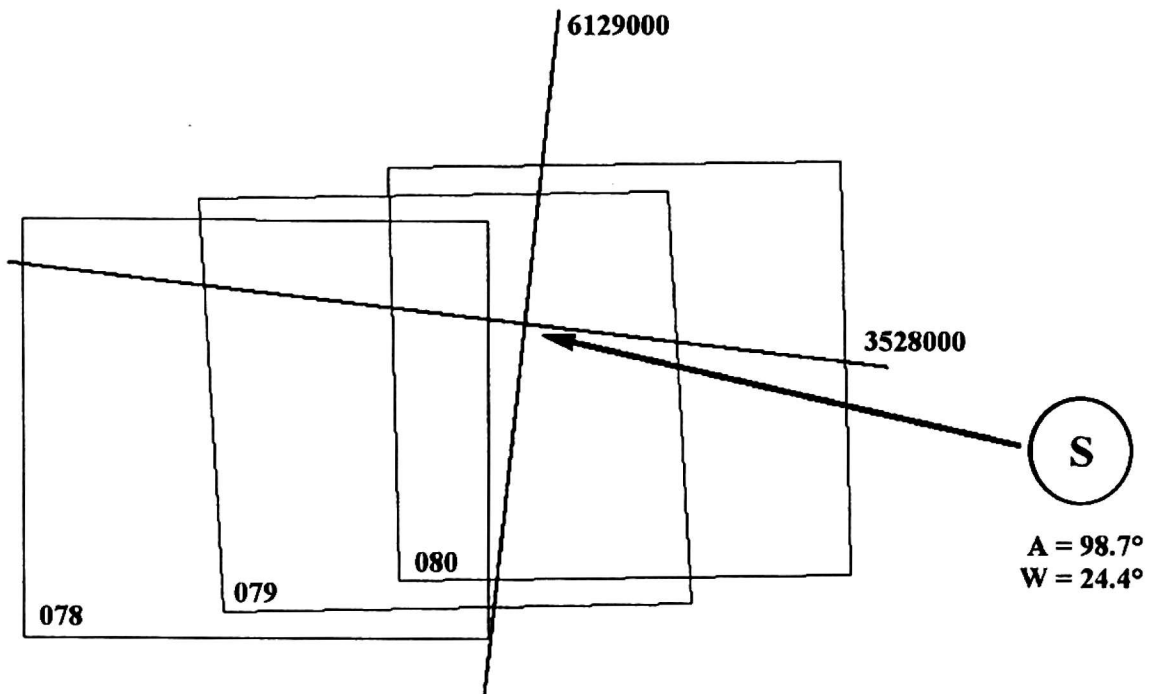
Negatywy zdjęć zostały wywołane w procesie C-41 zgodnie z zaleceniami producenta filmu. Następnie poddano je skanowaniu za pomocą urządzenia Horizon Ultra firmy Agfa. Proces skanowania polegał na pomiarze gęstości optycznej, a następnie zapisie w skali szarości (256 poziomów) przez konwersję wartości gęstości optycznej na liczby odpowiadające odpowiednim poziomom. Skanowanie przeprowadzono,

wykorzystując pełen zakres gęstości optycznej występującej na negatywie zdjęcia. Relację gęstości optycznej do liczby odpowiadającej odpowiedniemu poziomowi w skali szarości ustalono

Tabela 1. Charakterystyka zdjęć wykonanych w dniu 30.04.1999

Table 1. Characteristics of the aerial photos taken on 30th April, 1999

Parametr	Opis
1. Warunki atmosferyczne	bardzo dobre, duża przejrzystość powietrza
2. Wysokość lotu	490 m
3. Czas wykonania zdjęć	8 h 12 min
4. Pozycja Słońca	wysokość nad horyzontem: 24,04° azymut: 98,7°
5. Przybliżona skala zdjęć	1:3000
6. Przysłona	8
7. Czas migawki	1/500
8. Film lotniczy	Kodak Aerocolor HS film SO-358



Rys. 1. Pokrycie podłużne zdjęć lotniczych (o numerach 78, 79 i 80) i pozycja Słońca (A – azymut, W – wysokość słońca nad horyzontem w stopniach) w odniesieniu do Państwowego Układu Współrzędnych z r. 1965

Fig. 1. The longitudinal overlap of the aerial photographs (78, 79 and 80) and the sun position (A – azimuth, W – sun elevation above horizon) in National Coordinate System of 1965

manualnie oddzielnie dla każdego zdjęcia. W wypadku tego skanera relacja ta nie ma charakteru liniowego. Dlatego dla potrzeb obliczeń przedstawiono ją w postaci wielomianu 6. stopnia, uzyskanego jako funkcję dopasowaną do zbioru danych w programie Excel (rys. 2). Zdjęcia skanowano z rozdzielczością 600 dpi, przez co wymiar piksela, najmniejszego elementu obrazu cyfrowego, w terenie osiągnął 13 cm.

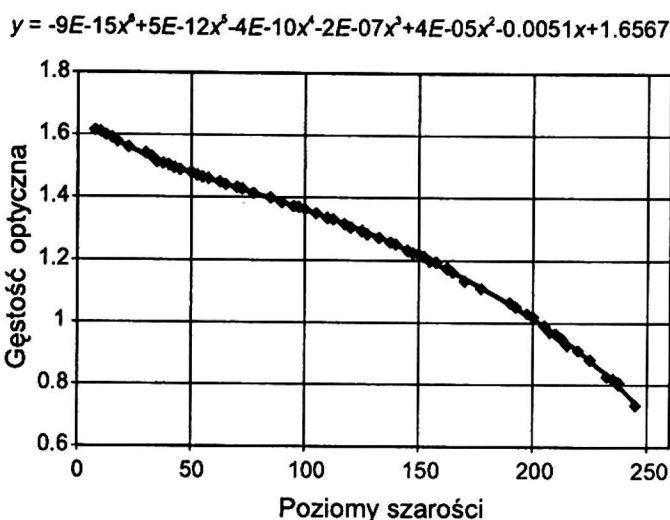
Skaner wykorzystany w tej pracy do pomiarów gęstości optycznej był z powodzeniem testowany pod kątem przydatności w zastosowaniach fotogrametrycznych (BALSAVIAS 1994; BALSAVIAS, WEGLI 1996).

Jako pola testowe zostały wybrane powierzchnie, które zarejestrowane zostały na trzech lub dwóch zdjęciach. Zostały one usytuowane w taki sposób, aby uzyskać jak największe zróżnicowanie kąta padania promieni słonecznych przy w miarę dużej zmienności kierunku obserwacji powierzchni testowej przez kamerę lotniczą. Ponieważ kierunek lotu był zbliżony do głównej płaszczyzny słonecznej, pola testowe podzielone na 4 grupy usytuowano na stoku proksymalnym i dystalnym prostopadle do kierunku oświetlenia. Wyodróżniono 4 grupy pól testowych:

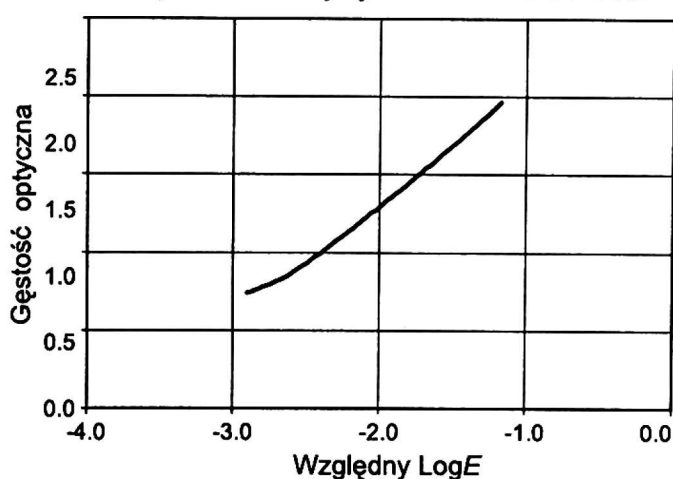
(A) pola położone na stoku dystalnym (dosłonecznym) o dużym zróżnicowaniu kąta padania promieni słonecznych (rys. 4) i odfotografowane na dwóch zdjęciach (78 i 79),

(B) pola położone na stoku dystalnym o prawie jednakowym kącie padania promieni słonecznych i odfotografowane na trzech zdjęciach lotniczych (78, 79 i 80),

(C) pola położone na stoku proksymalnym o wysokich wartościach kąta padania promieni słonecznych i odfotografowane na dwóch zdjęciach (78 i 79),



Krzywa charakterystyczna dla filmu SO-358.



