



Wiedza dla Eksperta

Źródła informacji przestrzennej
– dane teledetekcyjne.

Sensory i dane pozyskiwane z
pułapu lotniczego.



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Teledetekcja jako dziedzina wiedzy

Teledetekcja – to dziedzina wiedzy, nauki, techniki zajmująca się badaniem właściwości fizycznych, chemicznych i biologicznych przedmiotów bez bezpośredniego z nimi kontaktu. Nośnikiem informacji jest w teledetekcji **promieniowanie elektromagnetyczne**. Źródłem tego promieniowania są wszystkie obiekty o temperaturze wyższej od 0° K (tzw. zero absolutne)



Pozycja teledetekcji względem Geograficznych Systemów Informacyjnych (wszelkie systemy informacji przestrzennej)

Interpretacja danych teledetekcyjnych (Lillesand i in. 2004)

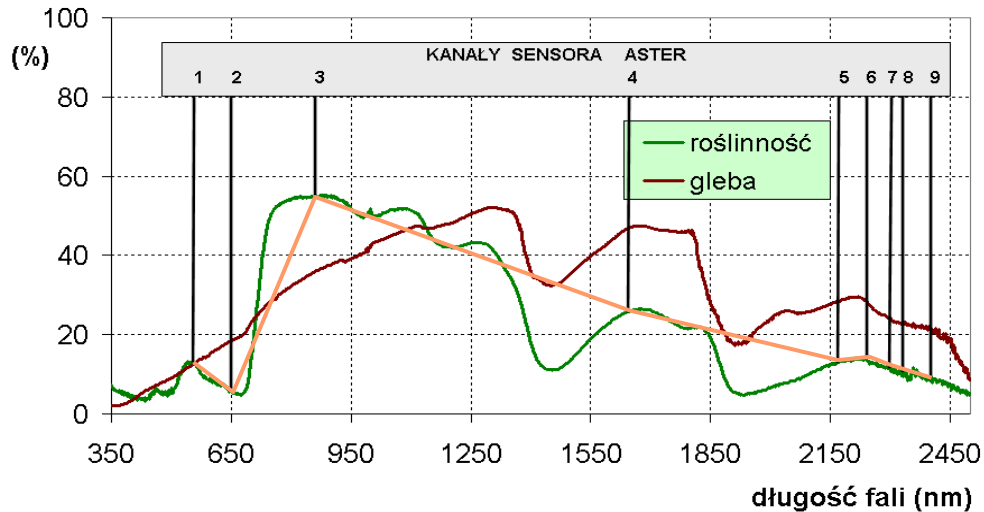
1. Znajomość charakterystyki źródła energii promienistej.
2. Rozumienie przemian promieniowania EM w atmosferze na drodze od źródła do powierzchni Ziemi.
3. Rozumienie interakcji promieniowania EM z powierzchnią Ziemi;
4. Zrozumienie przemian promieniowania EM w atmosferze na drodze od powierzchni Ziemi do **sensora**.
5. Znajomość charakterystyk detekcji i zapisu promieniowania EM przez **sensor** oraz jak one zmieniają informację niesioną przez promieniowanie elektromagnetycznie
6. Korekcja zakłóceń wprowadzonych przez **sensor** na zebranych danych.
7. Analiza i Interpretacja danych (bez zakłóceń, wprowadzanych przez sensor)
8. Stworzenie produktów informacyjnych o specyficznych cechach ukierunkowanych na dobrze zdefiniowane potrzeby użytkownika końcowego. (ten element determinuje wymagania względem punktów 1.-7.)
9. Przekazywanie danych użytkownikom końcowym.

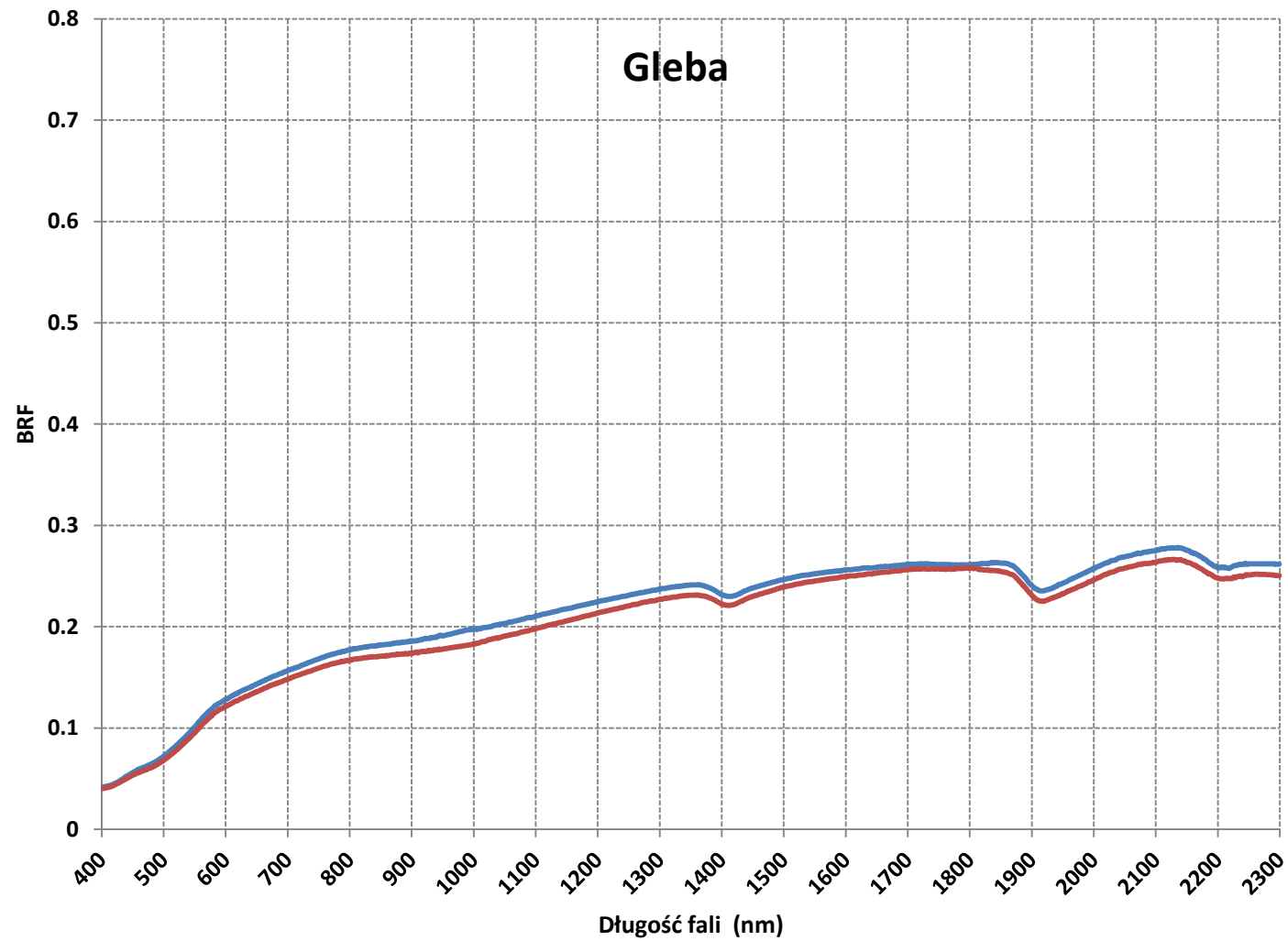
Skośny obraz lotniczy gleb niepokrytych roślinnością



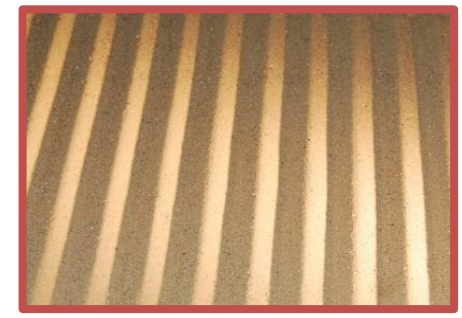
Pomiary radiometrem hiperspektralnym

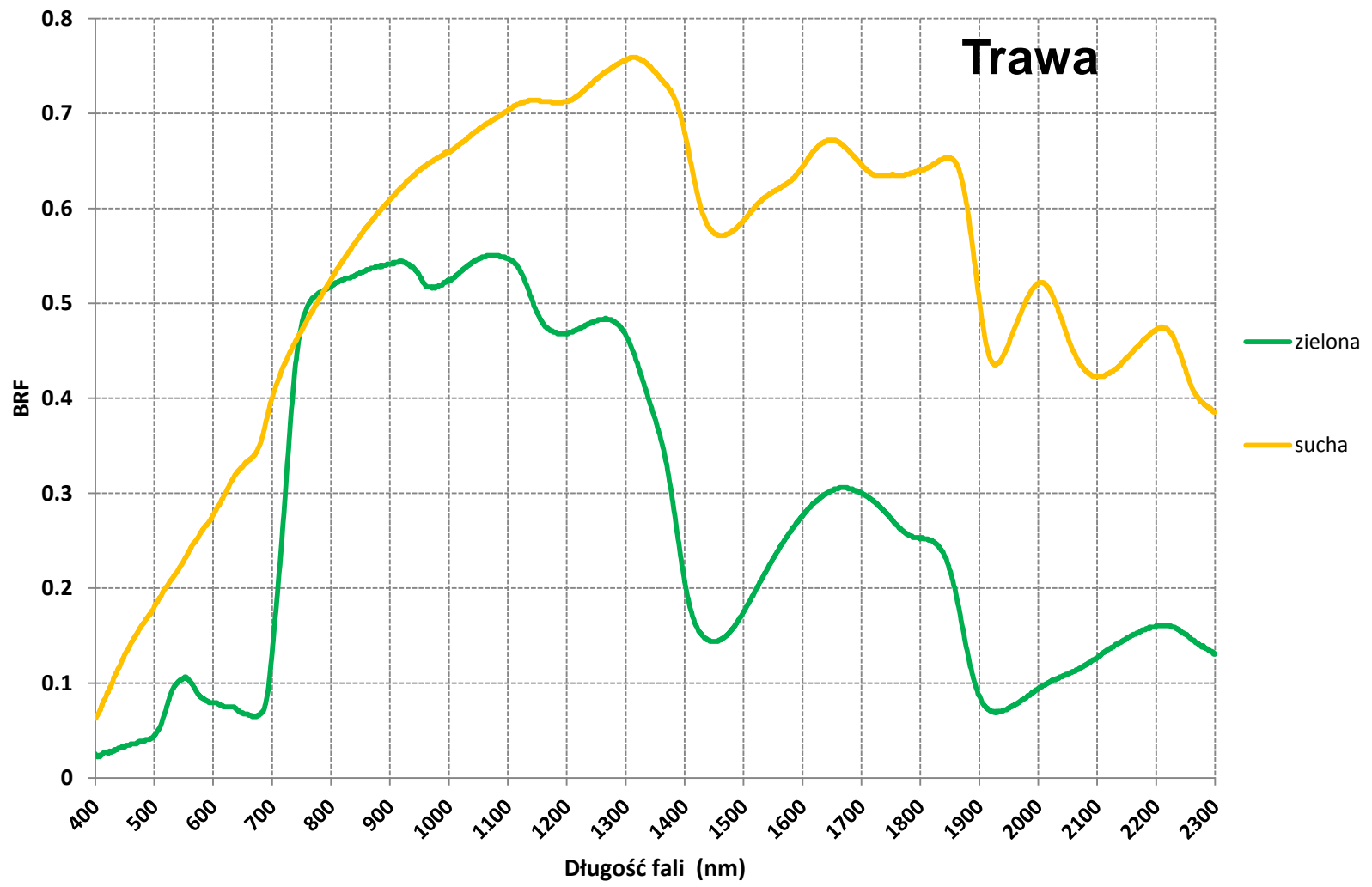
Krzywe spektralne uzyskane 512 kanałowym radiometrem FieldSpec3

