

Sławomir Królewicz

## ZMIENNOŚĆ JASNOŚCI POWIERZCHNI PIASZCZYSTEJ FOTOGRAFOWANEJ W RÓŻNYCH WARUNKACH OŚWIETLENIA I OBSERWACJI

### Streszczenie

Odbicie promieniowania elektromagnetycznego od naturalnych powierzchni glebowych nie jest jednakowe we wszystkich kierunkach. Zależy ono od wysokości Słońca nad horyzontem, położenia topograficznego powierzchni odbijającej, jej właściwości oraz pozycji obserwacji. Postanowiono zbadać jak zmienia się jasność powierzchni piaszczystej położonej w różnych warunkach topograficznych, którą fotografowano przy różnej wysokości Słońca. Wykorzystano model, który był zawsze jednakowo zorientowany względem głównej płaszczyzny słonecznej. Jasność powierzchni fotografowanego modelu wyrażono za pomocą gęstości optycznej. Stwierdzono, iż jasność powierzchni piaszczystej była najbardziej zależna od kąta padania promieni słonecznych. Powierzchnie piaszczyste były najjaśniejsze wtedy, gdy promienie słoneczne padały na nie niemal prostopadle. Najsilniejszy wpływ nachylenia i wystawy stoku zaobserwowano w głównej płaszczyźnie słonecznej. W przypadku zmiany pozycji obserwacji jasność powierzchni piaszczystej ulegała zmianie. Była ona jaśniejsza gdy była obserwowana odsłonecznie.

### 1. Wstęp

Większość obiektów naturalnych nie odbija promieniowania słonecznego równomiernie we wszystkich kierunkach. Również naturalne powierzchnie glebowe wykazują cechy obiektów nielambertowskich, które charakteryzują się zmianą jasności w zależności od warunków jej oświetlenia i obserwacji. Przeważnie są one najjaśniejsze, gdy widzi się najmniej ich fragmentów zacienionych. Ma to miejsce, gdy detektor obserwuje powierzchnie mając Słońce za sobą i gdy kierunek obserwacji jest zbliżony do kąta padania promieni słonecznych [Milton i Webb, 1987; Cierniewski, 1989; Irons i in., 1989]. Najważniejszymi czynnikami wpływającymi na rozkład odbicia światła od powierzchni glebowych są: wysokość słońca nad horyzontem, nachylenie i ekspozycja stoku względem źródła oświetlenia oraz szorstkość powierzchni [Norman i in., 1985; Taylor i in., 1996].

Obraz negatywowy 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 obiektywu kamery lotniczej zależy od jego odbicia od powierzchni Ziemi i rozproszenia w atmosferze.

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

(2)

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) oraz 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 oraz wysokość fotografowania. W miarę wzrostu wysokości fotografowania słabnie kontrast pomiędzy obiektami terenowymi, czego przyczyną jest wzrost udziału promieniowania rozproszonego. Strumień światła docierający bezpośrednio do błony filmowej, przechodząc przez układ optyczny kamery, ulega osłabieniu w miarę wzrostu odległości od punktu głównego zdjęcia. Uwzględnienie wszystkich wymienionych powyżej czynników podczas interpretacji jest dość trudne, natomiast ich nie uwzględnienie w procesie klasyfikacji może być źródłem poważnych błędów.

Wykonując kilka zdjęć w krótkim czasie 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 względem osi optycznej kamery, jej położenie w określonych warunkach topograficznych oraz szorstkość.

Przy analizie zmian jasności określonych punktów badawczych na zdjęciu konieczne jest określenie warunków ich obserwacji i oświetlenia. Jasność tych punktów na kolejnych zdjęciach wyrażono za pomocą gęstości optycznej. Definiuje się ją jako wielkość charakteryzującą absorpcję światła przez wywołane klisze fotograficzne (Sitek 1992). Jest ona wyrażona wzorem:

$$D = \log (I/t), \quad (1)$$

gdzie:  $I$  jest grubością warstwy pochłaniającej filmu,  $t$  – współczynnikiem transmisji.

W literaturze znajdujemy sporo przykładów stosowania pomiaru gęstości optycznej dla potrzeb klasyfikacji gleboznawczej [Andronikow, 1986; Gerbermann i in., 1971], pomiaru głębokości w strefie brzegowej Morza Bałtyckiego [Furmańczyk, 1977], analizy struktury zasiewów [Ciołkosz, 1970], rozpoznawania wieku, rodzaju i stanu zdrowotnego drzewostanów leśnych [Będkowski, 1984; Hasiuk, 1984; Leschack, 1971], badania zróżnicowania krajobrazu [Gacki, 1980], wyróżniania typów roślinności w strefie brzegowej [Pestrong, 1969], automatycznej identyfikacji rodzaju pokrycia terenu na podstawie tonu i tekstury obrazu [Rib i Miles, 1969], radiometrycznej analizy treści zdjęcia [Becker i in., 1988; Silvestro 1969] oraz dokładności pomiarów fotogrametrycznych [Beker i in., 1982]. Korektę wartości gęstości optycznej ze względu na właściwości optyczne układu optycznego kamery lotniczej zastosowali Furmańczyk [1977], Becker i in. [1988] oraz Silvestro [1969].