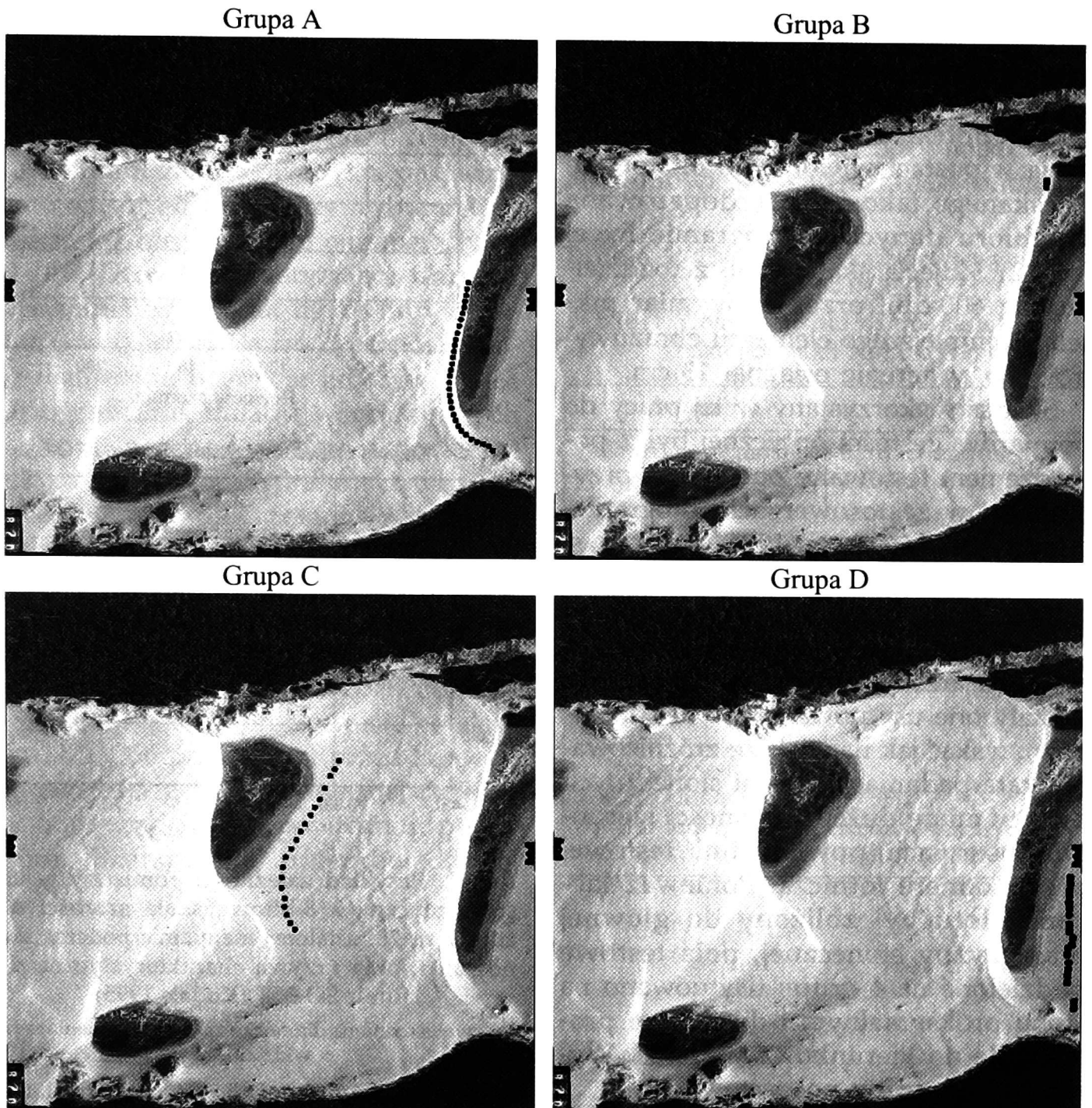
Rys. 2. Przykład zależności pomiędzy gęstością optyczną a 8-bitową skalą szarości dla zdjęcia nr 78, ustalonej manualnie podczas skanowania, oraz krzywa charakterystyczna dla filmu SO-358 (Kodak 1995)

krzywa uśredniona dla całego zakresu promieniowania widzialnego

Fig. 2. An example of the functional relation between optical density and 8-bit gray scale for aerial photo 78 and the characteristic curve for SO-358 film (Kodak 1995)

(D) pola testowe położone na stoku proksymalnym o wysokich wartościach kąta padania promieni słonecznych i odfotografowane na trzech zdjęciach (78, 79 i 80).

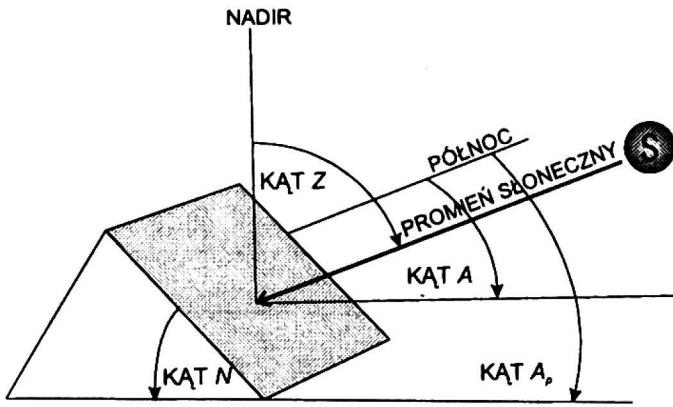
Dla każdego pola testowego o kształcie koła i o wielkości 700–2000 pikseli, stanowiącego wizualnie jednolitą całość, obliczano średnią gęstość optyczną. Rozmieszczenie pól testowych w poszczególnych grupach przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Rozmieszczenie pól testowych w poszczególnych grupach na zdjęciu lotniczym numer 78
 Fig. 3. Distribution of the test areas within groups on the aerial photo number 78

Do określenia warunków topograficznych usytuowania pól testowych, tj. nachylenia i wystawy stoku (rys. 4), wykonano cyfrowy model wybranej formy wydmowej. Wykorzystano do tego celu stereoparę zdjęć (numery 78 i 79), posługując się modułem fotogrametrycznym wchodzącym w skład oprogramowania TNTMIPS. Orientację zewnętrzną zdjęć wyznaczono na podstawie 40 fotopunktów. Wybrano je po

wykonaniu nalotu, a pomiary terenowe wykonano w dniach 17–19 maja 1999 r. W pomiarach geodezyjnych użyto tachimetru autoredukcyjnego Dahlta 010A. Nawiązanie wysokościowe wykonano do najbliższego reperu znajdującego się przy głównej drodze leśnej prowadzącej z Łeby w kierunku wydm (wysokość 1,73 m n.p.m.). W nawiązaniu przestrzennym wykorzystano także ciąg poligonowy od-



Rys. 4. Kąty wyznaczające pozycje Słońca i warunki topograficzne powierzchni badawczej

Fig. 4. Angles defining sun position and topographic location of a test area

dzielający pas techniczny plaży od pozostałej części mierzei. Jako układ odniesienia przyjęto państwowy układ współrzędnych z 1965 r.