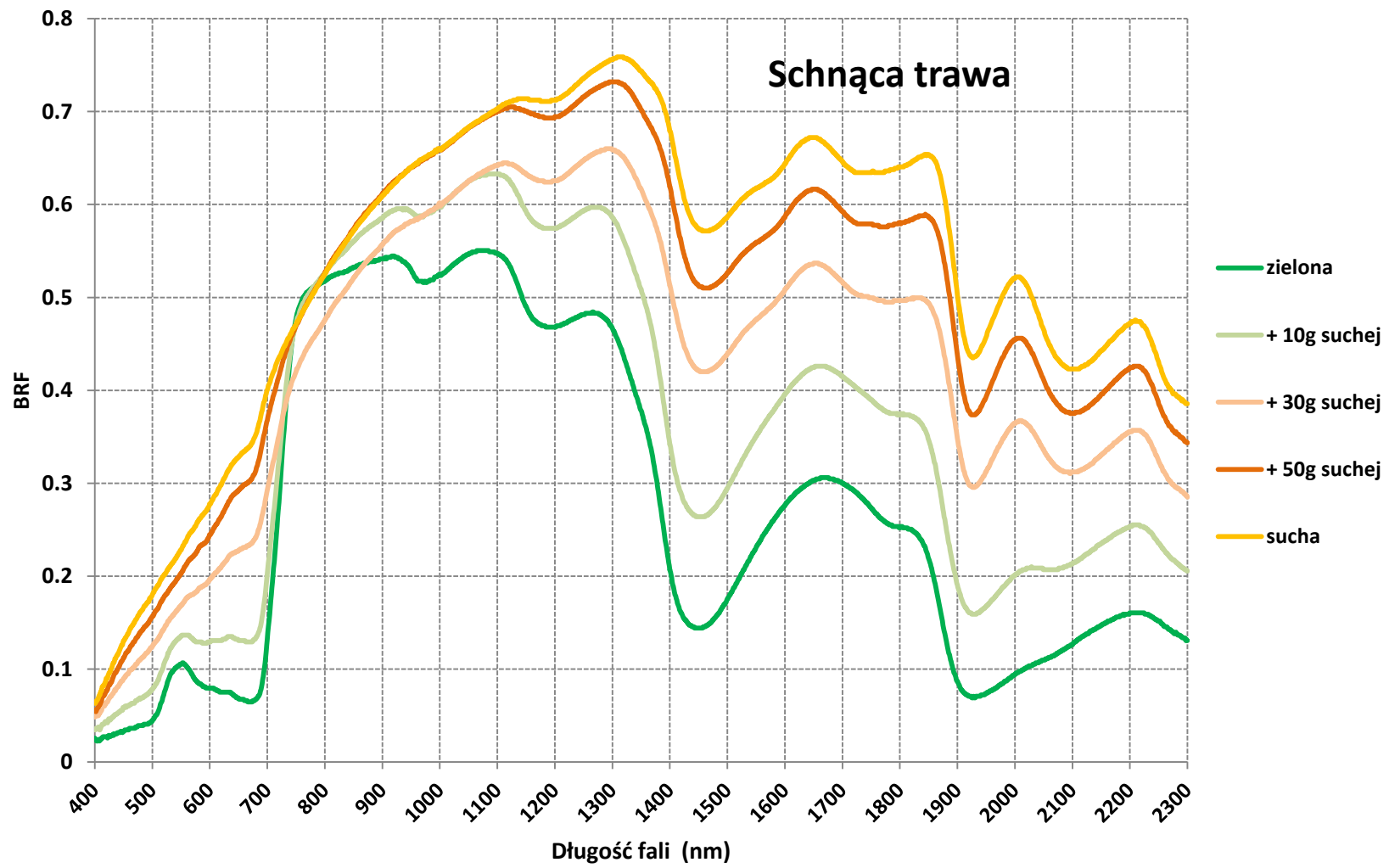


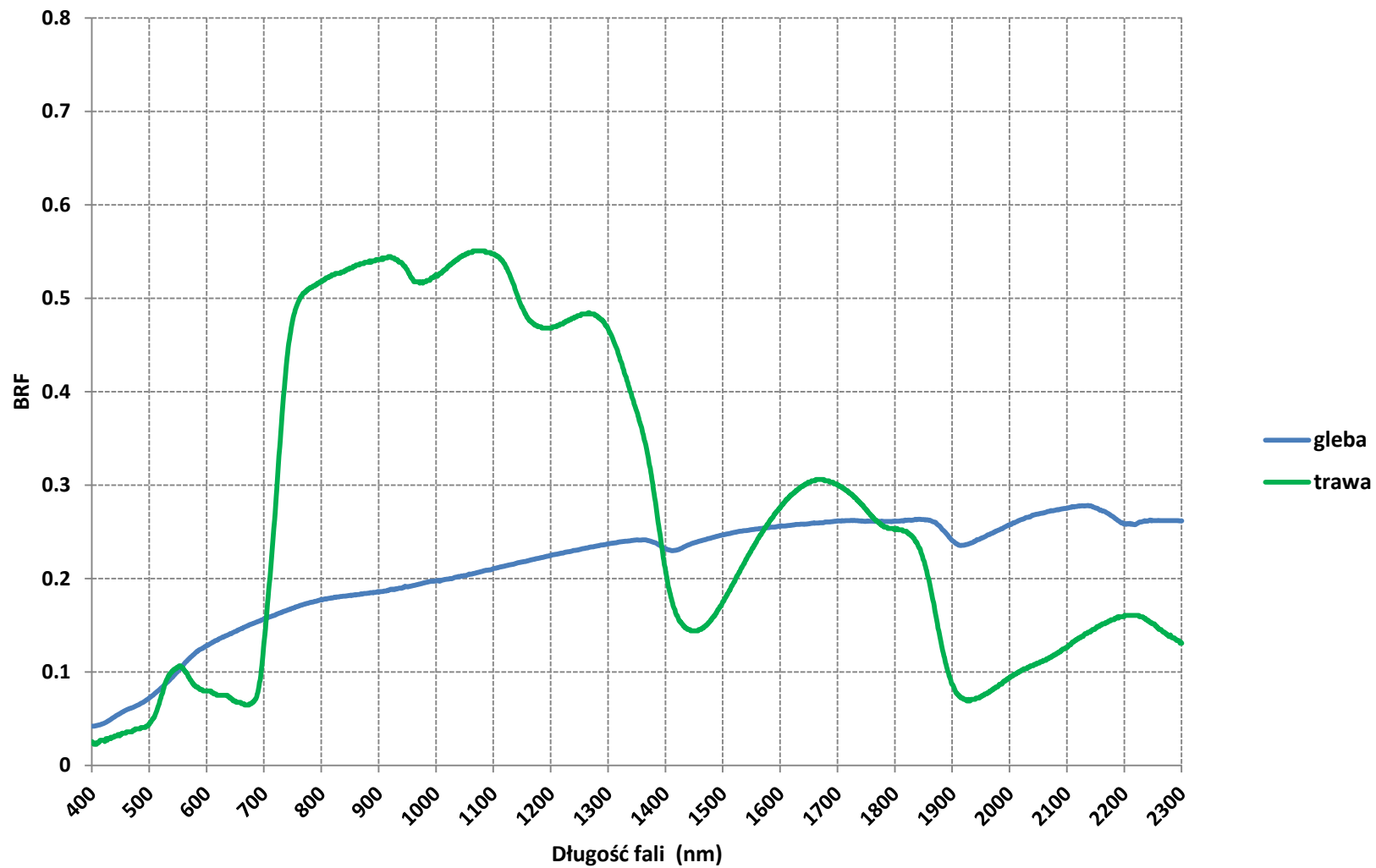


— gładka
— szorstka



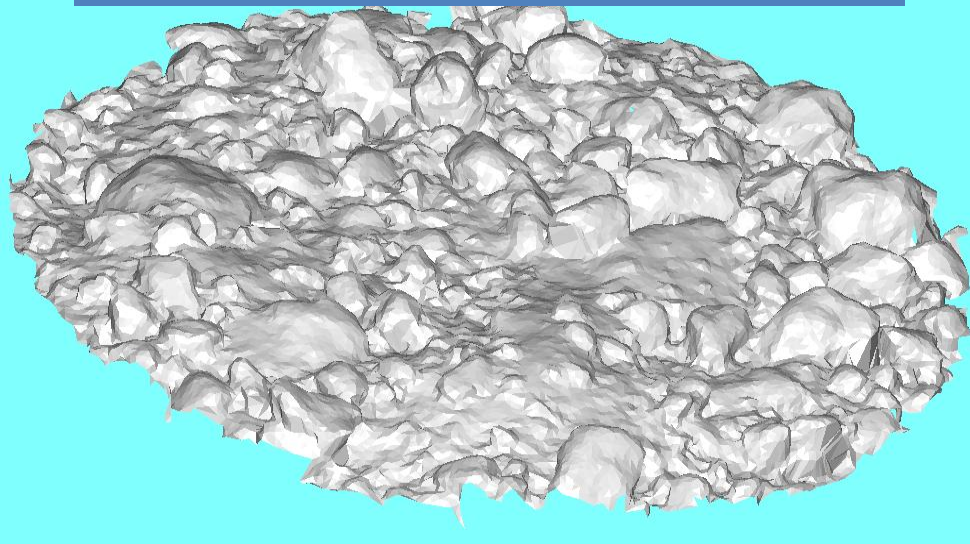






Pomiary laboratoryjne na goniometrze

Trójwymiarowy obraz powierzchni
uzyskany za pomocą skanera 3D
laserowego Minolta-VI-910





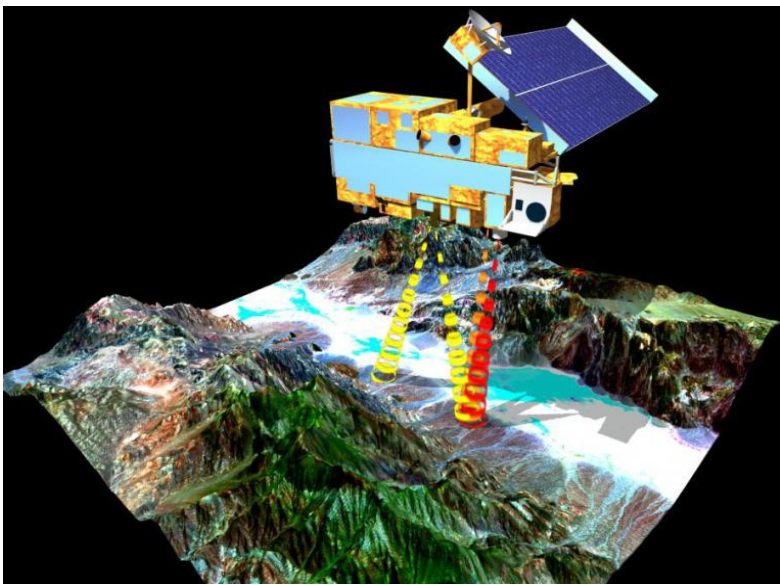
Teledetekcja – zdjęcia...

Zdjęcie to fotograficzny obraz przedmiotu, a **fotografia** to zapis światła (z greckiego: *photos* – światło *graphos* zapis).

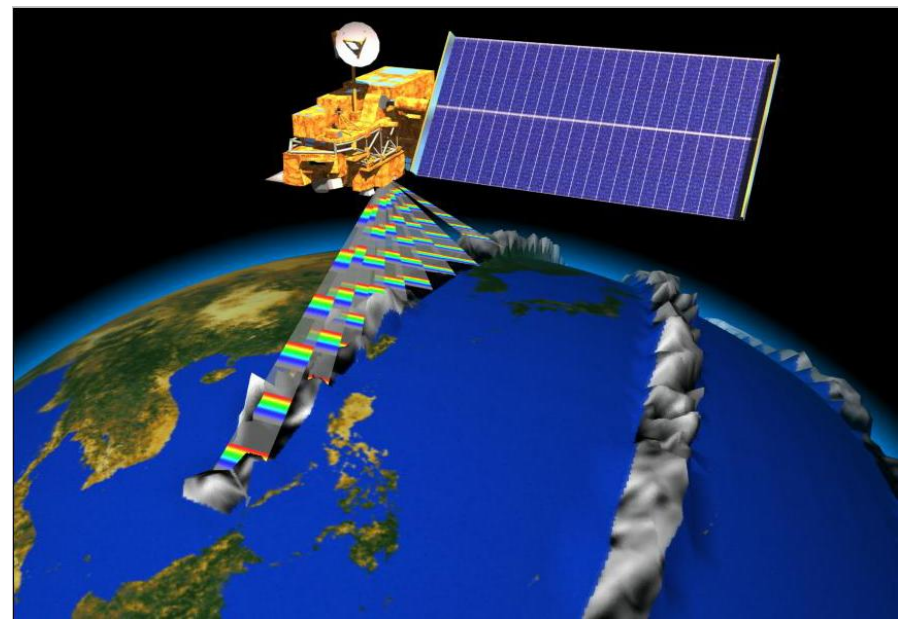
Zdjęcia **lotnicze** (wykonywane z pułapu do 100 km), **satelitarne** (powyżej 100 km) i ostatnio pojawiły się **zdjęcia przyziemne** (wykonywane z nisko latających bezzałogowych statków powietrznych podobnych do wojskowych „Predatorów”). Zdjęcia należą do najpowszechniej stosowanych i pozyskiwanych danych.

Zapis obrazu najczęściej dokonuje się na **filmie fotograficznym** lub w sposób **cyfrowy**, wykorzystując macierze CCD. Sposób zapisu ma wpływ na interpretację danych.

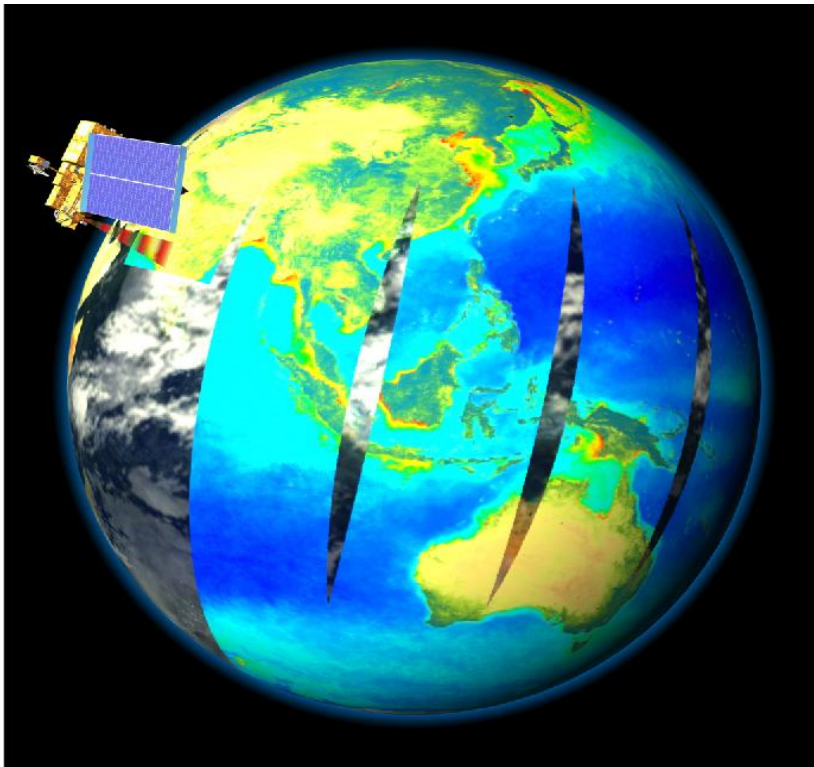
Dziedziny bardzo mocno związane z teledetekcją to (tworzące ją): **Fotogrametria, przetwarzanie obrazów, radiometria, technologia procesu fotograficznego, grafika komputerowa, nauka o kolorze, optyka, ...**



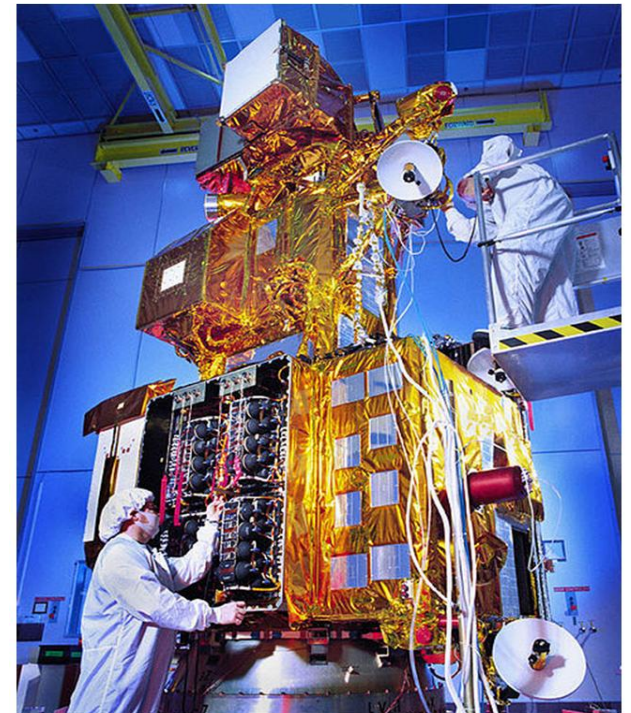
ASTER Scan View



MISR Swath



MODIS Swath



Landsat 7 w labo

CESSNA 310Q



Air-Britain Photographic Images Collection

© Horváth Balázs

Piper Aztec PA23-250



Blom UAV system: samodzielna platforma lotnicza



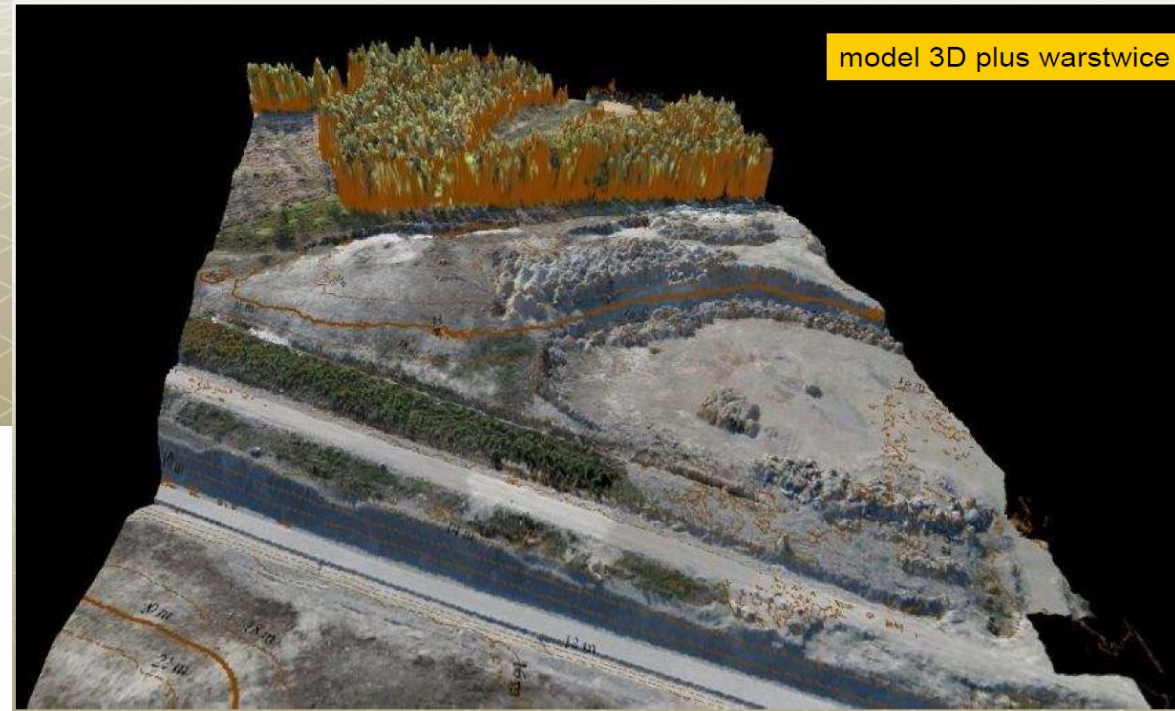
waga: 1,1 kg; napęd elektryczny
czas lotu: 45 min.; obiekty ok. 500 x 500m
h (10cm): 200m (7 MPixel camera, RGB)
pokrycie: 80/80%

automatyczna technologia do obliczenia DSM i ortofoto
 $\sigma(x,y): \leq 10\text{cm}$
 $\sigma(z): \leq 20\text{cm}$