W obiektywie aparatu fotograficznego następuje osłabienie natężenia strumienia promieniowania elektromagnetycznego w miarę wzrostu odległości od punktu głównego zdjęcia. Właściwość, zwana naturalnym winietowaniem, jest wyrażana poniższą formułą [Lillesand, Kiefer 1994; Wójcik, 1989]:

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

gdzie  $E_0$  to natężenie strumienia świetlnego przy kącie  $\alpha$  równym  $0^\circ$ ,  $E_\alpha$  to natężenie strumienia świetlnego w dowolnym punkcie przy kącie obserwacji  $\alpha$  (kąt zawarty pomiędzy osią optyczną a kierunkiem na dany punkt – rys. 1g).

Celem pracy było ilościowe określenie zmian jasności modelowej powierzchni piaszczystej odfotografowanej w zakresie widzialnym na naziemnych zdjęciach czarno-białych w zależności od nachylenia i ekspozycji stoku w zmieniających się warunkach oświetlenia i obserwacji. Szorstkość powierzchni zależna była od rozmiaru ziaren naturalnego piasku wydmowego.

## 2. Metodyka badań

Do realizacji postawionego celu posłużono się modelem składającym się z 56 płaszczyzn stokowych o różnej wystawie (8 kierunków głównych) i nachyleniu ( $0^\circ$  –  $30^\circ$ , stoki zewnętrzne posiadały nachylenie  $25^\circ$ ,  $15^\circ$  i  $5^\circ$ , natomiast stoki wewnętrzne  $30^\circ$ ,  $20^\circ$  i  $10^\circ$ ). Szkielet tego modelu wykonano z grubej tektury na podstawie ośmiokąta foremnego. Po wypełnieniu masą gipsową, uformowano powierzchnie stokowe. Następnie nad modelem rozpylano klej i sypano przez sito piasek wydmowy. Czynność tę powtarzano kilkakrotnie, aż do uzyskania jednorodnej powierzchni piaszczystej (zbliżonej wyglądem do naturalnej).

Model fotografowano aparatem Pentacon Six TL w dwojaki sposób: z wysokości 1.5 m (obiektyw 80 mm), wraz ze wzrostem wysokości Słońca nad horyzontem z tej samej pozycji (2 serie po 5 zdjęć) i 0.7 m (obiektyw 50 mm), przy zmiennej pozycji aparatu w celu uchwycenia wpływu kąta obserwacji (stałe warunki oświetlenia; 1 seria składająca się 8 zdjęć). Wykorzystano film Ilford 100 Delta Professional o czułości 100 ASA (21 DIN). W trakcie fotografowania zachowywano tę samą przysłonę i czas fotografowania. Model był zawsze jednakowo zorientowany względem głównej płaszczyzny słonecznej. Charakterystykę wykonanych zdjęć zawarto w tabeli 1.

Tabela 1. Charakterystyka warunków wykonania zdjęć.

| Oznaczenie serii | Data     | Film, warunki miejsce i wykonania zdjęć   | Numer zdjęcia | Czas wykonania h:m | Kąt zenitalny Słońca [°] | Kąt horyzontalny Słońca [°] |
|------------------|----------|---|---------------|--------------------|--------------------------|-----------------------------|
| Seria 1          | 22-09-98 | Film Ilford Delta Pro 100;<br>Czas 60 ms;<br>Przystona 8;<br>Koziegłowy<br>N 52°26'45''<br>E 17°00'05''     | 1             | 8:32               | 73.7                     | 111.6                       |
|                  |          |   | 2             | 9:00               | 69.8                     | 117.7                       |
|                  |          |   | 3             | 9:30               | 65.9                     | 124.6                       |
|                  |          |   | 4             | 11:00              | 56.5                     | 148.0                       |
|                  |          |   | 5             | 12:22              | 52.3                     | 172.8                       |
| Seria 2          | 22-09-98 | Film Ilford Delta Pro 100;<br>Czas 60 ms;<br>Przystona 11;<br>Koziegłowy<br>N 52°26'45''<br>E 17°00'05''    | 1             | 8:32               | 73.7                     | 111.6                       |
|                  |          |   | 2             | 9:00               | 69.8                     | 117.7                       |
|                  |          |   | 3             | 9:30               | 65.9                     | 124.6                       |
|                  |          |   | 4             | 11:00              | 56.5                     | 148.0                       |
|                  |          |   | 5             | 12:22              | 52.3                     | 172.8                       |
| Seria 3          | 11-05-00 | Film Ilford Delta Pro 100;<br>Czas 250 ms;<br>Przystona 5,6;<br>Koziegłowy<br>N 52°26'45''<br>E 17°00'05''; | 1             | 17:35              | 66.6                     | 267.0                       |
|                  |          |   | 2             |                    |                          |                             |
|                  |          |   | 3             |                    |                          |                             |
|                  |          |   | 4             |                    |                          |                             |
|                  |          |   | 5             |                    |                          |                             |
|                  |          |   | 6             |                    |                          |                             |
|                  |          |   | 7             |                    |                          |                             |
|                  |          |   | 8             |                    |                          |                             |

Negatywy zdjęć zostały wywołane zgodnie z zaleceniami producenta filmu, tak aby można było wykorzystać krzywą charakterystyczną filmu podczas korekcji jasności związanej z osłabieniem oświetlenia w miarę oddalania się od punktu głównego zdjęcia.