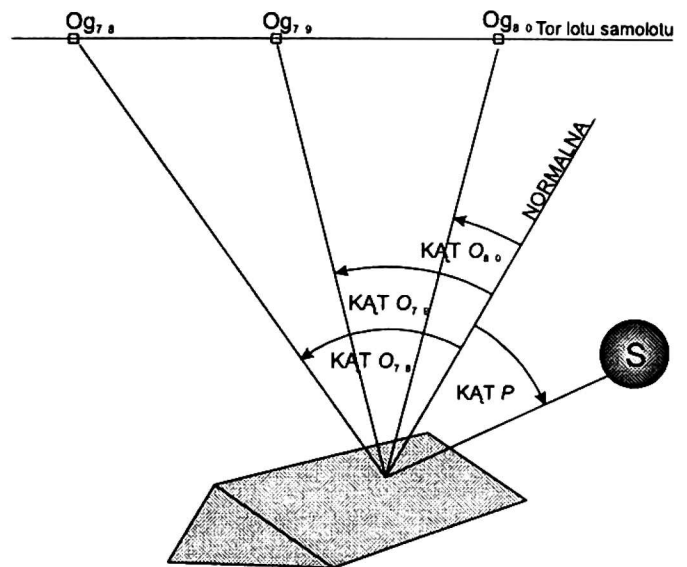
Opracowując cyfrowy model rzeźby powierzchni wydmy, punkty wiążące wyznaczano ręcznie, ponieważ stosowanie algorytmów automatycznych w obszarach jednorodnych pod względem tonalnym (śnieg, lód, piasek) prowadzi do nieprzewidywalnych błędów (BRANDSTÄTTER, SHAROV 1999). Zadawalające wyniki osiągnięto dla stoku dystalnego i proksymalnego, przede wszystkim w miejscach o zróżnicowanej mikrorzeźbie oraz tam, gdzie odsłaniały się kikuty zasypanych drzew, gleb kopalnych lub występowały elementy roślinności wydmowej.

Sposób oświetlenia powierzchni położonej w danych warunkach topograficznych powierzchni jednoznacznie określa się przez podanie kąta padania promieni słonecznych w stosunku do normalnej wyznaczonej względem powierzchni badawczej (rys. 5). Kąt ten wyliczono na podstawie wzoru:

$$P = \arccos [\cos Z \cos N + \sin N \sin Z (\sin A \sin A_p + \cos A \cos A_p)] \quad (3)$$

gdzie P – kąt padania promieni słonecznych mierzony względem prostej prostopadłej do powierzchni testowej; Z – kąt zenitalny, pod którym padają promienie słoneczne; A – poziomy kierunek oświetlenia mierzony względem północy; N – kąt nachylenia stoku; A_p – kąt wystawy powierzchni stokowej mierzony względem północy.

Warunki obserwacji danej powierzchni testowej przez kamerę lotniczą należy scharakteryzować, podając dwa kąty. Pierwszy z nich – kąt α – zawarty jest pomiędzy osią optyczną obiektywu a linią łączącą ognisko soczewki z danym punktem na zdjęciu. Drugi – kąt β – jest zawarty pomiędzy kierunkiem północy a kierunkiem na dany punkt, przy czym jest mierzony w płaszczyźnie zdjęcia zgodnie z ruchem wskazówek zegara, a jego wierzchołek pokrywa się z punktem głównym zdjęcia (rys. 6). Jako wypadkowy tych dwóch kątów wyliczo-



Rys. 5. Kąt padania promieni słonecznych P oraz kąt obserwacji O dla trzech kolejnych zdjęć lotniczych

Og_{78} , Og_{79} , Og_{80} – położenie ogniska kamery lotniczej dla kolejnych zdjęć w szeregu

Fig. 5. Incidence angle of sunbeams P and observation angle O for three successive aerial photographs

Og_{78} , Og_{79} , Og_{80} – location of the focus of aerial camera

Tabela 2. Charakterystyka pól testowych należących do grupy A

Table 2. Characteristics of the test areas (A group)

Lp.	α_{78}	α_{79}	β_{78}	β_{79}	N	A_p	P	O_{78}	O_{79}	D_{078}	D_{K78}	D_{079}	D_{K79}
1	29,47	7,69	268,93	41,81	44,89	112,50	23,78	72,63	42,84	1,51	1,66	1,63	1,62
2	29,28	8,41	270,77	37,06	44,18	111,23	23,95	72,17	42,50	1,51	1,66	1,62	1,62
3	29,17	9,17	272,63	32,95	44,09	110,50	23,79	72,28	42,87	1,51	1,66	1,62	1,62
4	29,06	9,97	274,40	28,88	44,69	109,60	22,98	73,03	43,96	1,51	1,66	1,61	1,62
5	29,01	10,73	276,22	25,52	44,56	109,10	22,95	73,05	44,38	1,51	1,66	1,61	1,62
6	28,90	11,75	278,07	22,65	43,47	108,70	23,84	72,03	43,93	1,52	1,66	1,59	1,62
7	28,80	12,75	278,06	21,17	44,36	108,40	22,93	72,84	45,19	1,52	1,66	1,60	1,62
8	28,74	13,67	276,01	19,86	43,84	108,00	23,31	72,15	45,08	1,52	1,66	1,60	1,63
9	28,66	14,68	273,77	18,39	43,44	107,65	23,60	71,52	45,20	1,52	1,66	1,58	1,62
10	28,68	15,58	271,75	17,22	43,62	106,50	23,18	71,64	45,60	1,52	1,66	1,58	1,62
11	28,77	16,46	269,89	16,04	42,28	106,43	24,45	70,24	44,90	1,52	1,66	1,57	1,62
12	28,89	17,35	268,08	15,12	42,76	105,00	23,73	70,79	45,47	1,52	1,67	1,57	1,62
13	29,00	18,27	266,32	14,10	46,30	104,00	20,12	74,32	48,97	1,52	1,67	1,57	1,62
14	29,20	19,12	264,32	13,21	47,51	103,61	18,88	75,52	50,47	1,52	1,67	1,56	1,62
15	29,38	19,99	262,44	12,46	48,42	103,69	18,01	76,33	51,82	1,52	1,67	1,56	1,62
16	29,57	20,98	260,75	11,74	47,25	102,00	18,92	75,37	50,75	1,52	1,67	1,55	1,62
17	29,89	21,91	258,99	10,83	46,52	101,21	19,56	74,82	50,46	1,51	1,67	1,53	1,61
18	30,28	22,86	257,25	9,73	44,95	92,91	21,63	74,45	46,78	1,50	1,67	1,51	1,60
19	30,68	23,75	255,68	8,72	42,65	90,69	24,27	72,63	44,66	1,50	1,66	1,51	1,60
20	31,17	24,67	254,31	7,61	43,62	86,68	24,47	74,30	44,56	1,49	1,66	1,50	1,60
21	31,74	25,37	252,92	6,32	41,52	81,42	28,14	73,03	41,45	1,48	1,65	1,49	1,60
22	32,32	26,07	251,77	5,13	40,30	76,53	31,10	72,55	39,13	1,46	1,64	1,48	1,59
23	32,93	26,74	250,83	3,88	40,30	69,37	34,53	73,22	36,70	1,44	1,62	1,47	1,59
24	33,54	27,28	249,96	2,45	38,58	65,82	37,37	72,07	34,62	1,41	1,61	1,45	1,58
25	34,19	27,89	249,46	0,64	37,28	56,93	42,75	70,98	30,62	1,39	1,59	1,42	1,56
26	34,87	28,34	249,33	358,84	37,65	55,10	43,61	71,87	30,91	1,36	1,57	1,40	1,53
27	35,60	28,56	249,18	356,88	31,41	41,91	52,72	64,89	22,22	1,33	1,54	1,37	1,51
28	36,27	28,57	249,43	354,80	29,51	32,91	57,56	62,13	18,26	1,27	1,50	1,33	1,48
29	36,91	28,85	249,88	352,99	25,92	27,51	60,49	58,32	15,94	1,24	1,48	1,29	1,44
30	37,52	29,19	250,24	351,19	24,62	24,81	61,74	57,11	15,66	1,23	1,48	1,29	1,45
31	38,14	29,70	249,89	349,93	22,99	23,27	62,46	56,06	15,99	1,21	1,46	1,27	1,43

D_{078} – średnia gęstość optyczna pola testowego dla zdjęcia 78 bez korekcji, D_{K78} – średnia gęstość optyczna pola testowego dla zdjęcia 78 z korekcją

D_{079} – mean optical density of a test area for aerial photograph 78 without correction, D_{K78} – mean optical density of a test area for aerial photograph 78 with correction

Tabela 3. Charakterystyka pól testowych należących do grupy B
 Table 3. Characteristics of the test areas (B group)