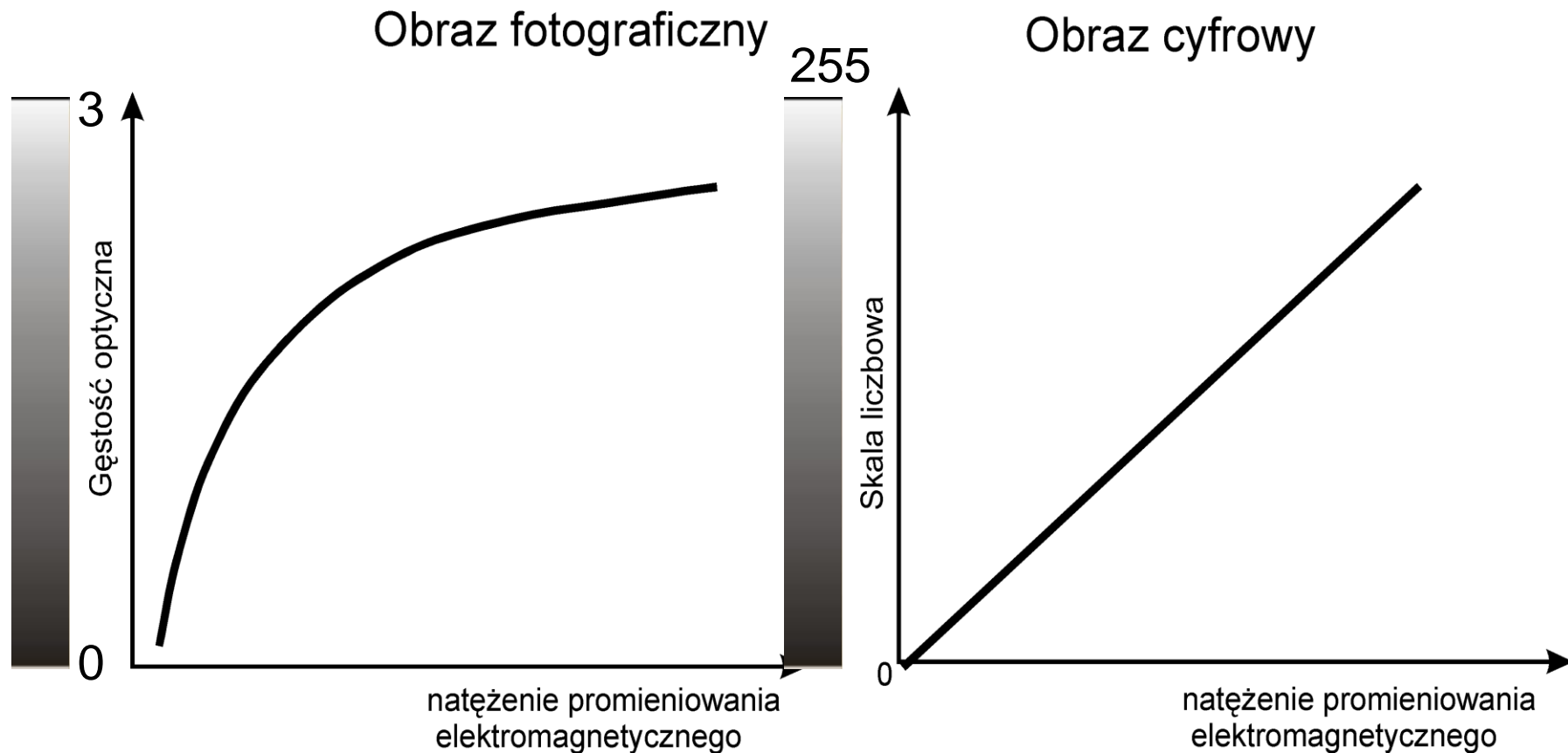
automatyczny
orto mosaic:

- wstępne obliczenie możliwe zaraz po lądowaniu (~ 10 min.)
- dokładne obliczenie jako usługa internetowa



Unmanned Aerial Vehicles

Sposób zapisu zróżnicowania promieniowania elektromagnetycznego na fotografii i obrazie cyfrowym.



Zapisu obrazu dokonuje się dwoma sposobami: analogowym na filmie fotograficznym oraz cyfrowym. Różnią się one charakterem relacji pomiędzy wartością natężenia promieniowania elektromagnetycznego a gęstością optyczną na negatywie fotografii lub wartością liczbową jasności na obrazie cyfrowym. Gęstość optyczna, określająca stopień zaczernienia na negatywie, związana jest z natężeniem reakcji fotochemicznych. Natężenie tych reakcji zależy w sposób logarytmiczny od ilości energii padającej na film fotograficzny, tzn. że jednostkowy przyrost gęstości optycznej nie jest związany prostoliniowo z jednostkowym wzrostem wartości promieniowania elektromagnetycznego. W przypadku sensorów cyfrowych relacja ta ma charakter prostoliniowy (Lillesand i Kiefer, 1994), czyli jednostkowy wzrost wartości energii powoduje jednostkowy przyrost wartości w skali liczbowej.



Podziały danych teledetekcyjnych

Według:

- rozdzielczości naziemnej,
- rozdzielczości spektralnej (pojemność Informacyjna),
- szerokości zakresów spektralnych,
- wysokości wykonywania zdjęć,
- geometrii wewnętrznej,
- sposobu zapisu obrazu,

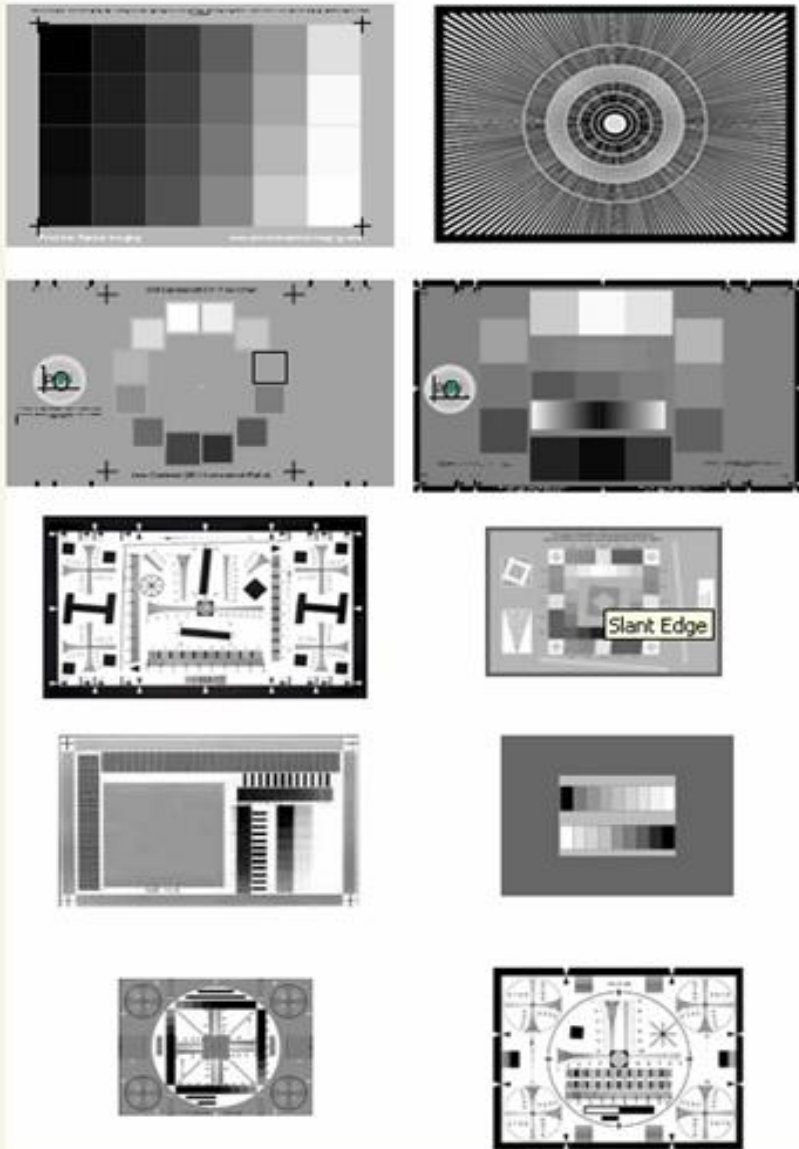
Pojęcie zdolności rozdzielczej, rozdzielczości ...

Może być one rozpatrywane z różnych punktów widzenia:

- właściwości układu optycznego, które warunkują możliwość przeniesienia obrazu z rzeczywistości do płaszczyzny obrazu w aspekcie przestrzennym – wymiar najmniejszego czytelnego obiektu oraz w aspekcie radiometrycznym, fotometrycznym – rozróżnianie poszczególnych tonów szarości (ocena zdolności obiektywów poprzez różne testy przedstawiona jest na kolejnym slajdzie);
- sposobu rejestracji obrazu (klisza fot., matryca CCD), mówimy wtedy o zdolności rozdzielczej materiału światłoczułego albo o wymiarze rzeczywistym elementu światłoczułego, czyli wymiarze najmniejszego czytelnego elementu obrazu
- właściwości materiału, na którym wykonana jest odbitka zdjęcia (papier fot., diapozytyw),
- cech urządzenia skanującego (skanery – rozdzielczość optyczna i interpolowana),
- cech urządzenia wyświetlającego (monitor, projektor – wymiar plamki),
- w odniesieniu do rozmiarów najmniejszego, fotografowanego obiektu (**rozdzielczość naziemna, przestrzenna**),
- powtarzalności fotografowania (**rozdzielczość czasowa**),
- ilości wąskich zakresów (kanałów) promieniowania elektromagnetycznego (**rozdzielczość spektralna**).

Wpływ na zdolność rozdzielczą ma stan przejrzystości atmosfery. Im jest ona bardziej przezroczysta (czystsza), tym lepsze warunki do rejestracji obrazów w dużej rozdzielczości. Występujące zamglenie może obniżać potencjalne możliwości sensorów teledetekcyjnych rejestracji obrazów w wysokiej rozdzielczości.

Badanie zdolności rozdzielczej obiektywów i materiałów fotograficznych



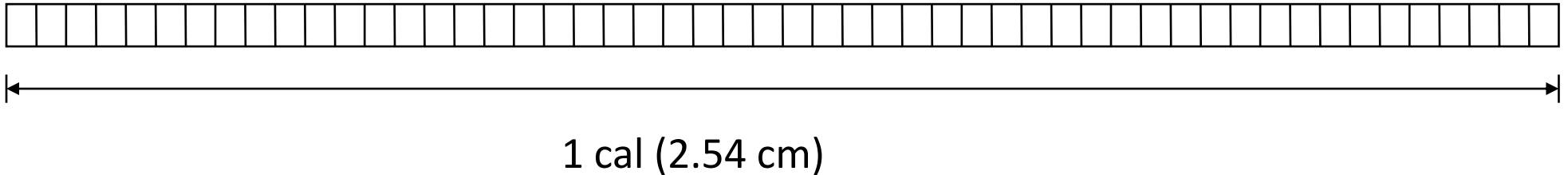
Związana jest z właściwościami optycznymi obiektywu. Każda kamera lotnicza poddawana jest procesowi kalibracji, podczas którego ustala się m.in. zdolność rozdzielczą w płaszczyźnie całego zdjęcia. Miarą zdolności rozdzielczej obiektywu jest ilość par linii, które można odfotografować w 1 [mm]. Podczas testów bada się również zdolność przenoszenia poszczególnych odcieni szarości. Badania wykonuje się dla punktów położonych w różnej odległości kątowej od punktu głównego zdjęcia.

Rozdzielczość skanowania

W przypadku skanerów wyróżniamy dwa rodzaje rozdzielczości:

- rozdzielczość optyczną,
- rozdzielczość interpolowaną.

Matryca skanująca CCD.



Rozdzielczość najczęściej określa się podając liczbę punktów na cal (np. 50 dpi = dot per inch)

Zwiększenie rozdzielczości poprzez interpolację.