Skanowanie przeprowadzono za pomocą urządzenia Horizon Ultra firmy Agfa obsługiwane przez program FotoLook 3.03 zainstalowanego na komputerze Macintosh. Zdjęcia zapisywano w formacie TIFF stosując skalę szarości (256 poziomów). Proces skanowania polegał na pomiarze gęstości optycznej, a następnie zapisie w wybranym modelu barwnym przez konwersję wartości gęstości optycznej na liczby odpowiadające odpowiednim kolorom. Skanowanie przeprowadzono wykorzystując pełen zakres gęstości optycznej występującej na negatywie zdjęcia. Relację gęstości optycznej do liczby odpowiadającej odpowiedniej barwie ustalano manualnie oddzielnie dla każdego filmu. W przypadku tego skanera relacja ta nie ma charakteru liniowego, dlatego dla potrzeb obliczeń przedstawiono ją w postaci wielomianu 5-go lub 6-go stopnia, uzyskanego jako funkcję dopasowaną do zbioru danych w programie EXCEL 97. Dokładność pomiarów gęstości optycznej określono na 0.01. Dla potrzeb analizy zmienności jasności powierzchni piaszczystych zdjęcia skanowano z rozdzielczością 1000 dpi, przez co wymiar piksela, najmniejszego elementu obrazu cyfrowego, w rzeczywistości 0.03 mm.

### 3. Omówienie wyników

#### 3.1. Charakterystyka powierzchni badawczych

Wykorzystany w pracy model formy piaszczystej posiadał 56 powierzchni stokowych, które zawsze były zorientowane tak samo względem głównej płaszczyzny słonecznej. Na każdej powierzchni stokowej wyznaczono pole testowe w kształcie koła, położone w środkowej jej części. Pola testowe zostały pogrupowane w profile. W ramach każdego profilu znalazło się siedem powierzchni stokowych. Wyróżniono osiem profili, które oznaczono dużymi literami.

Dla każdego pola testowego, o rzeczywistej średnicy około 2 cm, obliczono średnią gęstość optyczną (ponad 2500 pikseli). Wyboru tej miary dokonano ze względu na jej bezpośredni związek z wielkością energii padającej na błonę fotograficzną i koniecznością skorygowania wpływu naturalnego winietowania. Rozmieszczenie powierzchni testowych należących do poszczególnych profili przedstawiono na rys. 1b.

Sposób oświetlenia powierzchni położonej w danych warunkach topograficznych jednoznacznie określa się przez podanie kąta padania promieni słonecznych. Jest on zależny od nachylenia i wystawy stoku oraz od wysokości Słońca nad horyzontem. Kąt ten jest mierzony w stosunku do normalnej wyznaczonej względem powierzchni badawczej (rys. 1e). Kąt ten wylicza się na podstawie poniższego 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<sub>p</sub>** - kąt wystawy powierzchni stokowej mierzony względem północy.

Warunki obserwacji danej powierzchni testowej przez kamerę lotniczą charakteryzuje się podając dwa kąty. Pierwszy z nich, kąt  $\alpha$  zawarty jest pomiędzy osią optyczną obiektywu a linią łączącą ognisko soczewki z danym punktem na zdjęciu. Drugi, kąt  $\beta$  mierzony w płaszczyźnie zdjęcia, jest zawarty pomiędzy kierunkiem północy a kierunkiem na dany punkt, przy czym mierzony jest zgodnie z ruchem wskazówek zegara, a jego wierzchołek pokrywa się z punktem głównym zdjęcia (rys. 1g). Jako wypadkowy tych dwóch kątów można wyliczyć kąt obserwacji **O** mierzony względem normalnej do powierzchni testowej (rys. 1f):

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

gdzie:

**O** - kąt obserwacji mierzony względem prostej prostopadłej do powierzchni testowej,

**A** - pionowy kąt obserwacji,

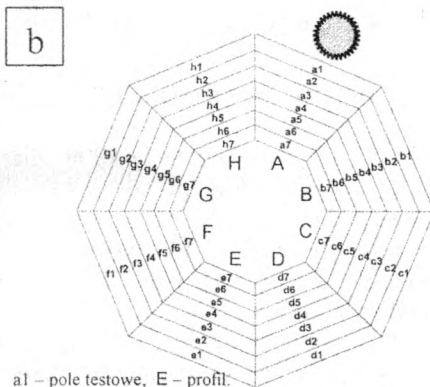
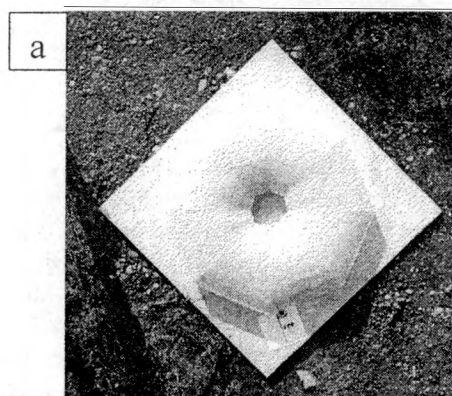
**B** - poziomy kierunek obserwacji mierzony względem północy,