Lp.	α_{78}	α_{79}	α_{80}	β_{78}	β_{79}	β_{80}	N	A_p	P	O_{78}	O_{79}	O_{80}	D_{078}	D_{K78}	D_{079}	D_{K79}	D_{080}	D_{K80}
1	36,26	13,92	34,34	244,50	182,44	93,54	39,35	95,43	26,80	72,42	40,66	5,13	1,52	1,66	1,62	1,64	1,48	1,59
2	36,16	13,58	34,33	244,87	182,72	94,14	39,68	96,69	26,38	72,47	40,67	5,57	1,52	1,66	1,62	1,64	1,48	1,59
3	36,05	13,23	34,32	245,22	183,12	94,71	39,13	95,15	27,04	72,22	40,51	4,82	1,53	1,66	1,63	1,64	1,48	1,59
4	35,95	12,81	34,28	245,54	183,44	95,24	39,10	97,92	26,91	71,61	39,86	5,07	1,52	1,66	1,63	1,64	1,48	1,60
5	35,85	12,48	34,27	245,86	183,87	95,84	40,34	94,59	25,89	73,41	41,75	6,11	1,53	1,66	1,63	1,64	1,48	1,60

D_{078} – średnia gęstość optyczna pola testowego dla zdjęcia 78 bez korekcji, D_{K78} – średnia gęstość optyczna pola testowego dla zdjęcia 78 z korekcją
 D_{079} – mean optical density of a test area for aerial photograph 78 without correction, D_{K78} – mean optical density of a test area for aerial photograph 78 with correction

Tabela 4. Charakterystyka pól testowych należących do grupy C
Table 4. Characteristics of the test areas (C group)

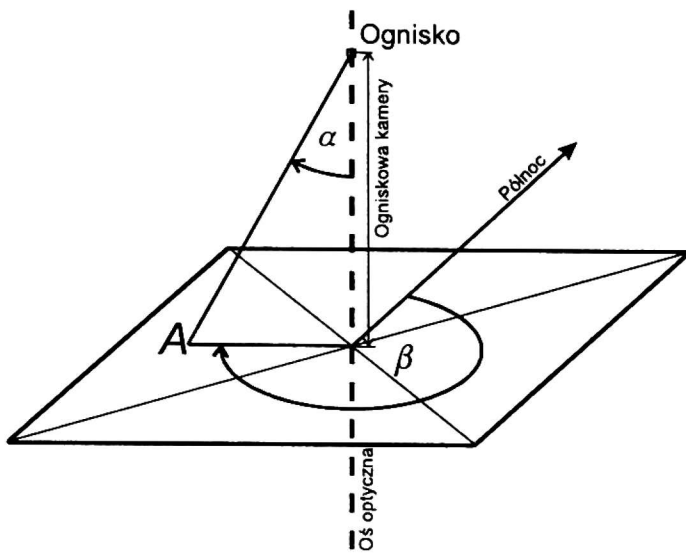
Lp.	α_{78}	α_{79}	β_{78}	β_{79}	N	A_p	P	O_{78}	O_{79}	D_{078}	D_{K78}	D_{079}	D_{K79}
1	14,83	27,39	218,15	101,44	7,77	293,93	73,52	14,91	35,01	1,40	1,43	1,30	1,44
2	12,84	27,76	220,75	97,27	7,88	299,60	73,40	13,67	35,16	1,40	1,43	1,29	1,44
3	11,05	28,23	223,60	93,70	5,98	309,64	71,18	12,18	33,24	1,40	1,42	1,29	1,43
4	9,60	28,80	225,60	91,14	6,14	309,50	71,32	10,81	33,81	1,41	1,42	1,27	1,43
5	8,27	29,32	228,49	88,81	5,49	313,82	70,54	9,54	33,41	1,41	1,41	1,26	1,42
6	6,69	30,07	232,79	86,38	4,98	307,30	70,40	7,19	33,98	1,41	1,41	1,25	1,42
7	5,46	30,70	238,11	84,33	5,01	323,85	69,60	7,13	33,50	1,41	1,41	1,24	1,42
8	4,43	31,38	248,76	82,16	4,86	288,34	70,80	3,17	35,80	1,41	1,41	1,24	1,42
9	3,56	32,22	267,28	80,00	5,98	294,42	71,77	3,25	37,29	1,42	1,41	1,22	1,42
10	3,28	33,08	296,29	78,14	5,62	296,60	71,36	2,34	37,62	1,41	1,40	1,21	1,42
11	16,08	27,02	217,76	103,93	5,80	290,63	71,69	15,38	32,79	1,40	1,44	1,31	1,45
12	17,53	26,82	216,69	107,07	7,15	302,35	72,59	18,38	33,77	1,39	1,44	1,32	1,45
13	4,26	33,59	323,75	75,79	5,56	302,58	71,11	2,21	37,59	1,41	1,40	1,20	1,42
14	5,76	34,04	336,96	73,40	5,70	318,50	70,44	1,84	36,76	1,40	1,39	1,19	1,41
15	7,43	34,55	343,28	71,02	5,87	301,90	71,43	4,91	38,49	1,40	1,40	1,19	1,41
16	9,18	34,66	343,38	68,52	5,48	303,32	71,01	6,10	38,05	1,39	1,40	1,19	1,41
17	10,50	34,99	345,91	66,58	5,56	303,04	71,09	7,45	38,30	1,39	1,40	1,18	1,41
18	11,88	35,13	345,50	64,58	6,65	294,54	72,42	9,24	39,69	1,39	1,40	1,18	1,41
19	13,25	35,15	344,31	62,51	7,57	284,91	73,53	11,40	41,02	1,39	1,40	1,18	1,41
20	14,40	35,13	342,67	60,74	5,83	303,06	71,34	10,57	38,14	1,38	1,40	1,18	1,41

D_{078} – średnia gęstość optyczna pola testowego dla zdjęcia 78 bez korekcji, D_{K78} – średnia gęstość optyczna pola testowego dla zdjęcia 78 z korekcją
 D_{078} – mean optical density of a test area for aerial photograph 78 without correction, D_{K78} – mean optical density of a test area for aerial photograph 78 with correction

Tabela 5. Charakterystyka pól testowych należących do grupy D
Table 5. Characteristics of the test areas (D group)

Lp.	α_{78}	α_{79}	α_{80}	β_{78}	β_{79}	β_{80}	N	A_p	P	O_{78}	O_{79}	O_{80}	D_{078}	D_{k78}	D_{079}	D_{k79}	D_{080}	D_{k80}
1	36,18	9,64	28,53	276,88	338,48	51,89	3,98	277,65	69,98	32,20	8,45	31,42	1,20	1,43	1,39	1,40	1,23	1,42
2	36,19	10,70	29,08	278,46	341,29	50,47	4,00	296,20	69,83	32,40	8,36	30,92	1,20	1,43	1,38	1,40	1,22	1,42
3	36,27	11,63	29,59	278,20	343,20	49,09	3,50	264,66	69,39	32,88	11,45	32,50	1,20	1,43	1,38	1,40	1,22	1,42
4	36,33	12,75	30,18	276,63	344,73	47,58	3,65	279,33	69,65	32,68	11,70	32,55	1,19	1,42	1,37	1,40	1,22	1,42
5	36,42	13,64	30,67	275,38	346,08	46,24	2,00	280,00	68,00	34,42	12,95	31,89	1,19	1,42	1,37	1,40	1,21	1,42
6	36,51	14,57	31,15	273,82	347,29	44,87	3,05	290,00	68,99	33,59	13,17	32,54	1,18	1,42	1,36	1,40	1,20	1,41
7	36,70	15,45	31,71	272,67	348,14	43,48	4,58	332,70	68,76	34,60	11,10	30,48	1,18	1,42	1,35	1,40	1,19	1,41
8	36,82	16,45	32,30	271,14	349,21	42,13	3,58	307,05	69,17	33,97	14,00	32,79	1,17	1,43	1,35	1,39	1,18	1,41
9	37,16	17,82	33,06	269,06	350,13	40,38	3,68	325,95	68,54	35,27	14,54	32,24	1,18	1,42	1,35	1,40	1,19	1,42
10	37,33	18,81	33,64	267,57	350,88	39,17	3,67	283,67	69,66	33,81	17,70	35,35	1,17	1,42	1,34	1,40	1,18	1,42
11	37,93	19,99	33,98	266,45	349,64	37,26	3,20	234,46	68,30	35,25	21,54	37,05	1,16	1,41	1,33	1,39	1,17	1,41
12	38,12	21,05	34,56	265,02	349,81	36,22	3,25	276,56	69,24	34,94	20,35	36,27	1,17	1,43	1,33	1,40	1,18	1,42
13	37,84	21,52	35,20	264,12	351,94	35,98	3,98	280,28	69,98	34,03	20,60	37,08	1,18	1,43	1,33	1,40	1,17	1,43
14	38,06	22,46	35,81	262,69	352,61	34,85	3,41	259,62	69,22	34,65	22,88	38,30	1,17	1,43	1,32	1,40	1,16	1,43
15	38,53	23,59	36,47	261,18	352,82	33,60	2,74	252,47	68,46	35,82	24,23	38,64	1,17	1,43	1,31	1,41	1,16	1,43
16	38,78	24,55	37,10	259,81	353,24	32,39	3,16	241,25	68,51	35,80	25,89	39,89	1,16	1,43	1,31	1,41	1,16	1,44
17	39,00	25,47	37,71	258,67	353,93	31,41	3,68	313,32	69,05	36,98	22,80	37,10	1,16	1,43	1,30	1,40	1,15	1,44
18	39,27	26,41	38,30	257,34	354,19	30,42	2,01	317,92	67,57	38,32	24,82	37,74	1,15	1,43	1,29	1,41	1,14	1,43
19	40,81	28,95	39,65	254,66	352,95	26,92	4,23	309,63	69,66	38,51	26,02	38,91	1,14	1,43	1,26	1,41	1,12	1,43
20	41,11	29,88	40,31	253,46	353,48	26,24	3,46	193,89	66,34	39,45	33,14	43,70	1,14	1,44	1,26	1,41	1,12	1,45