Porównanie jednostek rozdzielczości

Informacje na temat standardów pomiarów zdolności rozdzielczej i wielu innych pokrewnych tematów dostępne są na stronie

<http://www.precisionopticalimaging.com/>

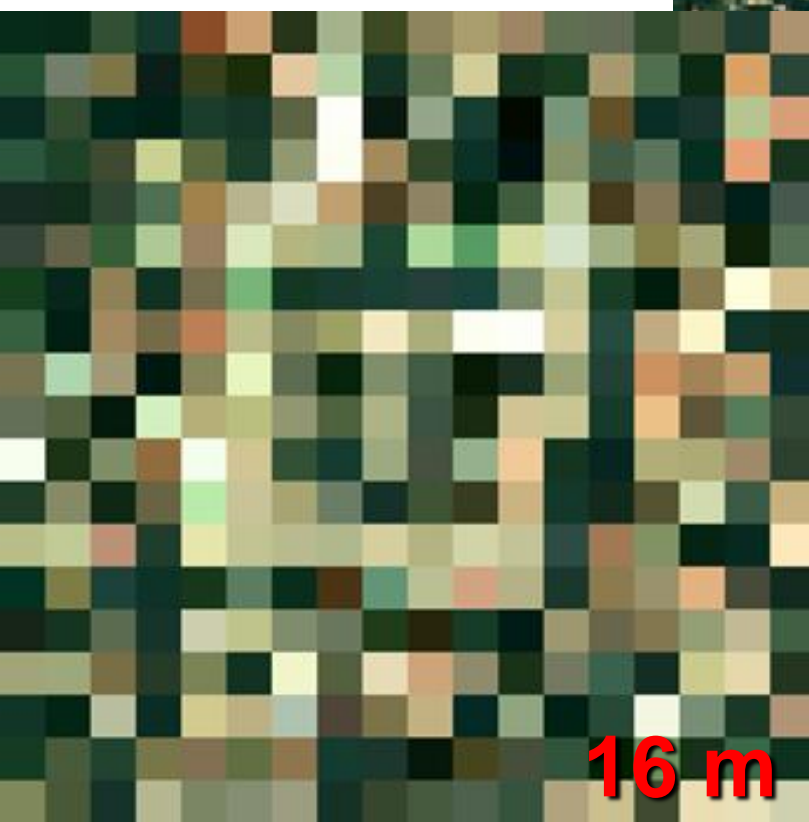
BAR OR SPACE DIMENSIONS		
MM	MICRONS	INCHES
0.001	1	0.00004
0.002	2	0.00008
0.003	3	0.00012
0.004	4	0.00016
0.005	5	0.00020
0.006	6	0.00024
0.007	7	0.00028
0.008	8	0.00031
0.009	9	0.00035
0.010	10	0.00040
0.020	20	0.00080
0.030	30	0.00120
0.040	40	0.00160
0.050	50	0.00200
0.060	60	0.00240
0.070	70	0.00280
0.080	80	0.00310
0.090	90	0.00350
0.100	100	0.00400
0.200	200	0.00800
0.300	300	0.01200
0.400	400	0.01600
0.500	500	0.02000
0.600	600	0.02400
0.700	700	0.02800
0.800	800	0.03100
0.900	900	0.03500
1.000	1000	0.04000

Resulting Resolution Readings *			
Lines/MM (mm)	Cycles/MM	Lines/Inch	Line Pairs/Inch
1000.00	500.00	25400	12700
500.00	250.00	12700	6350
333.00	167.00	8458	4229
250.00	125.00	6350	3175
200.00	100.00	5080	2540
166.00	83.00	4216	2108
142.00	71.00	3607	1804
125.00	62.00	3175	1588
111.00	55.00	2819	1409
100.00	50.00	2540	1270
50.00	25.00	1270	635
33.00	16.00	845	423
25.00	12.00	635	318
20.00	10.00	508	254
16.60	8.30	422	211
14.20	7.10	361	180
12.50	6.30	318	159
11.10	5.60	282	141
10.00	5.00	254	127
5.00	2.50	127	64
3.30	1.70	85	42
2.50	1.20	64	32
2.00	1.00	51	25
1.60	0.80	42	21
1.40	0.70	36	18
1.20	0.60	32	16
1.10	0.55	28	14
1.00	0.50	25	12



Cechy geometryczne zdjęć dla GIS

Rozdzielczość naziemna:



W ramach ćwiczenia – trzy typy zadań

1. Skala mapy wynosi 1:10000, mapę zeskanowano z rozdzielczością 300 dpi. Oblicz średnią rozdzielczość rzeczywistą / przestrzenną piksela obrazu cyfrowego mapy.

Rozwiązanie:

$$1 \text{ cm} = 10000 \text{ cm}, \quad 1 \text{ cal} = 2,54 \text{ cm} = 300 \text{ pikseli}$$

czyli

$$1 \text{ cm} = 300 \text{ pikseli} / 2,54 \text{ cm}$$

$$1 \text{ cm} = 118,11 \text{ pikseli} = 100 \text{ m}$$

czyli

$$1 \text{ piksel} = 100 \text{ m} / 118,11$$

$$\underline{1 \text{ piksel} = 0,8466 \text{ m}}$$

2. Skala mapy wynosi 1:25000 a rozdzielczość naziemna obrazu teledetekcyjnego 0,5 m. Oblicz rozdzielczość zastosowaną w trakcie skanowania materiału analogowego (negatywu, odbitki stykowej czy diapozytywu)?

Rozwiązanie:

$$1 \text{ cm} = 25000 \text{ cm}, \quad 1 \text{ piksel} = 0,5 \text{ m}$$

czyli

$$1 \text{ cm} = 250 \text{ m} = 500 \text{ pikseli}$$

$$2,54 \text{ cm} * 500 = 1270 \text{ pikseli}$$

zatem

Rozdzielczość skanowania to 1270 pikseli na cal (dpi).

3. Średnia rozdzielczość przestrzenna piksela mapy została ustalona na 1 m. W trakcie skanowania zastosowano rozdzielność 400 dpi. Oblicz skalę mapy topograficznej.

Rozwiązanie:

$$1 \text{ piksel} = 1 \text{ m}, \quad 2,54 \text{ cm} = 400 \text{ pikseli}$$

czyli

$$400 \text{ pikseli} / 2,54 \text{ cm} = 157,48 \text{ pikseli (na jeden 1 cm)}$$

zatem

$$1 \text{ cm} = 157,48 \text{ m} = 15748 \text{ cm}$$

Skala mapy to 1:15748.

Pojemność informacyjna

Do zapisania informacji o odbitym promieniowaniu elektromagnetycznym dla pojedynczego piksela wymagane jest zarezerwowanie odpowiedniej ilości pamięci:

Zdjęcie panchromatyczne – 6 -16 bitów

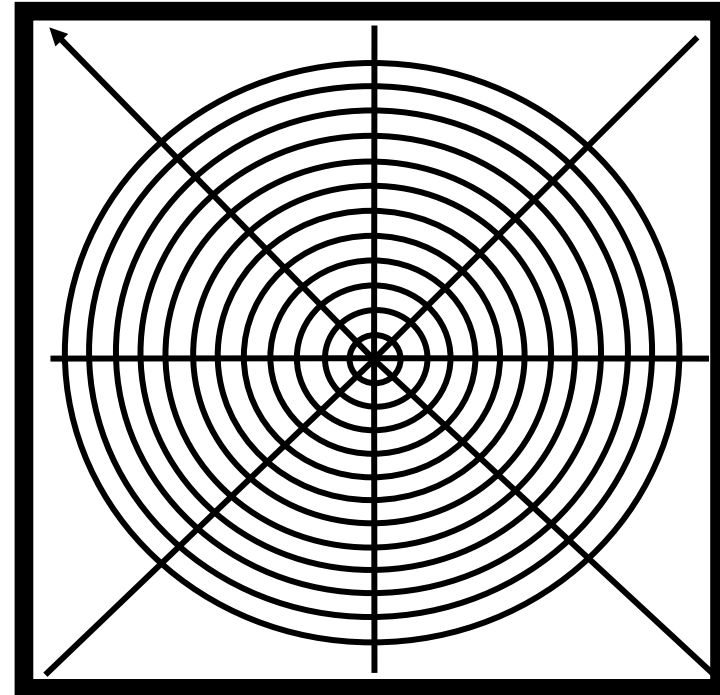
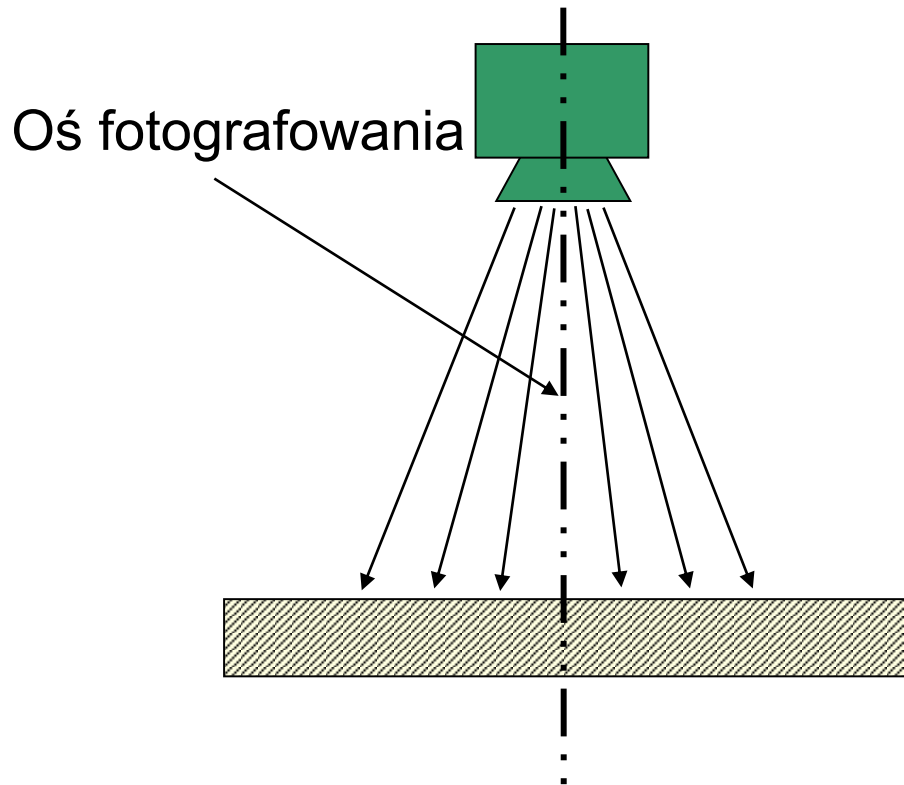
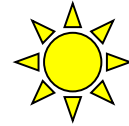
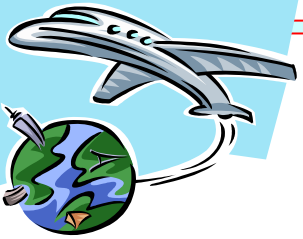
Zdjęcie kolorowe – 24-48 bitów

Zdjęcie wielospektralne (LandsatETM)- 56 bitów

Zdjęcie hiperspektralne (AVIRIS) – 224 x 16 bitów

(3584)

Cechy geometryczne zdjęć lotniczych (1)

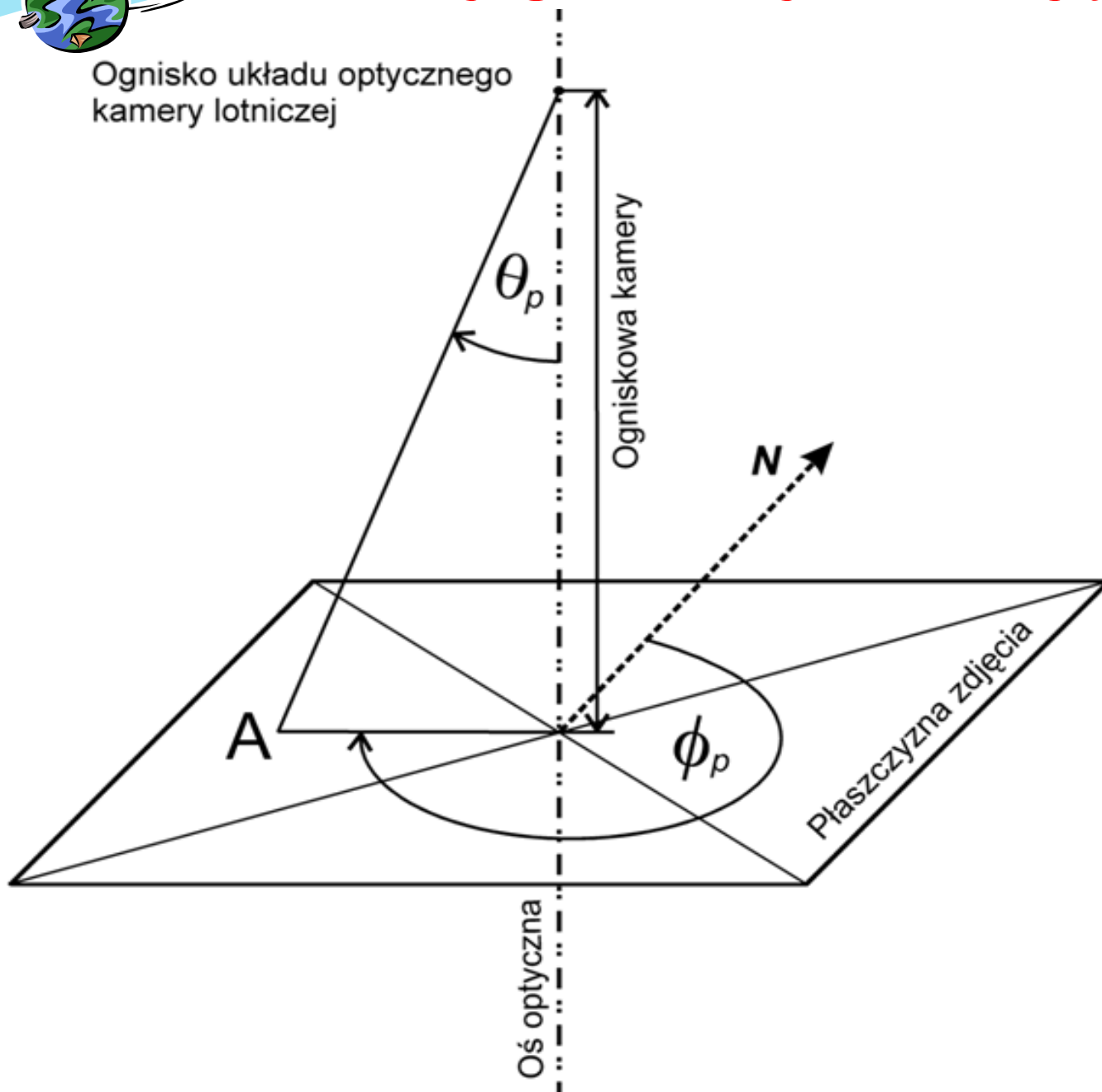


Geometria zdjęcia lotniczego oparta jest na rzucie środkowym. Każdy punkt odfotografowany na zdjęciu jest rejestrowany dzięki promieniowaniu padającemu na błonę fotograficzną pod różnym kątem mierzonym względem osi fotografowania.