**N** - kąt nachylenia stoku,

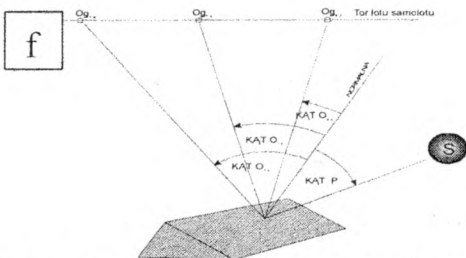
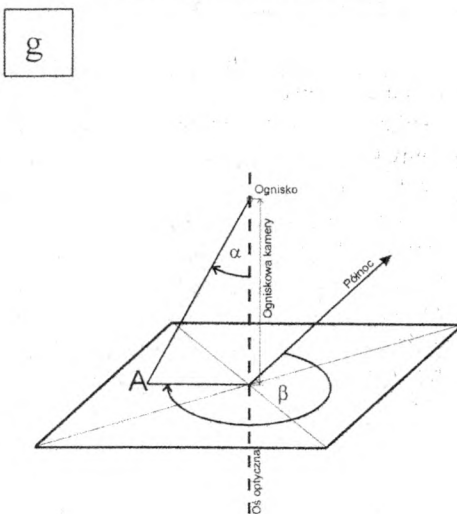
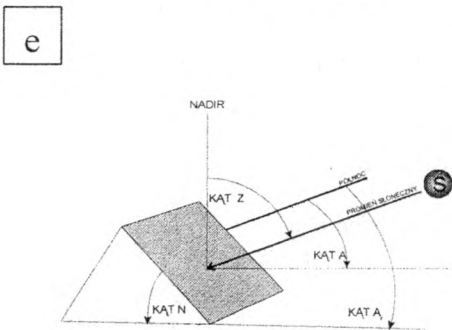
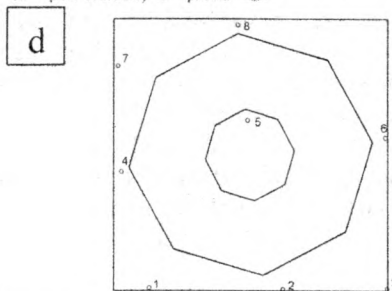
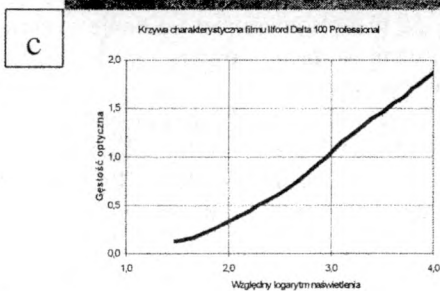
**A<sub>p</sub>** - kąt wystawy powierzchni stokowej mierzony względem północy.

Wszelkie obliczenia i wykresy przygotowano wykorzystując arkusz kalkulacyjny EXCEL.





a1 – pole testowe, E – profil.



Rys. 1. a – zdjęcie modelu formy piaszczystej; b – podział pól testowych na profile; c – krzywa charakterystyczna filmu (oprac. na podstawie materiał producenta); d – położenie aparatu przy wykonywaniu zdjęć z trzeciej serii; e – kąty wyznaczające pozycje Słońca i warunki topograficzne powierzchni badawczej; f – kąt padania promieni słonecznych  $P$  oraz kąt obserwacji  $O$  dla trzech kolejnych zdjęć ( $O_{g1}$ ,  $O_{g2}$ ,  $O_{g3}$  – położenie ogniska aparatu); g - ;

Przed przystąpieniem do analizy zmienności jasności powierzchni piaszczystych, w oparciu o każde zdjęcie, przygotowano tabelę zawierającą pełną charakterystykę pola testowego: porządkowe oznaczenie pola, współrzędne X i Y środka pola w układzie lokalnym, dane o nachyleniu i ekspozycji (odniesionej do kierunku północy), kąt obserwacji pionowej  $a$ , kąt obserwacji poziomej  $b$  (odniesiony do kierunku północy), kąt padania promieni słonecznych, kąt obserwacji oraz dane o surowej i skorygowanej gęstości optycznej.

### 3. 2. Korekcja jasności ze względu na właściwości układu optycznego kamery

Przed przystąpieniem do analizy zróżnicowania jasności powierzchni testowych skorygowano wpływ układu optycznego. Korekcję jasności wykonano w oparciu o równanie (2), tak jak w pracach *Becker i in. [1988]* oraz *Silvestro [1969]*. Równanie to opisuje relację pomiędzy wartościami energetycznymi. Ponieważ podczas skanowania jasność piksela w skali szarości została zapisana jako liczba w skali 8-bitowej, należało ją najpierw zamienić na gęstość optyczną, korzystając z ustalonej w trakcie skanowania relacji. Następnie, korzystając z krzywej charakterystycznej filmu (rys. 1c), zamieniono gęstość optyczną na względną wartość energetyczną, która została skorygowana zgodnie z wspomnianym równaniem. W ostatnim etapie zamieniono skorygowaną wartość energetyczną na gęstość optyczną. Czynności obliczeniowe zautomatyzowano za pomocą skryptu napisanego w języku makropoleceń (SML – Spatial Manipulation Language), stanowiącym integralną część systemu TNTMIPS.

### 3. 3. Zmienność jasności powierzchni piaszczystych

Zakres zarejestrowanej gęstości optycznej był zależny od czułości filmu. Zmienność gęstości optycznej w stosunku do zróżnicowania natężenia światła nie posiada charakteru liniowego, lecz logarytmiczny. Na podstawie krzywej charakterystycznej można stwierdzić, iż większe zróżnicowanie gęstości optycznej występuje przy mniejszej ilości światła padającej na film. Ze względu na różne ustawienia przysłony i czasu fotografowania bezwzględne wartości gęstości optycznej były zróżnicowane dla zdjęć z różnych serii.