D_{078} – średnia gęstość optyczna pola testowego dla zdjęcia 78 bez korekcji, D_{k78} – średnia gęstość optyczna pola testowego dla zdjęcia 78 z korekcją
 D_{079} – mean optical density of a test area for aerial photograph 78 without correction, D_{k78} – mean optical density of a test area for aerial photograph 78 with correction



Rys. 6. Kąty wyznaczające pozycję punktu A w płaszczyźnie zdjęcia lotniczego

Fig. 6. Angles defining the position of point A in the image plane

no kąt obserwacji O mierzony względem normalnej do powierzchni testowej (rys. 5):

$$O = \arccos [\cos\alpha\cos N + \sin N\sin\alpha (\sin\beta\sin A_p + \cos\beta\cos A_p)] \quad (4)$$

gdzie O – kąt obserwacji mierzony względem prostej prostopadłej do powierzchni testowej; α – pionowy kąt obserwacji; β – poziomy kierunek obserwacji mierzony względem północy; N – kąt nachylenia stoku; A_p – kąt wystawy powierzchni stokowej mierzony względem północy.

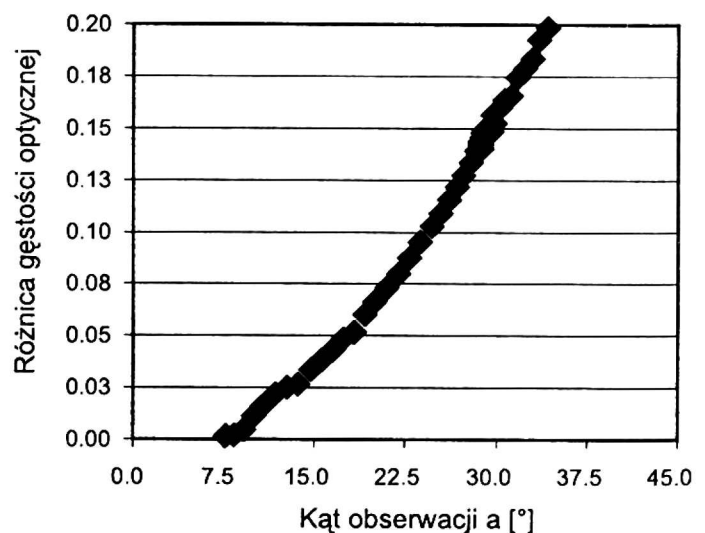
Wszystkie dane charakteryzujące pola testowe w grupach zestawiono tabelarycznie (tab. 2, 3, 4 i 5). Obliczenia statystyczne i wykresy przygotowano, wykorzystując arkusz kalkulacyjny Excel.

OMÓWIENIE WYNIKÓW

Przed przystąpieniem do analizy zróżnicowania jasności badanych powierzchni skorygowano wpływ układu optycznego. Korekcję jasności wykonano na podstawie równania (2), tak jak w pracach BEC-

KERA i in. (1993) oraz SILVESTRY (1969), którzy również użyli kamery RMK A 15/23. Ponieważ równanie to opisuje relację pomiędzy wartościami energetycznymi, a podczas skanowania jasność piksela została zapisana jako liczba odpowiadająca poziomowi w skali szarości, dlatego należało ją najpierw zamienić na gęstość optyczną. Wykorzystano do tego celu relację ustaloną w trakcie skanowania. Następnie, na podstawie krzywej charakterystycznej filmu, zamieniono gęstość optyczną na względną wartość energetyczną, która została skorygowana zgodnie z równaniem (2). W ostatnim etapie zamieniono z powrotem skorygowaną wartość energetyczną na gęstość optyczną. Czynności obliczeniowe zautomatyzowano za pomocą programu napisanego w języku makropoleczeń (SML – Spatial Manipulation Language), stanowiącym integralną część systemu TNTMIPS.

Wskutek korekcji wartość średniej gęstości optycznej pól testowych położonych na stoku dystalnym wzrosła średnio o 0,12, maksymalnie o ok. 0,33



Rys. 7. Wpływ właściwości obiektywu na spadek jasności powierzchni testowych położonych na stoku dystalnym zarejestrowanych na zdjęciach 078 i 079

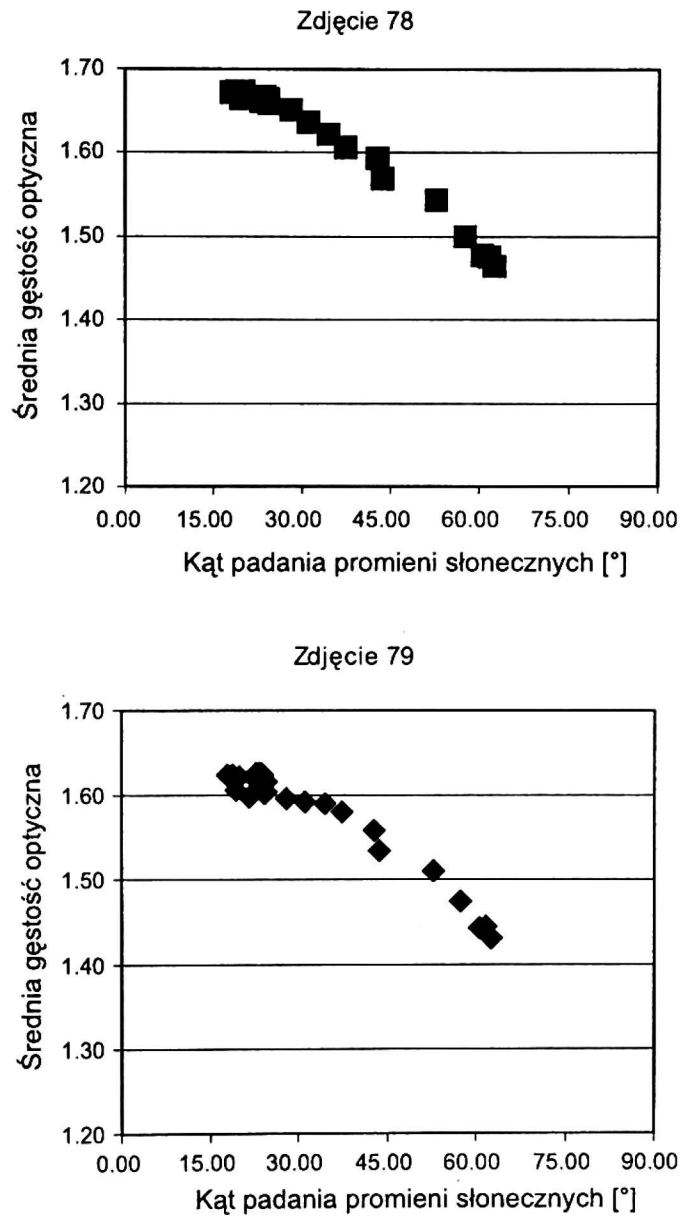
Fig. 7. The influence of objective properties on the fall of brightness of test areas situated on the distal slope recorded on the aerial photographs 078 and 079

(tab. 5). W przypadku powierzchni badawczych usytuowanych na stoku proksymalnym średni wzrost wyniósł 0,15, a maksymalny osiągnął 0,32.