Cechy geometryczne zdjęć lotniczych (2)



Ognisko układu optycznego kamery lotniczej





Kamera fotograficzna RC-30



150 mm



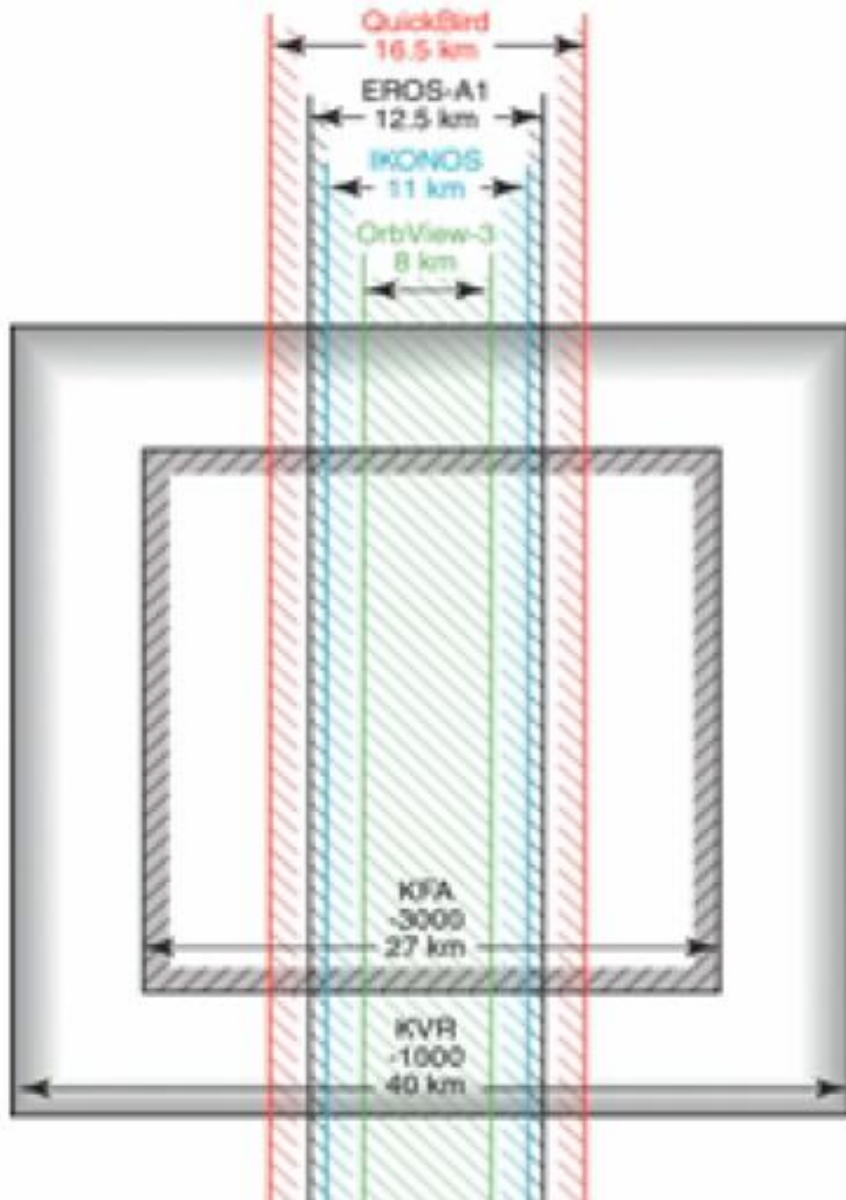
210 mm



Standardowy wymiar 23 x 23 cm
Najczęściej stosowane ogniskowe:
152 mm i 210 mm; pole widzenia
odpowiednio 94° i 56°, odfotografowana
powierzchnia w 1:10000 5,29 km² a w
1:25000 33,06 km²



Cechy geometryczne zdjęć satelitarnych (2)



Rozdzielczość naziemna (PAN)
wybranych sensorów satelitarnych:

IKONOS – 1 m

QuickBird2 – 0,61 m

EROS 1A – 1,8 m

KVR-1000 – 2 m

KFA-3000 – 2 m

SPOT 5 – 5 m (2,5 m)

IRS-1C – 5,8 m

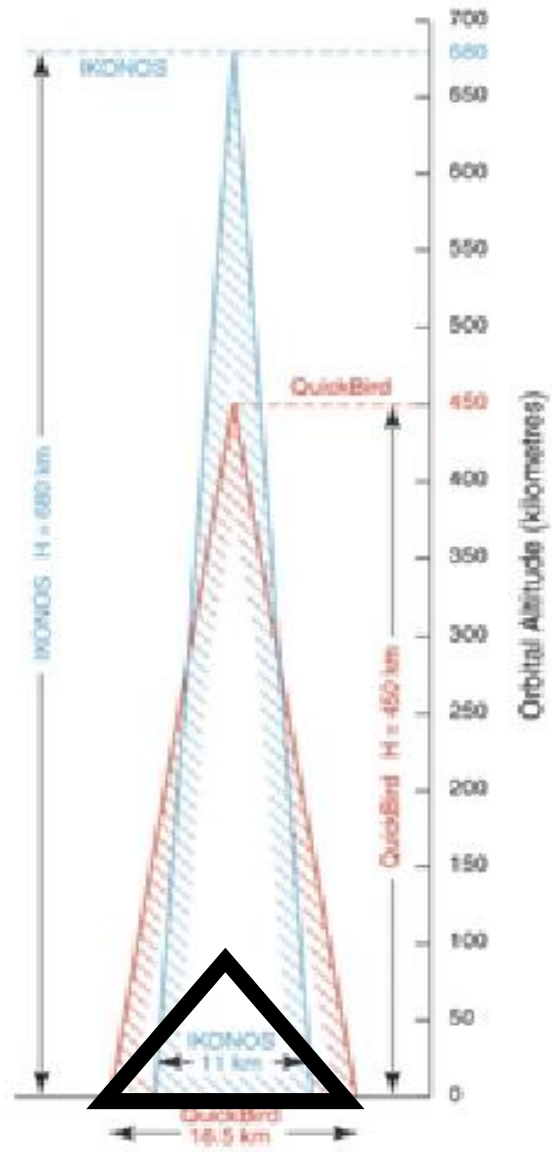
CORONA – 7-10 m

Landsat 7 – 15 m (P) ETM

ASTER – 15 M

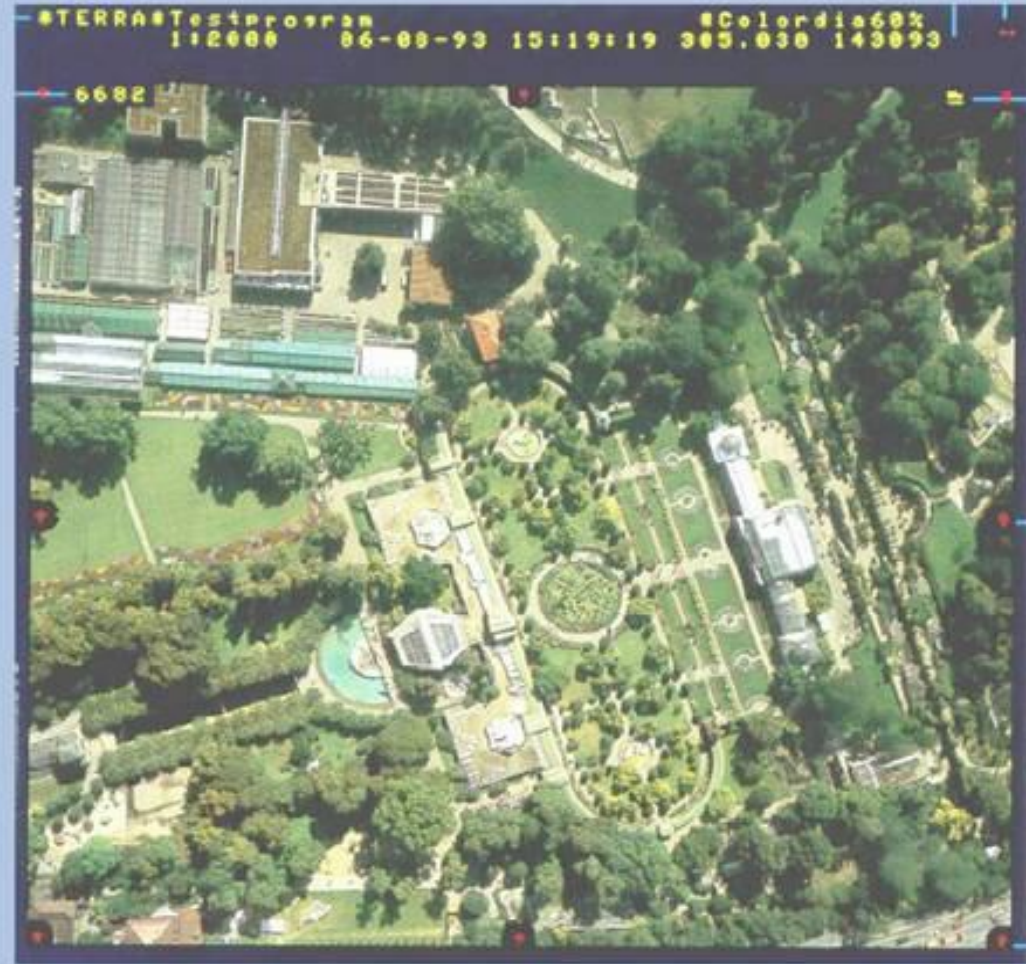
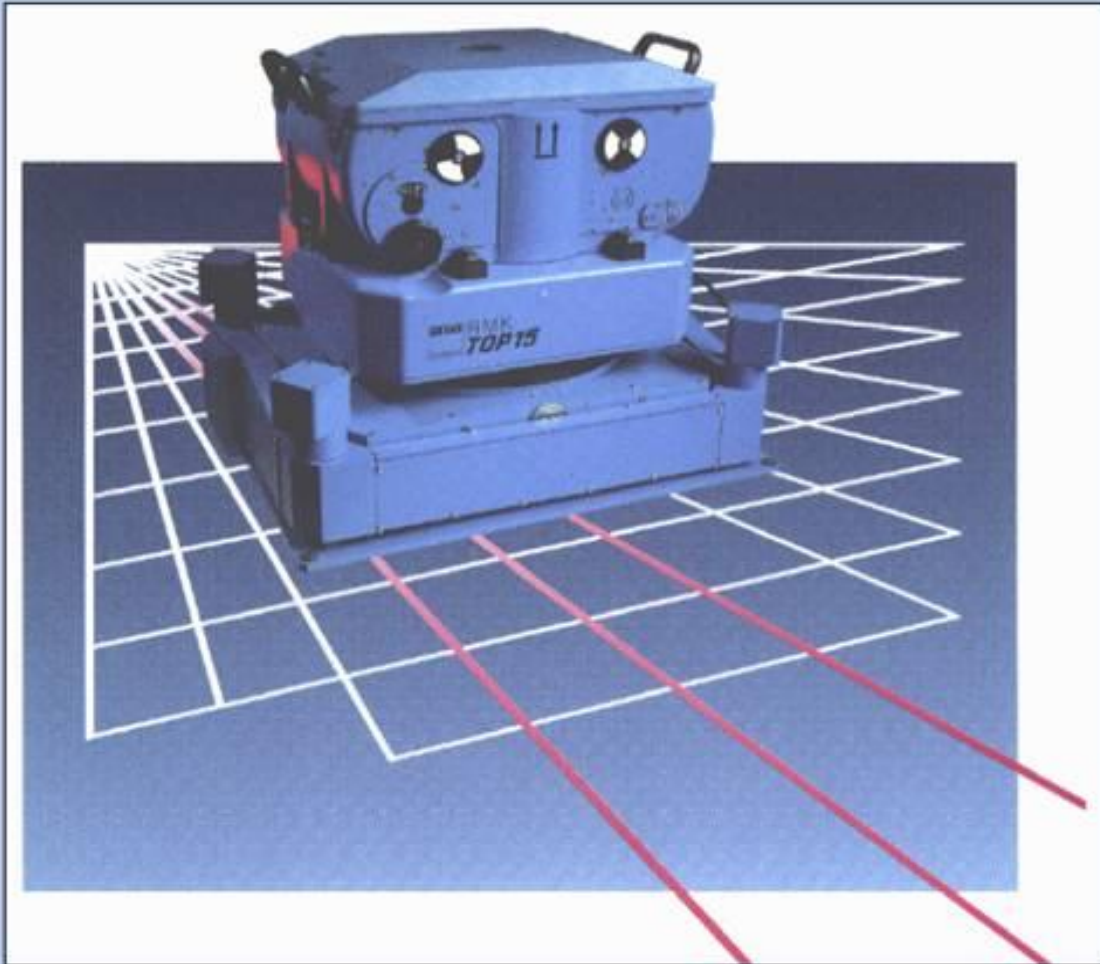


Cechy geometryczne zdjęć satelitarnych (1)



- Kąt pola widzenia:
- Sensor IKONOSA – 1°
- Sensor QuickBird2 – 2°
- EROS1A – 2°
- KVR-1000 – 14°
- Kamera lotnicza – 56°
- Kamera lotnicza – 94°

Kamera RMK TOP 15/30



Kompensacija zmazu







Zdjęcie lotnicze - PHARE

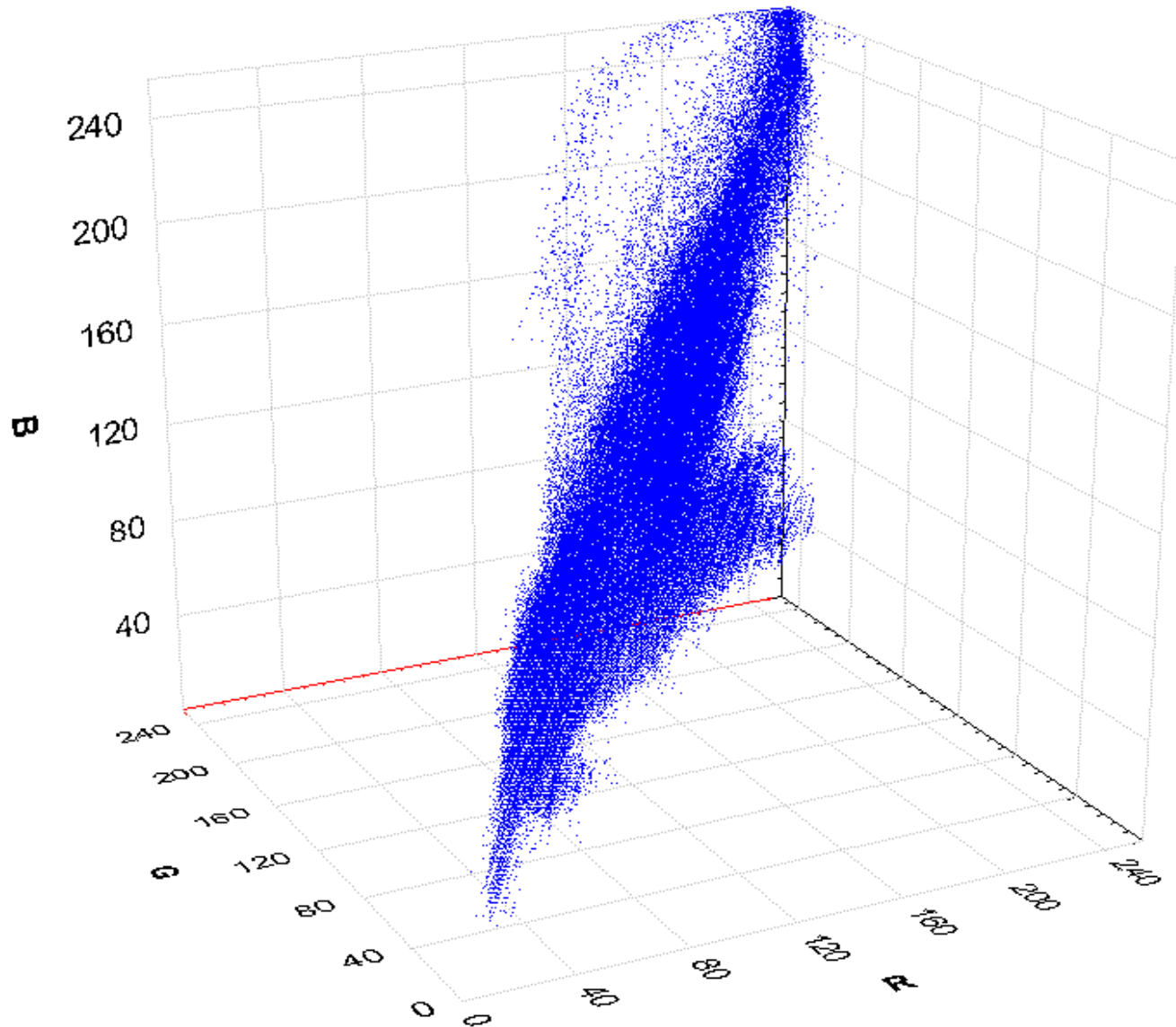


Cechy zdjęć PHARE udostępnianych w postaci cyfrowej przez Centralny Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej w Warszawie

- Rozdzielczość skanowania – 1814dpi,
- Rozdzielczość naziemna wynosi około 0,3 m dla skali 1:26000;
- Zdjęcia wykonywano przeważnie kamerami o ogniskowej 150mm.
- Kamery były wyposażone w filtr antywinietażujący,
- Skanowane do TIFF RGB bez kompresji, (jedno zdjęcie zajmuje nieco mniej niż 1Gb)
- Zdjęcia były i są skanowane przy niedużym kontraście, czyli w odpowiedni sposób, przed zastosowaniem odpowiednich korekcji barw, dla wielu łączonych w mozaikę zdjęć (dla pojedynczego zdjęcia ilość kolorów nie przekracza kilkuset tysięcy kolorów – patrz wykres na następnym slajdzie).