Wskutek przeprowadzonej korekcji jasności obrazu ze względu na właściwości układu optycznego wartość średniej gęstości optycznej wzrosła maksymalnie o 0.02 dla zdjęć wykonanych w pierwszej i drugiej serii. Dotyczyło to pól testowych położonych na zewnętrznych powierzchniach stokowych modelu. Niewielki wzrost wartości gęstości optycznej wynikał z zastosowania obiektywu o ogniskowej 80 mm (odpowiada to zastosowaniu obiektywu 210 mm w kamerze lotniczej). Kąt  $\alpha$  osiągnął niewielkie wartości, wynoszące około  $8^\circ$  dla pól położonych na zewnętrznych powierzchniach stokowych. Dla zewnętrznych pól testowych odfotografowanych na zdjęciach w trzeciej serii maksymalny wzrost jasności osiągnął 0.13. Kąt  $\alpha$  wynosił w tym przypadku  $34^\circ$  (obiektyw o ogniskowej 50 mm, co odpowiada zastosowaniu obiektywu lotniczego o ogniskowej 150 mm).

Najniższe wartości gęstości optycznej (po usunięciu wpływu układu optycznego) zanotowano dla powierzchni testowych położonych na stokach odsłonecznym o nachyleniu  $30^\circ$  i  $25^\circ$  w głównej płaszczyźnie słonecznej (pola **a7** i **e1**). Odpowiednio wartość gęstości optycznej wyniosła 0.69 (pole **e1**) i 0.71 (pole **a7**) dla zdjęcia 1. z drugiej serii, 0.89 (pole **e1**) i 0.92 (pole **a7**) dla zdjęcia 1. z pierwszej serii. Te pola testowe były wówczas oświetlone wyłącznie promieniowaniem rozproszonym, bowiem kąt padania promieni słonecznych  $P$  był większy od  $90^\circ$ .

Najwyższe wartości gęstości optycznej zanotowano również dla pól testowych położonych w głównej płaszczyźnie słonecznej położonych na stokach dosłonecznych o nachyleniu  $25^\circ$  i  $30^\circ$  – **a1** i **e7**. Odpowiednio wartość gęstości optycznej wyniosła 1.36 (pole **a1**) i 1.34 (pole **e7**) dla zdjęcia 5. z drugiej serii, 1.52 (pole **a1**) i 1.53 (pole **e7**) dla zdjęcia 5. z pierwszej serii. Kąt **P** osiągnął dla tych pól wartości  $22^\circ$  (pole **a1**) i  $27^\circ$  (pole **e7**).

Zakres gęstości optycznej w jakiej rejestrowano powierzchnie piaszczyste oświetlone promieniami słonecznymi uległ zmniejszeniu o 0.08-0.1 wraz ze wzrostem wysokości Słońca nad horyzontem o  $20^\circ$ . W przypadku najniższej pozycji Słońca zakres wyniósł 0.51 (1. zdjęcie z pierwszej serii) oraz 0.48 (1. zdjęcie z drugiej serii). Mniejsze zmiany zakresu zanotowano w przypadku stosowania większej liczby przysłony (druga seria zdjęć).