Najniższe wartości gęstości optycznej na analizowanych zdjęciach związane są z powierzchniami wodnymi i wynoszą ok. 0,7, natomiast najwyższe (1,67) z powierzchniami piaszczystymi położonymi na stoku dystalnym. Pełen zakres użytecznej gęstości optycznej wyniósł zatem 0,98.

Najmniejszą wartość średniej gęstości optycznej dla powierzchni piaszczystych – 1,39 (po usunięciu wpływu układu optycznego) zanotowano dla pola testowego należącego do grupy (D) (stok proksymalny oraz wysokie wartości kąta padania promieni słonecznych). Najwyższą wartość (1,67) odnotowano dla pól należących do grup (A) i (B), położonych na stoku dystalnym, dla których kąt padania promieni słonecznych P wynosił ok. 20–30°, a kąt obserwacji O osiągnął wartości zbliżone do 60–70°. Zakres gęstości optycznej wykorzystanej do zarejestrowania powierzchni piaszczystych wyniósł zatem 0,28, co stanowi 29% pełnego zakresu użytecznej gęstości optycznej.

Kąt padania promieni słonecznych P dla pól testowych należących do grupy (A) zmieniał się w zakresie od 23–62°. Wskutek takiego zróżnicowania kąta P gęstość optyczna zmieniała się w zakresie od 1,46 do 1,67, co stanowiło 75% zakresu, w jakim zarejestrowano powierzchnie badawcze (zdjęcie 78). Większy spadek gęstości optycznej następował przy wyższych wartościach kąta padania P (rys. 8). Dla wartości kąta padania P do 30° zróżnicowanie gęstości optycznej było nieduże i odpowiadało wartości błędu pomiaru gęstości optycznej (0,01), natomiast dla wartości kąta P od 40° do 60° zmiana jego wartości o ok. 5° powodowała zmniej-

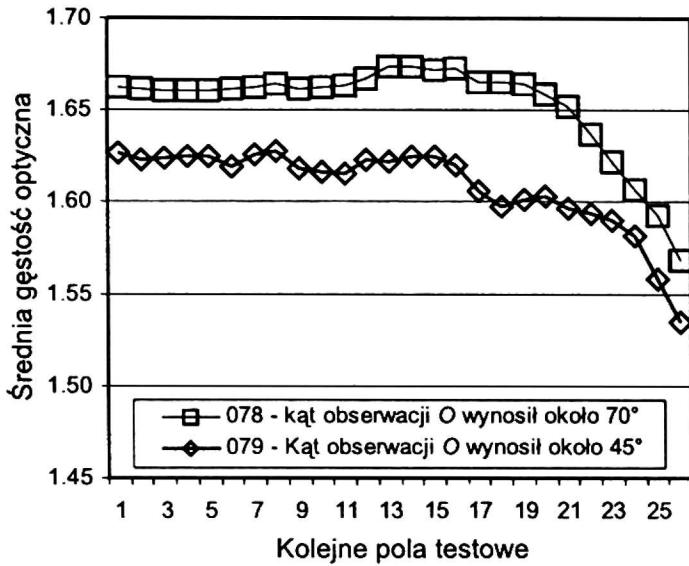


Rys. 8. Zależność kąta padania promieni słonecznych i średniej gęstości optycznej dla pól testowych należących do grupy (A), położonych na stoku dystalnym, zarejestrowanych na zdjęciu 78 i 79.

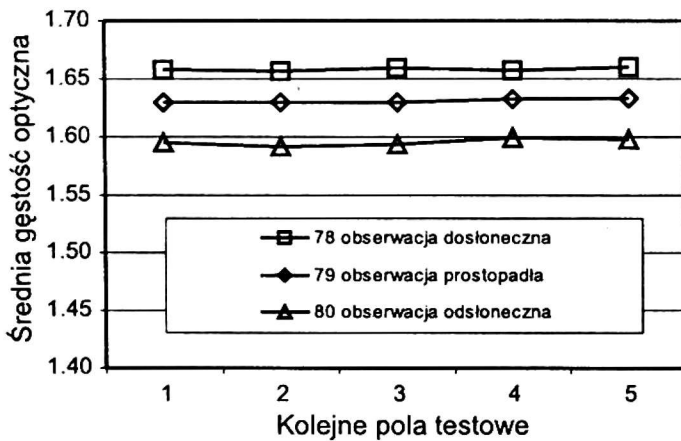
Fig. 8. The incidence angle of sunbeams and mean optical density for test areas (A group) situated on the distal slope recorded on aerial photographs 78 and 79.

szenie wartości średniej gęstości optycznej o 0,02–0,04, czyli ok. 10% zakresu gęstości optycznej przypadającej na powierzchnie piaszczyste.

W wyniku zmiany położenia kamery lotniczej kąt obserwacji powierzchni testowych należących do grupy (A) zmniejszył się przeciętnie o 25–30° (tab. 2). Na skutek tego średnia gęstość optyczna



Rys. 9. Średnia gęstość optyczna pól testowych należących do grupy (A) położonych na stoku dystalnym zarejestrowanych na zdjęciach 78 i 79
Fig. 9. Mean optical density for test areas (A group) situated on the distal slope recorded on aerial photographs 78 i 79

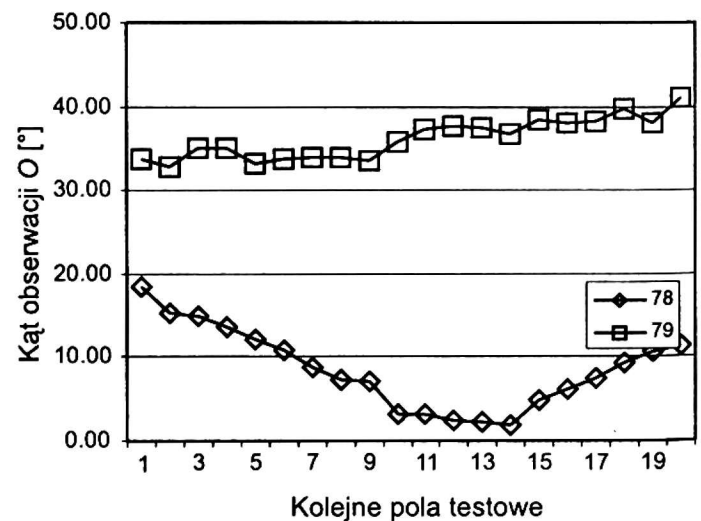
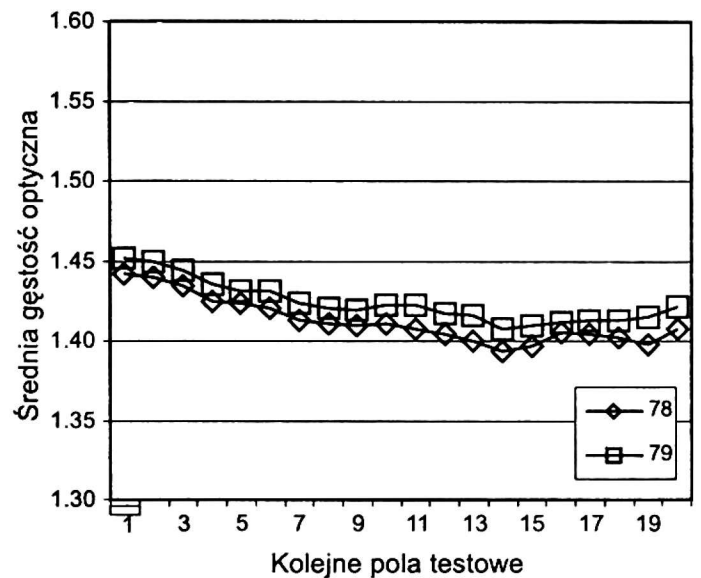