Wykres przedstawiający barwy w przestrzeni RGB jednego z wybranych zdjęć PHARE (5_297)

Barwy zdjęcia 5_297

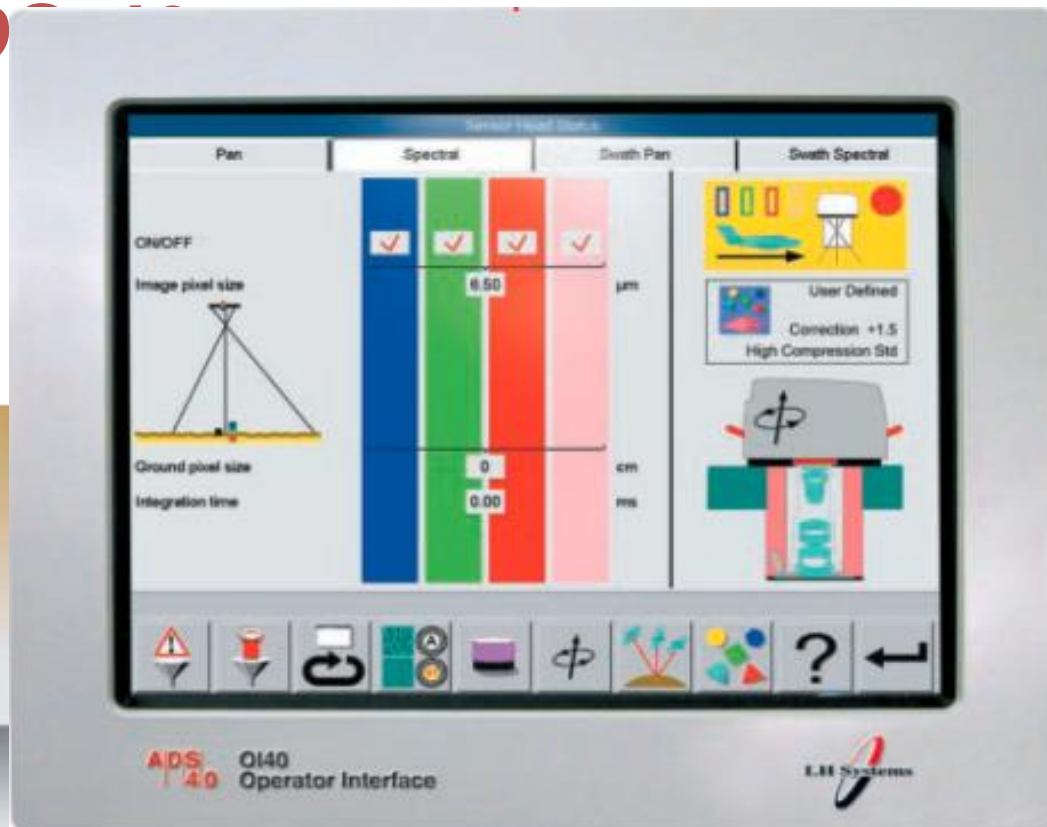


Zdjęcia są generalnie szare, przy niewielkim nasyceniu kolorów;

Punkty reprezentujące kolory są skupione są wzdłuż osi szarości

Liczba kolorów na zdjęciach wahała się pomiędzy 160 a 200 tys. kolorów

Kamera cyfrowa liniowa ADS40



Obraz oryginalny



Obraz po ortorektyfikacji



UltraCAM D (Vexcel Corporation)

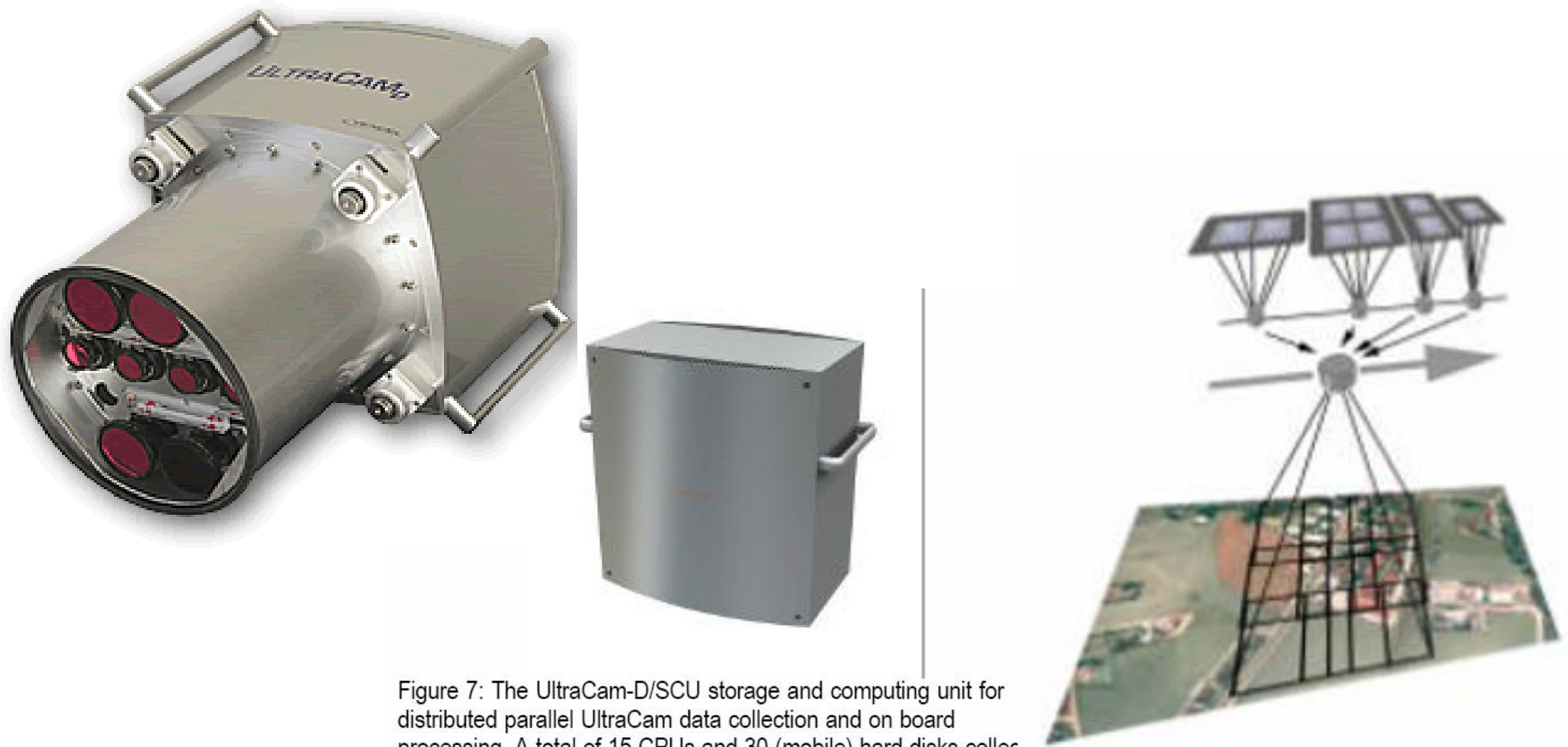


Figure 7: The UltraCam-D/SCU storage and computing unit for distributed parallel UltraCam data collection and on board processing. A total of 15 CPUs and 30 (mobile) hard disks collect and process up to 1 Tbyte of data at a minimum interval of 0.75 seconds per image take. For dimensions and weight see Table 1.

UltraCAM D (Vexcel Corporation)



ADS40, GSD = 20 cm

UltraCam D, GSD = 20 cm

UltraCamD, GSD = 8 cm

(Courtesy PASCO-Japan, owner of 3 "push-brooming" and 2 UltraCam-D)

The UltraCamD system collects up to 2,700 images in a single aerial mission. At 20cm pixel size and with a forward overlap of 60% of uninterrupted imaging, 2,700 "clicks" represent 6 hours of data collection at 20% forward overlap. Every point on the ground will be on at least 3 images; or at 1.3 images per second, the system collects for each ground point 20 images at a forward overlap of 95%.

UltraCAM D (Vexcel Corporation)

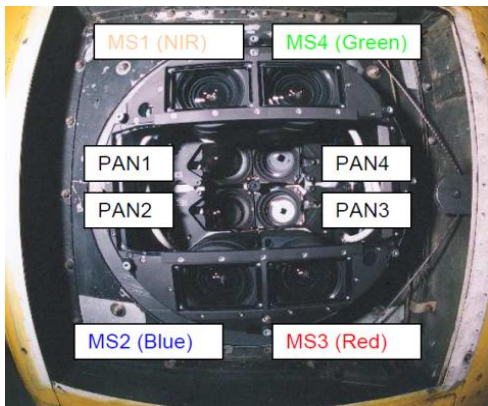
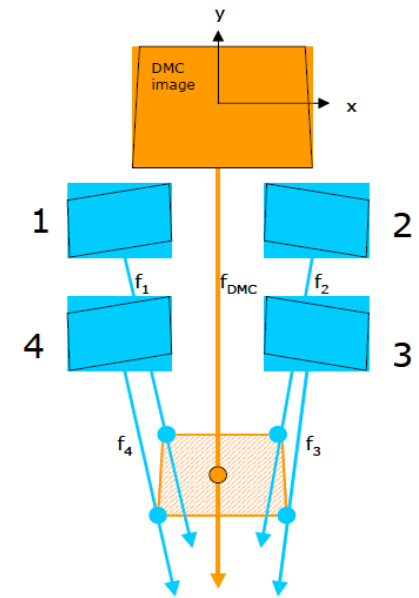


Figure 6: Color image segment from aerial film (left) with a GSD of 15 cm, obtained from a $12.5\mu\text{m}$ scan. The UltraCam-image has a GSD of 16 cm (right). The inserts are 2x enlarged and have a diameter of 150 pixels. Note the definition of the railroad track.