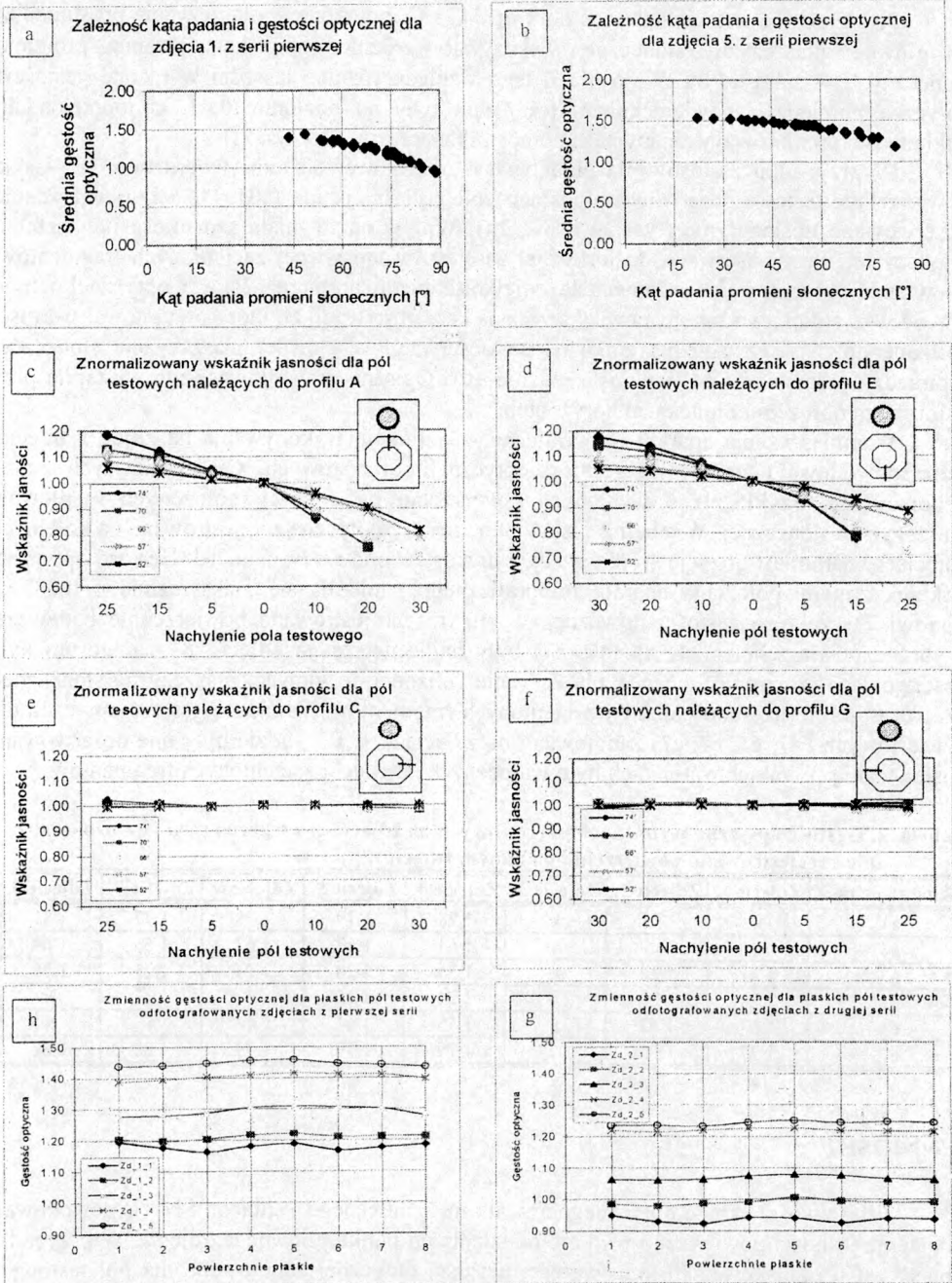
Jasność powierzchni piaszczystych w momencie fotografowania zależała przede wszystkim od kąta padania promieni słonecznych (rys.2a i rys. 2b). Im niższa wartość kąta **P** tym wyższa wartość gęstości optycznej. Charakter tej zależności zbliżony do przebiegu funkcji cosinus. Większy spadek wartości gęstości optycznej następował dla wyższych wartości kąta **P**. Na przykład, wzrost wartości kąta **P** o  $10^\circ$  (z  $73^\circ$  na  $83^\circ$ ) powodował obniżenie jasności powierzchni piaszczystej 0.17 (zdjęcie 1. z serii pierwszej, pola **a4** i **a5**). Zależność ta zmienna była również w czasie, tzn. w miarę wzrostu wysokości Słońca nad horyzontem wartość gęstości optycznej ulegała zwiększeniu dla tych samych wartości kąta padania promieni słonecznych. Było to związane ze wzrostem ilości promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni badawczych. Wzrost wartości gęstości optycznej nie był jednakowy. Był on niewielki dla niskich wartości kąta **P** i osiągnął wartość około 0.1 dla zdjęć z pierwszej i drugiej serii. W przypadku wysokich wartości kąta **P** gęstość optyczna wzrosła o około 0.25. Ten niejednakowy wzrost wartości gęstości optycznej wynikał z właściwości filmu, które opisuje krzywa charakterystyczna.

Podstawowym czynnikiem modyfikującym kąt padania promieni słonecznych były nachylenie i wystawa stoku. Największe zróżnicowanie jasności z tym związane zanotowano na profilach **A** i **E** obserwowanych w głównej płaszczyźnie słonecznej na zdjęciach wykonanych przy najwyższych wartościach kąta zenitalnego Słońca **Z** (zdjęcia 1. z pierwszej i drugiej serii). Na profilu **A**, powierzchnia **a1** nachylona dosłonecznie pod kątem  $25^\circ$ , była jaśniejsza o 18% od powierzchni płaskiej **a4**. Natomiast na profilu **E**, powierzchnia **e7** nachylona dosłonecznie pod kątem  $30^\circ$ , była jaśniejsza o 17% od powierzchni płaskiej **e4** (rys. 2c i ryc. 2d). Natomiast powierzchnie **a7** i **e1** o wystawie odsłonecznej były ciemniejsze o około 40% od powierzchni płaskich (odpowiednio **a4** i **e4**). Zmiany jasności powierzchni testowych w zależności od nachylenia stoku wyrażono za pomocą znormalizowanego wskaźnika jasności – wartość gęstości optycznej powierzchni testowej o nachyleniu różnym od 0 dzielono przez gęstość optyczną powierzchni płaskiej w ramach danego profilu. Zmiany znormalizowanego wskaźnika jasności dla profili **A** i **E** przedstawiono na wykresach.

W miarę wzrostu wysokości Słońca nad horyzontem kontrast pomiędzy powierzchniami o wystawie dosłonecznej i odsłonecznej ulegał zmniejszeniu. Na profilu **A**, powierzchnia **a1** odfotografowana na zdjęciu 5. z serii pierwszej była jaśniejsza o 6% od powierzchni płaskiej **a4**. Natomiast na profilu **E**, powierzchnia testowa **e1** była jaśniejsza o 5% od powierzchni płaskiej **e4**. Powierzchnie testowe **a7** i **e1**, położone na stokach odsłonecznych, były ciemniejsze odpowiednio o 18% i 12% od powierzchni płaskich **a4** i **e4**.