Rys. 10. Zmiany średniej gęstości optycznej dla pól testowych (grupa B) położonych na stoku dystalnym zarejestrowanych na zdjęciach 78, 79 i 80
Fig. 10. Changes of mean optical density for test areas (B group) situated on the distal slope recorded on aerial photographs 78, 79 and 80

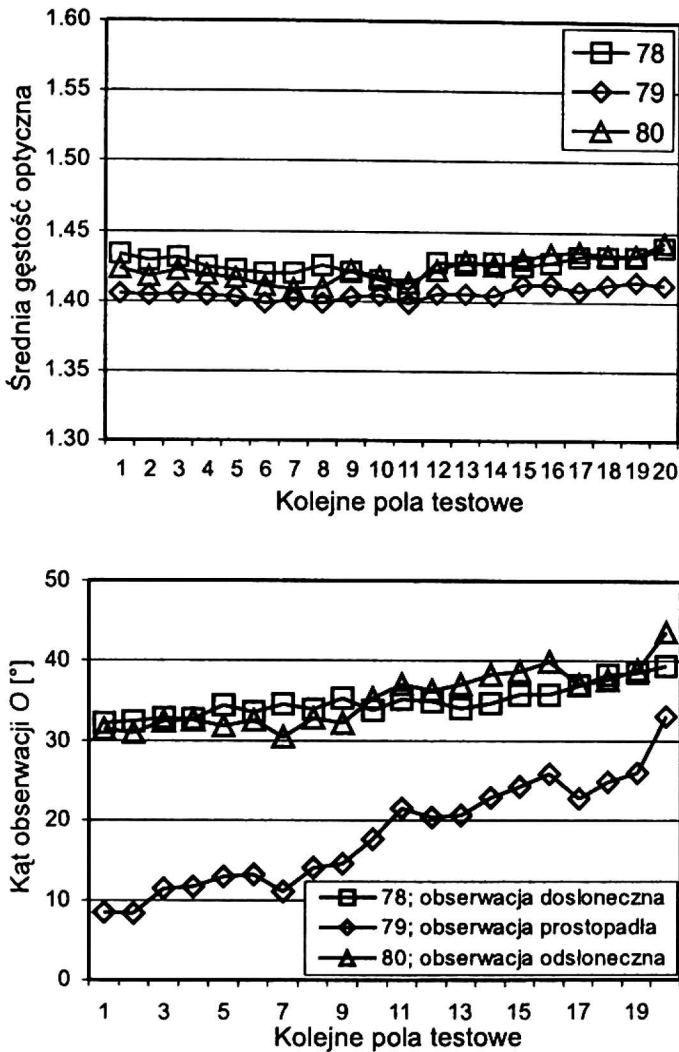
między odpowiadającymi sobie powierzchniami badawczymi na zdjęciach 78 i 79 zmieniła się w granicach 0,03–0,05, tj. o ok. 10–18% zakresu gęstości optycznej przypadającego na badane powierzchnie piaszczyste (rys. 9).

Pola badawcze należące do grupy (B) położone były na stoku dystalnym i odfotografowane zostały na trzech kolejnych zdjęciach 78, 79 i 80. Kąt obserwacji do

normalnej O zmieniał się dla tych pól w zakresie od 72° dla zdjęcia 78 (obserwacja dosłoneczna), przez 40° dla zdjęcia 79 (obserwacja prostopadła do głównej płaszczyzny słonecznej), do 5° dla zdjęcia 80 (obserwacja odśłoneczna). Najwyższe wartości średniej gęstości optycznej (1,66) zanotowano dla pól testowych położonych na zdjęciu 78 (rys. 10), obserwowanych przy wysokich wartościach kąta O , natomiast najniższe wartości (1,59) dla pól testowych położonych na zdjęciu 80, przy bardzo niskich wartościach kąta O . Przy zmianie kąta obserwacji O o 70°



Rys. 11. Średnia gęstość optyczna pól testowych należących do grupy (C) położonych na stoku proksymalnym i zarejestrowanych na zdjęciach 78 i 79 oraz ich kąt obserwacji O
Fig. 11. Mean optical density for test areas (C group) situated on the proximal slope recorded on aerial photographs 78 i 79 and their observation angle O



Rys. 12. Średnia gęstość optyczna pól testowych należących do grupy (D) położonych na stoku proksymalnym, zarejestrowanych na zdjęciach 78, 79 i 80 oraz ich kąt obserwacji O
 Fig.12. Mean optical density for test areas (D group) situated on the proximal slope recorded on aerial photographs 78, 79 i 80 and their observation angle O

wartość gęstości optycznej zmniejszyła się 0,07, co odpowiada 25% zakresu wartości gęstości optycznej przypadającego na badane powierzchnie piaszczyste.

Pola testowe należące do grup (C) i (D) charakteryzują się wysokimi wartościami kąta padania promieni słonecznych, mieszczącymi się w zakresie od 66–73°. Pola z grupy (C) są odfotografowane na dwóch, a pola z grupy (D) na trzech zdjęciach lotniczych. Najwyższe wartości gęstości optycznej związane są z wyższymi wartościami kątami obserwacji O (rys. 11 i 12). Jednak ze względu na niewielkie nachylenie stoków proksymalnych kąt

O nie osiągnął wyższych wartości niż ok. 40°. Różnice jasności dla pól badawczych położonych na stoku proksymalnym wskutek zmiany kierunku obserwacji osiągają wartości 0,03–0,04 gęstości optycznej, czyli 10% zakresu gęstości optycznej przypadającego na badane powierzchnie piaszczyste. W wypadku pól należących do grupy (D), obserwowanych na zdjęciu 79, zróżnicowanie jasności wśród tych samych pól jest mniejsze niż na innych zdjęciach, mimo zróżnicowania kąta obserwacji O . Przyczyną tego jest obserwacja prostopadła do głównej płaszczyzny słonecznej.

Porównując zmiany jasności powierzchni piaszczystych na kolejnych zdjęciach lotniczych, należy stwierdzić, że ich charakter odpowiada naziemnemu rozkładowi odbicia promieniowania stwierdzonego podczas badań prowadzonych przez CIERNIEWSKIEGO i in. (1996). Gładka powierzchnia piaszczysta jest jaśniejsza, gdy jest obserwowana pod kątem O o większej wartości.

WNIOSKI

1. Właściwości układu optycznego powodują obniżenie jasności powierzchni piaszczystych w miarę oddalania od punktu głównego zdjęcia. W wypadku powierzchni obserwowanych pod kątem α równym ok. 30°, jasność powierzchni piaszczystej położonej na stoku proksymalnym, wyrażona gęstością optyczną, uległa obniżeniu o ok. 0,3 (30% pełnego zakresu użytecznej gęstości optycznej), natomiast na stoku dystalnym, o 0,2 (20% pełnego zakresu użytecznej gęstości optycznej). Nieskorygowanie wartości jasności ze względu na cechy układu optycznego spowodowałoby niemal dwukrotne zwiększenie zakresu gęstości optycznej, który odpowiadałby badanym powierzchniom piaszczystym.

Większy zakres gęstości optycznej powoduje wzrost prawdopodobieństwa błędnego zaklasyfikowania powierzchni piaszczystej w wypadku stosowania metod cyfrowej klasyfikacji.

2. Główną przyczyną modyfikującą jasność powierzchni piaszczystej na zdjęciu lotniczym jest kąt padania promieni słonecznych zależny od nachylenia i wystawy stoku (w momencie wykonywania kilku zdjęć założono stałą wysokość Słońca). W wypadku powierzchni testowych zaprezentowanych w niniejszej pracy różnicowanie jasności powierzchni piaszczystych odpowiadało różnicowaniu gęstości optycznej od 1,39 do 1,67, co odpowiada 29% pełnego zakresu gęstości optycznej zarejestrowanej na zdjęciu.