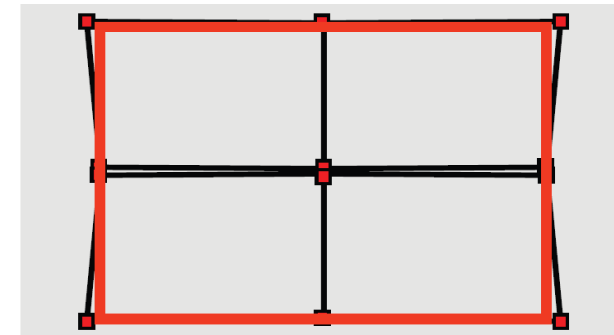
Kamera DMC

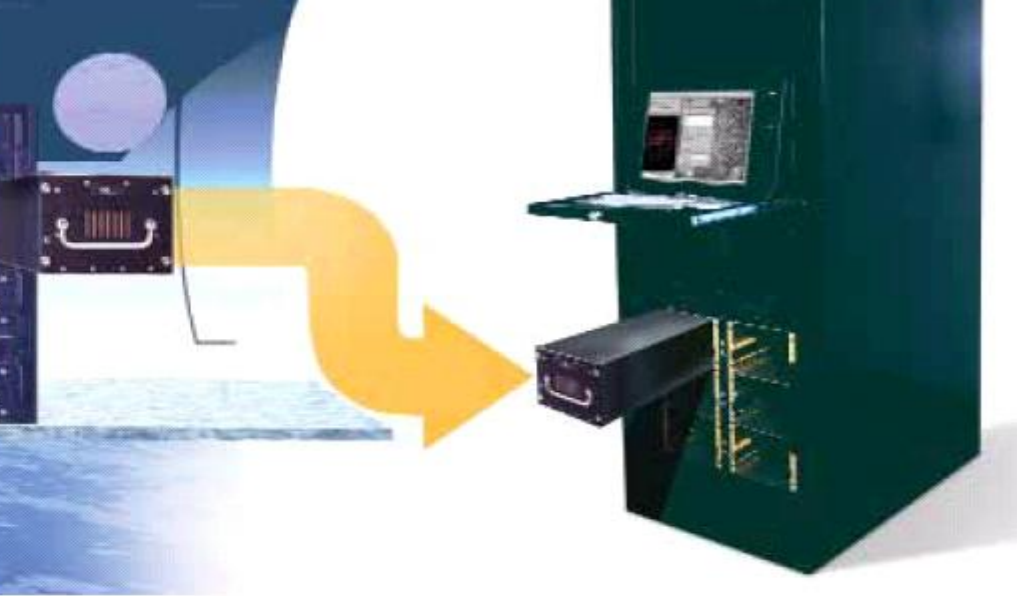
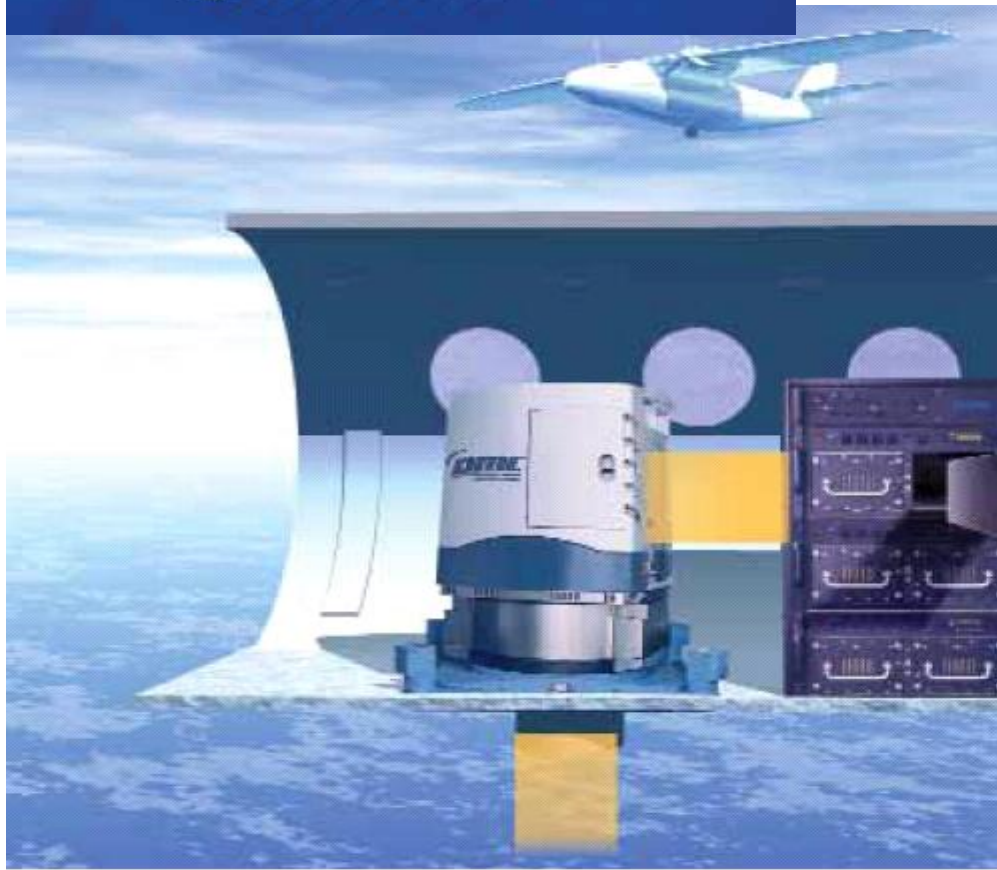
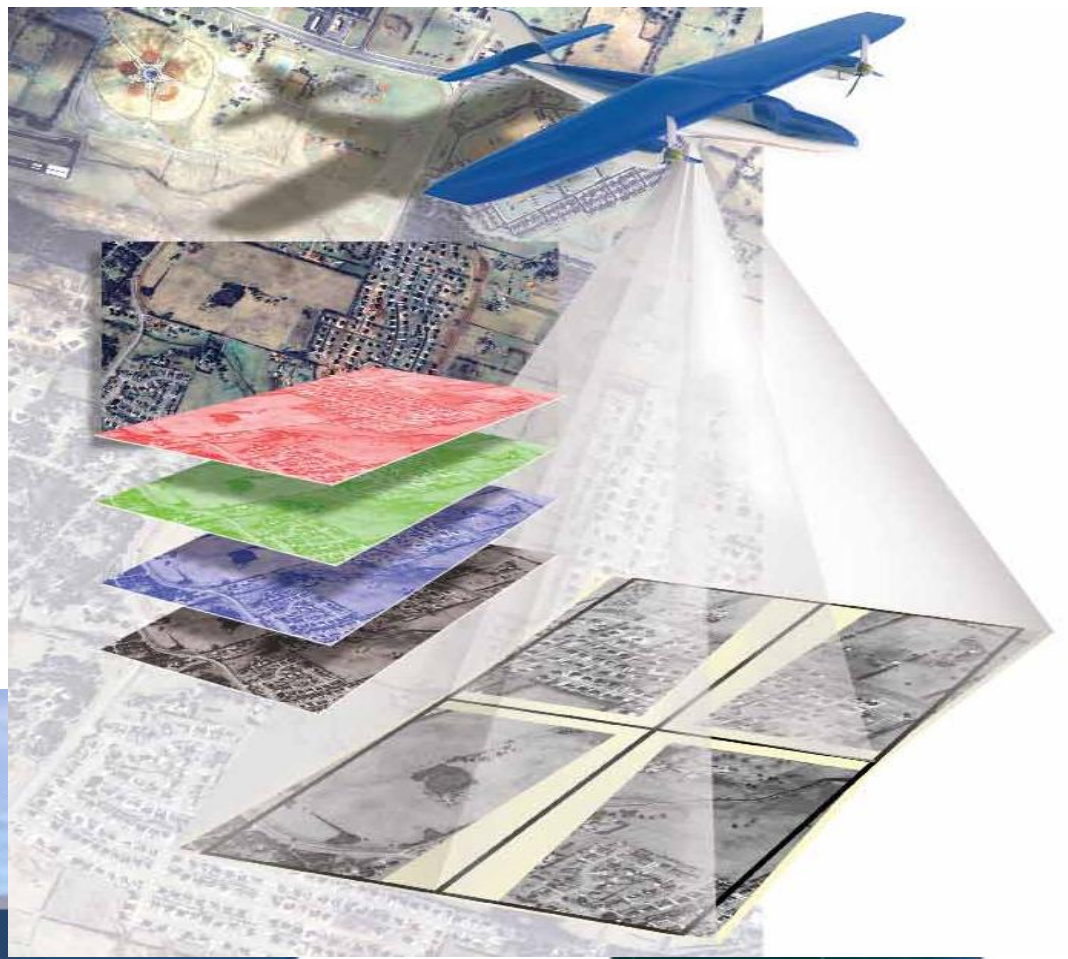
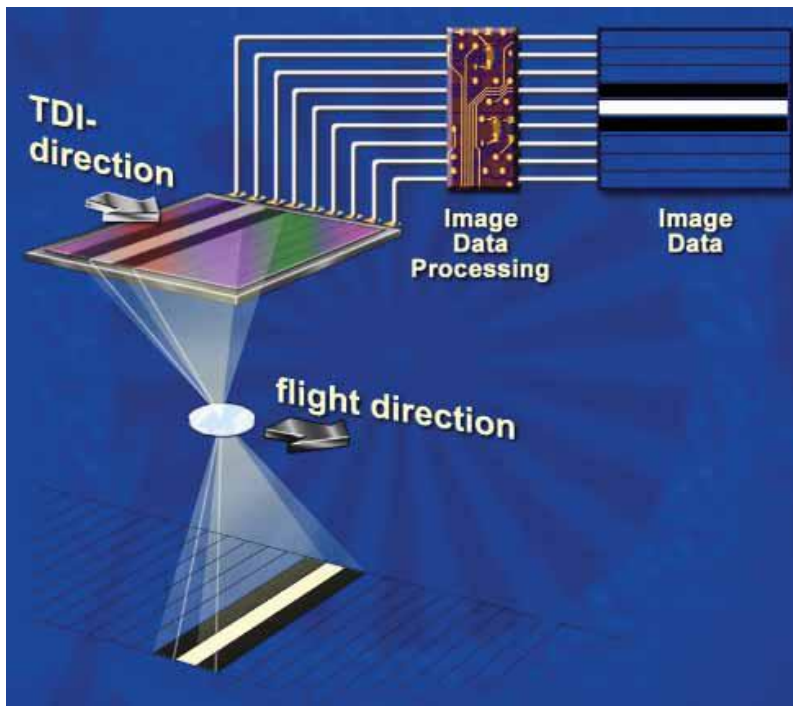


Obraz PAN (1,2,3,4)	
Ogniskowa [mm]	120
Rozmiar piksela [μm]	12
Roz. radiometryczna [bit]	12
Rozmiar obrazu [Pixel]	4096x7168
Rozmiar obrazu [mm]	49.15x86.02
Pole widzenia	23°/39°



Obraz wirtualny:	
Ogniskowa[mm]	120
Rozmiar piksela [μm]	12
Rozmiar obrazu[Pixel]	8459x13824
Rozmiar obrazu [mm]	95'168
Pole widzenia	44°/74°





Kamera DMC – względna kalibracja radiometryczna

Obrazy „wirtualne” uzyskiwane kamerą DMC, po wykonaniu post-procesingu są zasadniczo wolne od zniekształceń geometrycznych i radiometrycznych generowanych przez poszczególne obiektywy. Korekcja radiometryczna obejmuje usunięcie wpływu winietowania, różnej wielkości przysłony, filtrów wielospektralnych, różnic w czułości poszczególnych elementów światłoczułych matryc powstałych wskutek przyczyn elektronicznych lub w trakcie montażu kamery (kurz). Korekcja oparta jest o dwuetapową kalibrację - w pierwszym etapie dotyczy ona poszczególnych obiektywów, w drugim kamery jako całości.

W trakcie montażu czterech składowych obrazów panchromatycznych niewielkie różnice w jasności pomiędzy poszczególnymi częściami są usuwane poprzez zastosowanie techniki łączenia histogramu (**Heier, Kniefer, Zeitler - 2002**).

Nie są udostępniane przez producenta kamery informacje na temat absolutnej kalibracji radiometrycznej kamery. Podejmowano próby takiej kalibracji.

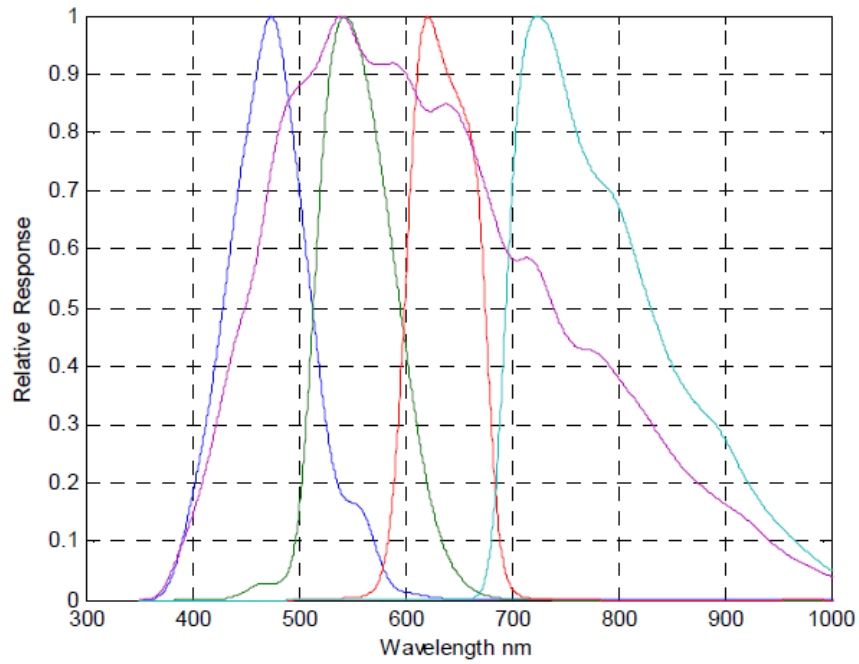


Fig. 3: DMC system level spectral response.

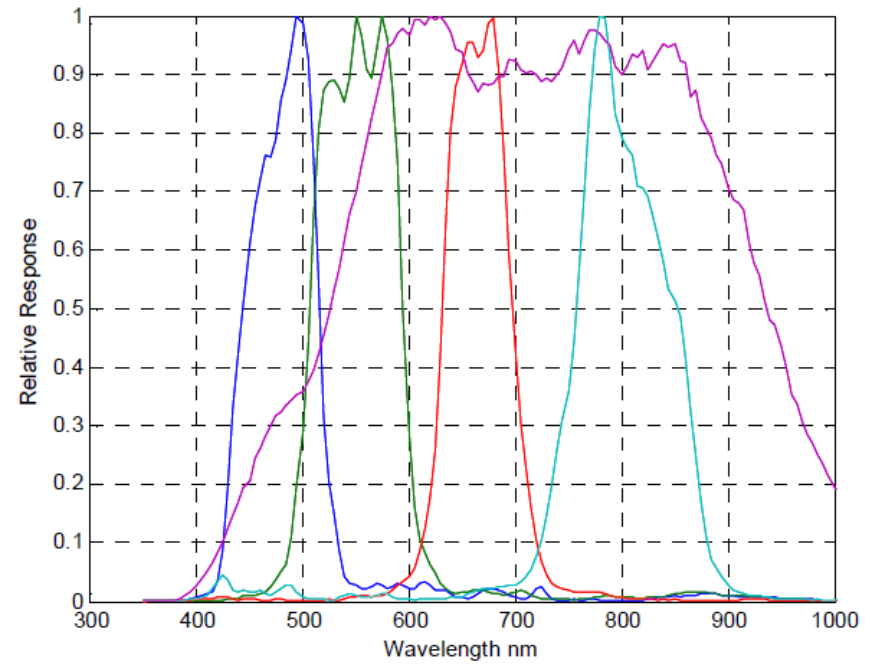


Fig. 4: IKONOS system level spectral response.

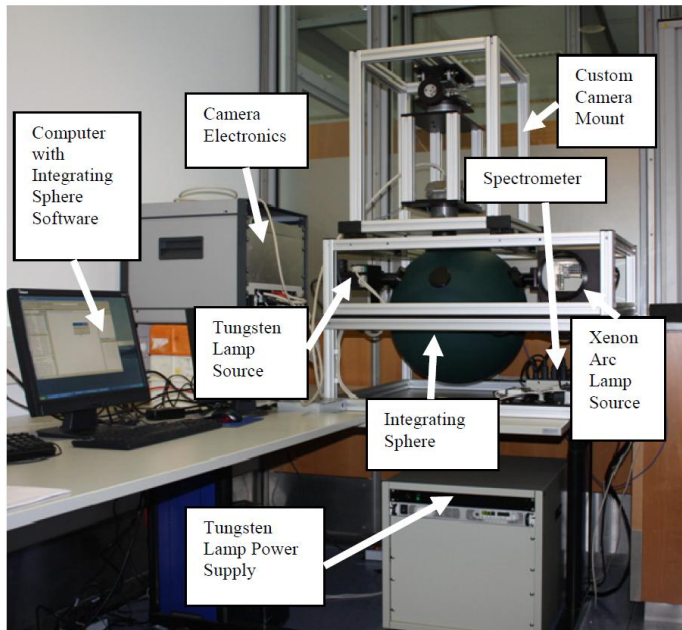
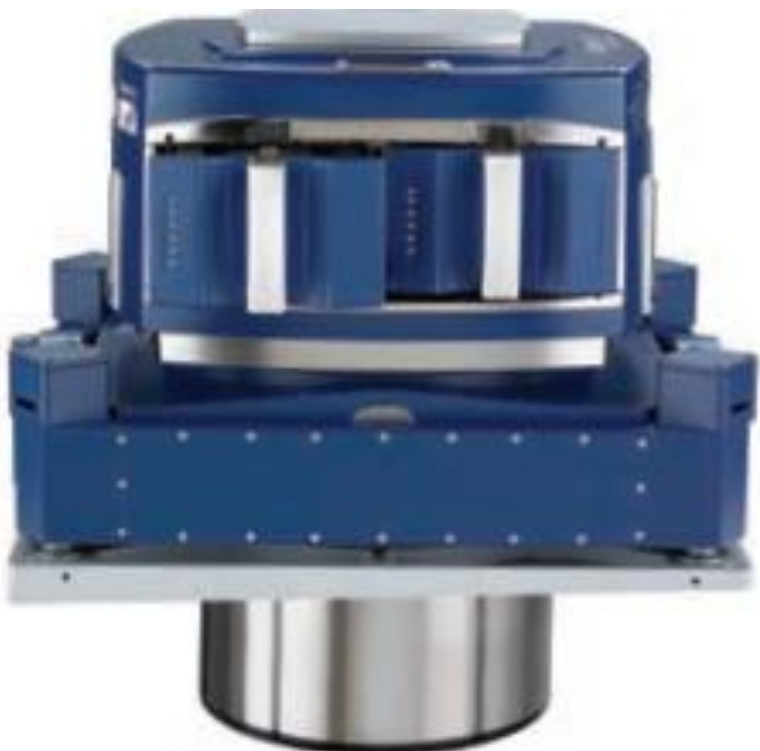


Fig. 6: Laboratory radiometric calibration set-up.