Zróżnicowanie jasności powierzchni testowych należących do profili **B**, **D**, **F** i **H** miało podobny charakter jak na profilach **A** i **E**. Jednakże kontrast pomiędzy powierzchniami stokowymi o wystawie dosłonecznej i odsłonecznej był mniejszy niż w głównej płaszczyźnie słonecznej.





Rys.2. Wykresy przedstawiające zróżnicowanie jasności pól testowych. Na wykresach nie umieszczano tych pól, dla których kąt padania promieni słonecznych  $P$  w momencie wykonywania zdjęcia był większy od  $90^\circ$ . Na wykresach h i g kolejne cyfry związane są z odpowiadającymi im polami testowymi (1- a4, 2- b4, 3- c4, 4 -d4, 5- e4, 6- f4, 7- g4 i 8- h4).

Powierzchnie testowe należące do profili **C** i **G**, położone w płaszczyźnie prostopadłej do głównej płaszczyzny słonecznej wykazywały zróżnicowanie kąta padania promieni słonecznych w zakresie od  $2^\circ$  do  $4^\circ$ . Z tego względu różnice jasności wyrażone gęstością optyczną pomiędzy powierzchniami testowymi były na poziomie 0.01, co odpowiadało dokładności pomiarów wykonanych za pomocą skanera (rys. 2e i rys. 2f).

W przypadku zastosowania obiektywu o ogniskowej 80 mm stwierdzono, iż płaskie powierzchnie testowe obserwowane odslonecznie są jaśniejsze o 0.01-0.02 niż powierzchnie obserwowane dosłonecznie (rys. 2g i ryc. 2h). Wpływ na to miała szorstkość powierzchni piaszczystej. Przy obserwacji dosłonecznej zarejestrowano więcej zaciemnionych fragmentów. Niewielkie zróżnicowanie odpowiadało wielkości błędu pomiaru gęstości optycznej i było przede wszystkim związane z niewielką zmianą kąta obserwacji  $\theta$ , który przyjmował wartości zbliżone do  $5^\circ$ . Bezwzględna zmiana kąta obserwacji w głównej płaszczyźnie słonecznej (pomiędzy polami **a4** i **e4**) wyniosła jedynie  $10^\circ$ . Opisana prawidłowość nie wystąpiła przy najniższym położeniu Słońca nad horyzontem.

Przemieszczenie aparatu fotograficznego w trakcie wykonywania na zdjęć z trzeciej serii spowodowało zmiany na gęstości optycznej pól testowych. Omówienia tych zmian dokonano na przykładzie 6 wybranych powierzchni badawczych położonych w głównej płaszczyźnie słonecznej. W tabeli 2 zestawiono gęstość optyczną zarejestrowaną na kolejnych zdjęciach, natomiast pozycje środków zdjęć przedstawiono na rysunku 1d. Gęstość optyczna, wskutek zmiany położenia aparatu fotograficznego, zmieniła się maksymalnie o 0.08, co stanowi 7% zakresu gęstości optycznej, w którym zarejestrowano powierzchnie badawcze. Wybrane powierzchnie (**a1**, **a4**, **a7**, **e7**) były najjaśniejsze na zdjęciu 8., na którym były obserwowane od strony Słońca w płaszczyźnie zbliżonej do głównej płaszczyzny słonecznej. Wówczas zarejestrowano najmniej zaciemnionych fragmentów. Najniższą gęstość optyczną dla pól testowych (**a7**, **e1**, **e4**, **e7**) zanotowano na zdjęciach 1. i 2., gdzie były one obserwowane dosłonecznie. W takich warunkach było widocznych najwięcej zaciemnionych fragmentów.

Tabela. 2. Gęstość optyczna wybranych pól testowych na zdjęciach z trzeciej serii (x – oznacza, że nie zarejestrowano powierzchni na danym zdjęciu)

| Oznaczenie pola | Zdjęcie 1. | Zdjęcie 2. | Zdjęcie 3. | Zdjęcie 4. | Zdjęcie 5. | Zdjęcie 6. | Zdjęcie 7. | Zdjęcie 8. |
|-----------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <b>a1</b>       | x          | x          | x          | 1.78       | 1.79       | 1.78       | 1.77       | 1.81       |
| <b>a4</b>       | x          | x          | x          | 1.64       | 1.67       | 1.63       | 1.65       | 1.69       |
| <b>a7</b>       | 1.21       | 1.22       | x          | 1.26       | 1.26       | 1.24       | 1.25       | 1.29       |
| <b>e1</b>       | 1.20       | 1.20       | x          | 1.24       | 1.25       | x          | x          | x          |
| <b>e4</b>       | 1.63       | 1.62       | x          | 1.65       | 1.64       | x          | x          | x          |
| <b>e7</b>       | 1.77       | 1.78       | 1.77       | 1.79       | 1.79       | 1.79       | 1.80       | 1.82       |

## 5. WNIOSKI

Właściwości układu optycznego aparatu fotograficznego Pentacon Six TL powodowały obniżenie jasności powierzchni w miarę oddalania od punktu głównego zdjęcia. W przypadku obiektywu o ogniskowej 80 mm wartości gęstości optycznej zanotowane dla pól testowych uległy obniżeniu jedynie o 0.02. Dla obiektywu o ogniskowej 50 mm wartości gęstości optycznej były zmieniły się maksymalnie o 0.15. Nie zastosowanie korekty wartości jasności ze względu na cechy układu spowodowałoby zwiększenie zakresu gęstości optycznej o około 20%

(obiektyw o ogniskowej 50 mm, który odpowiadał badanym powierzchniom piaszczystym). W przypadku obiektywu o dłuższej ogniskowej miało to małe znaczenie.