3. Zmiany położenia kamery lotniczej w trakcie lotu powodowały zmiany kąta obserwacji O danej powierzchni. Jeżeli kąt ten osiągał wysokie wartości, wynoszące ok. 70° , wówczas powierzchnia piaszczysta była jaśniejsza niż obserwowana pod kątem ok. 5° . Dla wybranych powierzchni badawczych zmiany te osiągnęły poziom 10–25% zakresu gęstości optycznej wykorzystanego do zarejestrowania powierzchni piaszczystych.

LITERATURA

- ANDRONIKOW W.L., 1986: Teledetekcja gleb. PWN, Warszawa.
- BALSAVIAS E.P., 1994: The Agfa Horizon DTP Scanner – Characteristics. Testing and Evaluation. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 30, 1, 171–179.
- BALSAVIAS E.P., WEGLI B., 1996: Quality Analysis and Calibration of DTP Scanners. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 31, B1, 13–19.
- BEKER L., BUTOWTT J., STASIEWICZ H., STĘPNIAK J., ZIUZIA J., 1981: Wpływ kontrastu obiektów terenowych na dokładność fotogrametrycznego wyznaczenia odległości. *Przegląd Geodezyjny*, 5, 164–165.
- BEKER L., BUTOWTT J., STĘPNIAK J., ZIUZIA J., 1982: Wpływ wielkości powierzchni o jednakowej gęstości optycznej na dokładność fotogrametrycznie wyznaczanych odległości. *Przegląd Geodezyjny*, 10, 173–175.
- BĘDKOWSKI K., 1984: Aproksymacja trygonometryczna mikrodensytogramów zdjęć lotniczych drzewostanów sosnowych różnych klas wiekowych. *Przegląd Geodezyjny*, 7, 9–12.
- BIAŁOUSZ S., 1979: Gęstość optyczna i struktura obrazu jako czynniki rozpoznawania gleb na zdjęciach lotniczych. [W:] S. BIAŁOUSZ, F. KUZNICKI, P. SKŁODOWSKI, Podstawy gleboznawstwa z elementami kartografii i ochrony gleb. PWN, Warszawa, 425–426.
- BRANDSTÄTTER G., SHAROV A.I., 1999: Fusion of Stereogrammetric and INSAR Data for Advanced Topographic Modelling in Arctic Deserts. Joint Workshop of ISPRS WG I/1, I/3 and IV/4 „Sensors and Mapping from Space 1999”. Hanover, September 27–30.
- CIERNIEWSKI J., 1989: The influence of the viewing geometry of bare rough soil surface on their spectral responses in the Visible and Near-Infrared Range. *Rem. Sens. Env.*, 27, 135–142.
- CIERNIEWSKI J., MARLEWSKI A., FARYŚ M., KRÓLEWICZ S., 1997: Dwukierunkowy model odbicia od szorstkich powierzchni glebowych. Sprawozdanie z realizacji projektu badawczego Nr 6PO4E00609.
- CIESLA W.M., DRAKE L.E., WILMORE D.H., 1971: Color Photos, Aerial Sprays and The Forest Tent Caterpillar. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 37, 8, 867–873.
- CIOŁKOSZ A., 1970: Analiza struktury zasiewów na zdjęciach lotniczych. *Przegląd Geodezyjny*, 7, 309.
- FURMAŃCZYK K., 1977: Niektóre aspekty przestrzennego rozkładu gęstości optycznej zdjęć obszarów morskich. *Fotointerpretacja w Geografii*, 10, 203–210.
- GACKI T., 1977: Zastosowanie zdjęć lotniczych w badaniach geoekologicznych. *Fotointerpretacja w Geografii*, 10, 149–159.
- GACKI T., 1980: Zastosowanie metody mikrofotometrycznej w analizie rysunku obrazu satelitarnego jako wskaźnika różnicowania krajobrazu. *Fotointerpretacja w Geografii*, 14, 43–50.
- GERBERMANN A.H., GAUSMAN H.W., WIEGAND C.L., 1971: Color and Color IR Films for Soil Identification. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 37, 4, 359–364.
- HASIUK M., 1984: Mikrofotometryczna analiza obrazu lasu na zdjęciach lotniczych. *Fotointerpretacja w Geografii*, 17, 104–115.
- HARRIS W., 1968: Aerial Photographic Exposure. [W:] J.H. SMITH, A. ANSON (ed.), *Manual of*

- Colour Aerial Photography... American Society of Photogrammetry, Virginia.
- IRONS J.R., WEISMILLER R.A., PETERSEN G.W., 1989: Soil reflectance. [W:] Ghasem Asrar (ed.), Theory and Applications of Rem. Sens. Wiley, New York, 66–110.
- KOBĘDZINA J., 1968: Wydmy Słowińskiego Parku Narodowego. Ziemia.
- Kodak Eastman Company, 1995: Aerial data. Kodak Aerocolor HS Film SO-358. Kodak Publ. AS-206.
- LILLESAND T.M., KIEFER R.W., 1994: Remote Sensing and Image Interpretation. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- LESCHACK L.A., 1971: ADP of Forest Imagery. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 37, 8, 885–896.
- MILTON, E.J., WEBB, J.P., 1987: Ground radiometry and airborne, multispektral survey of bare solis, Int. J. Rem. Sens., 18, 3–14.
- MISZALSKI J., 1973: Współczesne procesy eoliczne na Pobrzeżu Słowińskim. Studium fotointerpretacyjne. Dok. Geogr., 3.
- MIZGAJSKI A., 1980: Przydatność wybranych rodzajów obrazów lotniczych do różnicowa-
- nia drzewostanów na przykładzie centralnej części Wielkopolskiego Parku Narodowego. Konferencja naukowo-techniczna „Fotogrametria i fotointerpretacja w leśnictwie”. Rogów 24–25.11.1980 r. Dział wydawnictw SGGW-AR, Warszawa.
- NORMAN J.M., WELLES J.M., WALTER E.A., 1985: Contrast among bidirectional reflectance of leaves, canopies and soils. IEEE Trans. Geosci. Rem. Sens. GE-23, 659–667.
- PESTRONG R., 1969: Multiband Photos for a Tidal Marsh. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 35, 5, 453–471.
- RIB H.T., MILES R.D., 1969: Automatic Interpretation of Terrain Features. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 35, 8, 153–164.
- TAYLOR G.R. i in., 1996: Characterization of saline soils using airborne radar imagery. Rem. Sens. Env., 57, 127–142.
- SITEK Z., 1992: Słownik pięcioletni z zakresu fotogrametrii i teledetekcji. Wyd. AGH, Kraków.
- WÓJCIK S., 1989: Zdjęcia lotnicze. PPWiK, Warszawa 1989.

Recenzent: prof. Uniwersytetu Szczecińskiego
dr hab. Kazimierz Furmańczyk

Zakład Gleboznawstwa i Teledetekcji Gleb
Instytut Geografii Fizycznej
i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego
Uniwersytet im. A. Mickiewicza w Poznaniu

BRIGHTNESS VARIATION OF SAND SURFACES LOCATED NEAR ŁEBA ON AIR PHOTOGRAPHS TAKING INTO CONSIDERATION CHANGES OF THE CAMERA POSITION AND ITS OPTICAL PROPERTIES

Summary

This article presents variations of brightness of natural sand surfaces after change of the camera position during the flight. As a source data three successive aerials were used (078, 079, 080). The aerial photos were taken on 30 April 1999 with an RMKA15/23 camera placed on board an AN-2 plane. Brightness of the sand surfaces was expressed by optical density. The measurements of optical density were made with an Agfa Horizon Ultra scanner. The influence of the optical properties of the camera objective was

corrected before analysis. The results of this work show that the main factor which modifies the brightness of sand surfaces is the incidence angle of sunbeams. When this angle varied from 23° to 62° the range of optical density, within the sand surfaces recorded, was about 30% of the full range of the optical density measured on the negatives. The changes of the viewing direction during the flight caused small brightness changes of the sand surfaces (10–25% of the range of the optical density connected with them).