Główną przyczyną modyfikującą jasność powierzchni piaszczystej na zdjęciu był kąt padania promieni słonecznych, który zależał od położenia topograficznego, wyrażonego przez nachylenie i wystawę stoku. Kąt padania kąta promieni słonecznych zmieniał się w zakresie od  $27^\circ$  do niemal  $90^\circ$ . Charakter zależności gęstości optycznej i kąta padania promieni słonecznych zbliżony jest do przebiegu funkcji cosinus. Większe zróżnicowanie gęstości optycznej występowało przy niższych pozycjach Słońca nad horyzontem.

Kontrast pomiędzy powierzchniami piaszczystymi o wystawie odsłonecznej i dosłonecznej maleje wraz ze spadkiem wartości kąta zenitalnego Słońca. Przy najniższej pozycji Słońca nad horyzontem powierzchnia piaszczysta o wystawie dosłonecznej i nachyleniu  $25^\circ$ , położona w głównej płaszczyźnie słonecznej, była jaśniejsza o 17% od powierzchni płaskiej. Natomiast powierzchnia o wystawie odsłonecznej i nachyleniu  $30^\circ$  była ciemniejsza o 40%.

Zmiana pozycji aparatu fotograficznego powodowała zmianę kierunku obserwacji powierzchni badawczej. Zmiany gęstości optycznej nie przekroczyły 8% zakresu w jakim zarejestrowano powierzchnie piaszczyste. Przyczyną tych zmian była szorstkość powierzchni piaszczystej. Wyższą wartość gęstości optycznej zarejestrowano w przypadku obserwacji odsłonecznej, gdy obserwowano najmniej zacienionych fragmentów.

## Literatura

1. Andronikow W.L., 1986, *Teledetekcja gleb*. PWN, W-wa.
2. Becker F., Nerry F., 1988, *Towards a quantitative uses of Aerial Color Infrared Films*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 44, No. 6.
3. Beker L., Butowtt J., Stępniaak J., Ziuzia J., 1982, *Wpływ wielkości powierzchni o jednakowej gęstości optycznej na dokładność fotogrametrycznie wyznaczanych odległości*, Przegląd Geodezyjny, nr 10, 173-175.
4. Będkowski K., 1984, *Aproksymacja trygonometryczna mikrodensytogramów zdjęć lotniczych drzewostanów sosnowych różnych klas wiekowych*, Przegląd Geodezyjny, nr 7, 9-12.
5. 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.
6. Ciołkosz A., 1970, *Analiza struktury zasiewów na zdjęciach lotniczych*, Przegląd Geodezyjny, nr 7, 309.
7. Furmańczyk K., 1977, *Niektóre aspekty przestrzennego rozkładu gęstości optycznej zdjęć obszarów morskich*, Fotointerpretacja w Geografii, no 10, Toruń, 203-210.
8. Gacki T., 1980, *Zastosowanie metody mikrofotometrycznej w analizie rysunku obrazu satelitarnego jako wskaźnika zróżnicowania krajobrazu*, Fotointerpretacja w Geografii, no 14, ss. 43-50.

9. Gerbermann A.H., Gausman H.W., Wiegand C.L., 1971, *Color and Color IR Films for Soil Identification*, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 37, No. 4, ss. 359-364.
10. Hasiuk M., 1984, *Mikrofotometryczna analiza obrazu lasu na zdjęciach lotniczych*, Fotointerpretacja w Geografii, no 17, 104-115.
11. Irons, J.R., Weismiller, R. A., Petersen, G. W., 1989, *Soil reflectance*. [w]: Theory and Applications of Rem. Sens. (Ghasem Asrar, Ed.), Wiley, New York, 66-110.
12. Lillesand T.M., Kiefer R.W., 1994, *Remote Sensing and Image Interpretation*, John Wiley & Sons, Inc. New York.
13. Leschack L.A., 1971, *ADP of Forest Imagery*, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 37, No. 8, ss. 885-896.
14. Milton, E.J. and Webb, J.P., 1987, *Ground radiometry and airborne, multispectral survey of bare soils*, Int. J. Rem. Sens. 18: 3-14.
15. 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.
16. Pestrong R., 1969, *Multiband Photos for a Tidal Marsh*, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 35, No. 5, ss. 453-471.
17. Rib H.T., Miles R.D., 1969, *Automatic Interpretation of Terrain Features*, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 35, No. 8, ss. 153-164.
18. Taylor G. R. i in., 1996, *Characterization of saline soils using airborne radar imagery*, Rem. Sens. Env. 57: 127-142.
19. Sitek Z., 1992, *Słownik pięcioletni z zakresu fotogrametrii i teledetekcji*, Wyd. AGH, Kraków.
20. Wójcik S., 1989, *Zdjęcia lotnicze*, PPWiK. W-wa 1989.

Recenzował: dr inż. Stanisław Mularz