Kalibracja absolutna kamery DMC

- Kalibracja radiometryczna obrazów z DMC oparta jednoczesnym wykonaniu zdjęć kamerą CASI w korekcji barw do standardowej przestrzeni barw (CIE Standard Observer) (Martínez, Arbiol, Palà, Pérez 2007)
- Badanie jakości odpowiedzi radiometrycznej kamery DMC na podstawie wzorców szarości fotografowanych z wysokości 500 i 800 m, wykazało liniowość pomiędzy wielkością energii padającej na element światłoczuły a DN, zależność bardzo podobna w kanałach w kanałach RGB, nieco inna w IR, przy pełnym wykorzystaniu podawanej przez producenta rozdzielczości radiometrycznej (Honkavaara, Markelin, 2007);
- Nowy proces kalibracji radiometrycznej został opracowany w ZI Imaging, który ma pozwolić na absolutną kalibrację kamer DMC i RMK D, na poziomie odpowiadającym standardom wysokorozdzielczych obrazów satelitarnych, VW-2 etc. (Ryan, Pagnutti, 2009).



flying height AGL versus GSD

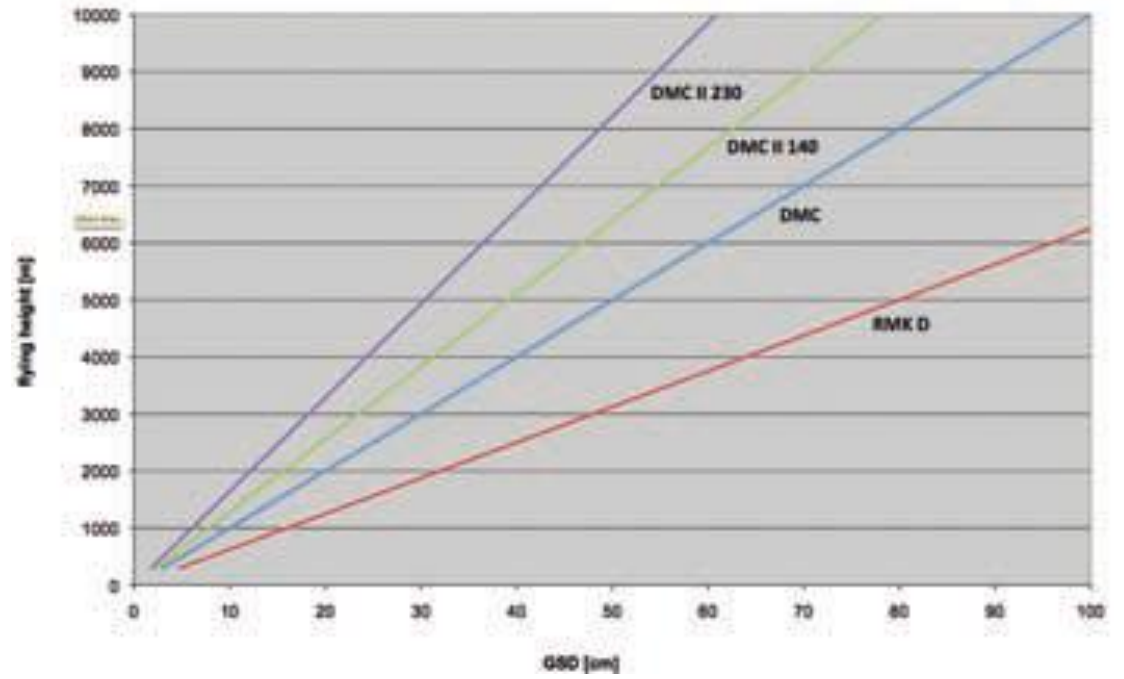


IMAGE SIZE COMPARISON

DMC	RMK D	RMK DX, DMC II ₁₄₀	DMC II ₂₃₀	DMC II ₂₅₀

Lotniczy film fotograficzny

Do rejestracji obrazu w fotografii lotniczej stosuje się specjalne filmy fotograficzne, których zasadniczym elementem jest jedna (w fotografii czarno-białej) albo dwie lub trzy (w fotografii kolorowej lub spektrostrefowej) halogenosrebrowe warstwy światłoczułe. Światłoczułe układy srebrne są zaliczane do chemicznych detektorów promieniowania elektromagnetycznego. Warstwa światłoczuła, zwana także emulsją, zbudowana jest z kryształów halogenków srebra zawieszonych w żelatynie lub innym hydrofilnym związku wielocząsteczkowym (Zaleski i Jabłonna, 1992). Żelatyna blokuje łączenie kryształów w większe zespoły i ich wytrącanie w czasie przygotowania emulsji oraz tworzy na powierzchni kryształów tzw. centra czułości, którymi są defekty w sieci przestrzennej kryształów lub obecne w tej sieci związki organiczne. Halogenki srebra wykazują światłoczułość tylko dla fal elektromagnetycznych krótszych od 500nm. Poprzez sensybilizację emulsji, uzyskiwaną poprzez dodanie nieznacznych ilości barwników organicznych, zwiększa się jej czułość na promieniowanie o długości fali nawet do 1300nm (Wójcik, 1989). Kryształy soli srebra w warstwach światłoczułych osiągają wielkość od 0,03 do 2mm, zależnie od czułości filmu, tzn. im wyższa czułość tym większy rozmiar kryształów. Emulsje światłoczułe są umieszczane na podkładzie wykonanym z trudno topliwej folii. Tak wykonany materiał światłoczuły nosi nazwę błony fotograficznej. Grubość błony fotograficznej współczesnych filmów lotniczych wynosi około 0,07 – 0,12mm.

Naświetlenie

Naświetlenie (H) w płaszczyźnie zdjęcia jest definiowane jako iloczyn gęstości strumienia świetlnego (E) i czasu jego trwania. Gęstość strumienia świetlnego, zgodnie z zamieszczonym na stronie 10 wzorem (2), wyraża wielkość strumienia promieniowania na jednostkę powierzchni w W/m^2 . W kamerach o stożkowym polu widzenia naświetlenie jest obliczane według poniższej formuły (Lillesand i Kiefer, 1994):

$$H = \frac{E \cdot d^2 \cdot t}{4 \cdot f^2}$$

gdzie:

t – czas naświetlania w sekundach.

Gęstość optyczna

Reakcja fotochemiczna, zachodząca pod wpływem światła padającego na emulsję fotograficzną w momencie otwarcia migawki, polega na uwolnieniu wolnego srebra, którego ziarna tworzą wokół centrów czułości tzw. obraz utajony. Przejście od obrazu utajonego do widocznego odbywa się podczas wywołania filmu fotograficznego. Po utrwaleniu, płukaniu i suszeniu negatyw zdjęcia nadaje się do dalszego wykorzystania, np. wykonania odbitek stykowych.

Gęstość optyczna (D) jest powiązana z masą wydzielonego srebra (m_{Ag}) za pomocą następującej zależności (Hurter i Driffield, za Hunt'em, 1982):

$$D = k \cdot m_{Ag}$$

gdzie:

k - współczynnik normalizacji.

Gęstość optyczna charakteryzuje przepuszczalność światła przez negatyw w następujący sposób:

$$D = \lg \left(\frac{I_1}{I_2} \right)$$

gdzie,

I_1 – natężenie promieniowania padającego na negatyw,

I_2 – natężenie promieniowania przepuszczonego przez negatyw.

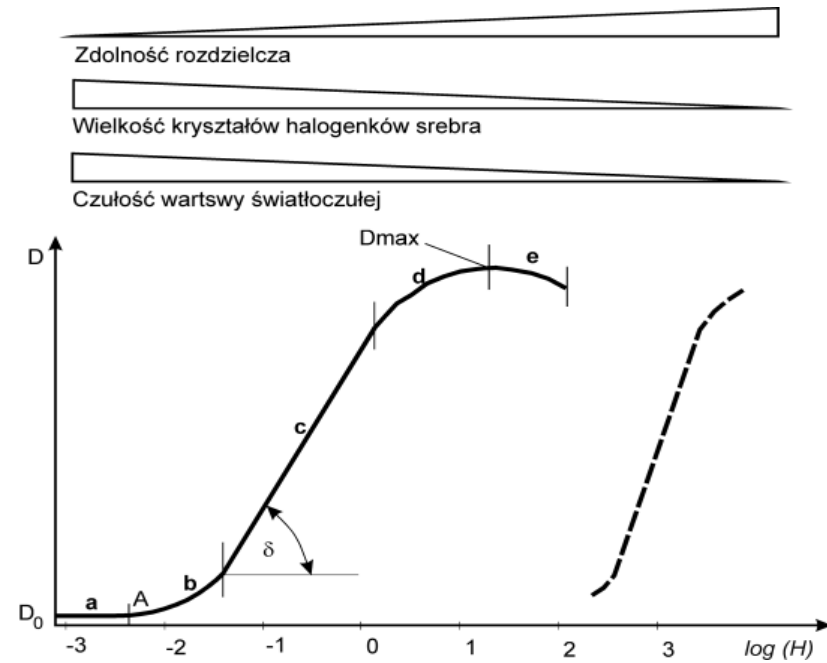
Stosunek (I_1 / I_2) w fotometrii określany jest mianem absorpcji lub pochłaniania i oznaczany przez (P).

Odwrotnością tej wielkości jest przepuszczalność (T), zwana inaczej transparencją:

$$T = \frac{1}{P}$$



Zdjęcie lotnicze wykonane na filmie lotniczym

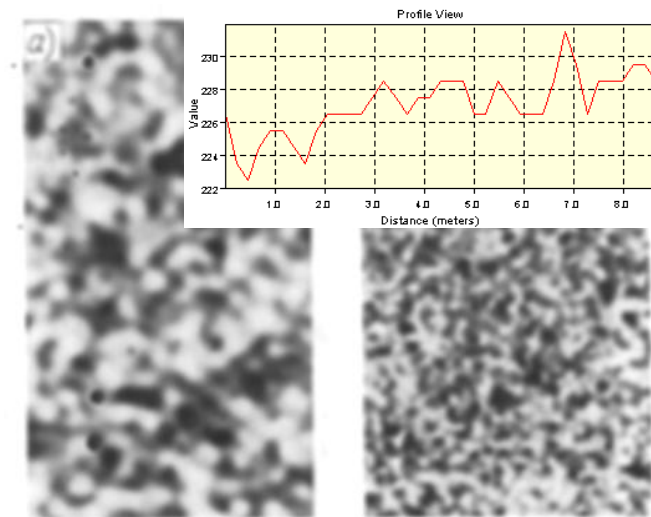


Krzywa charakterystyczna filmu

Powiększenie zdjęć lotniczych bez straty informacji było możliwe na poziomie 20-30 razy.

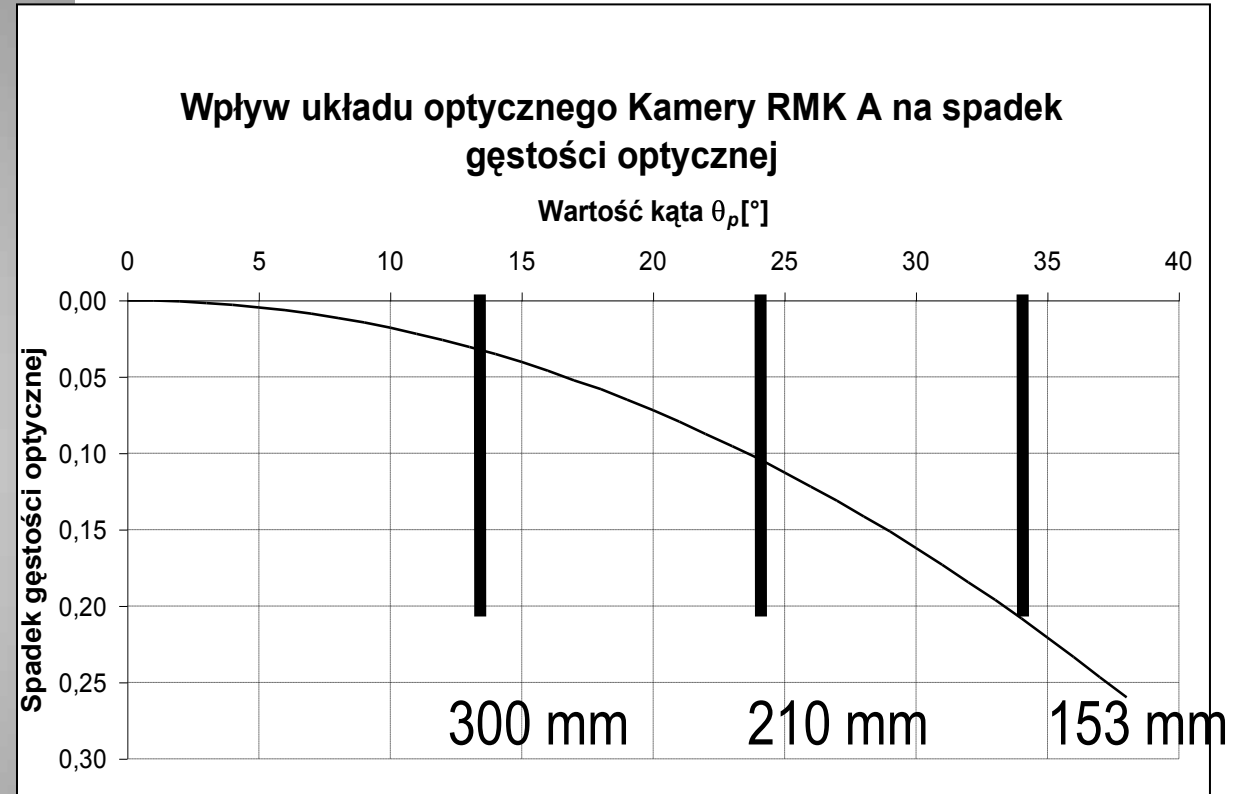
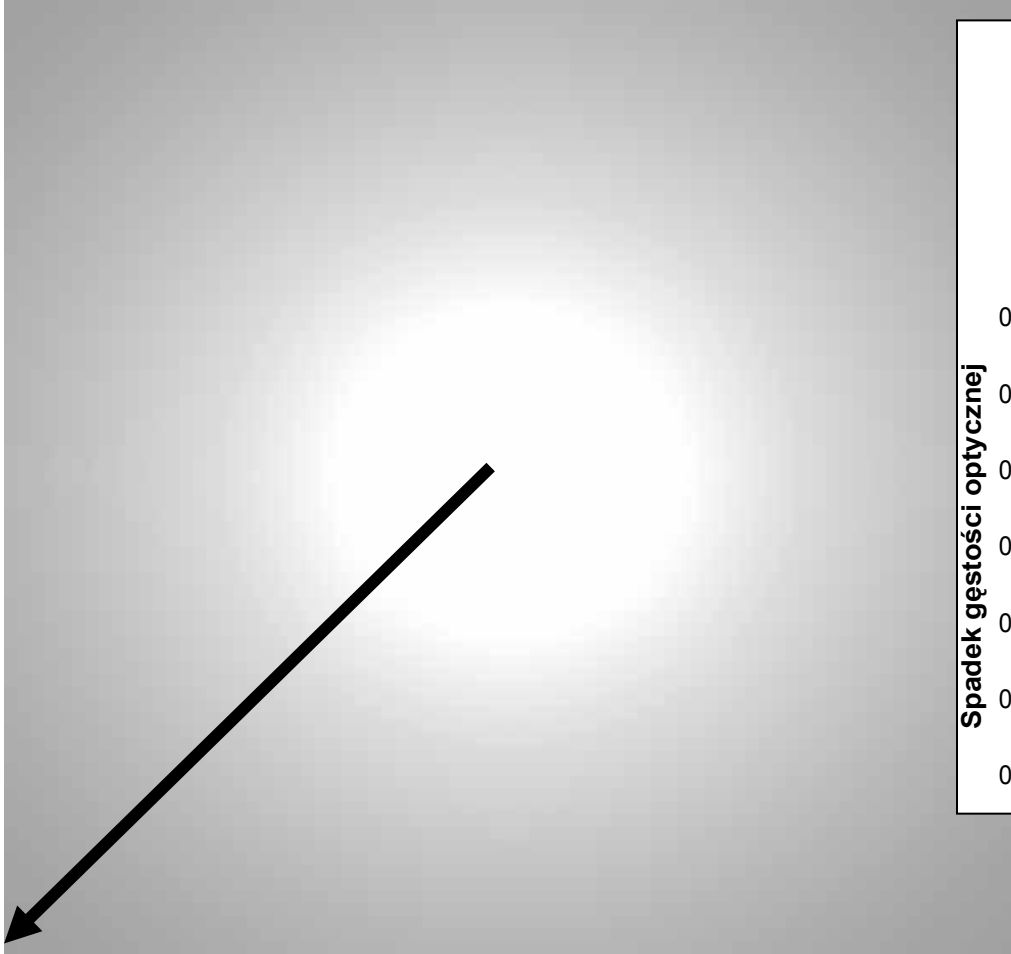
Krzywa charakterystyczna filmu fotograficznego wykonana na wykresie półlogarytmicznym pokazywała czułość, kontrastowość (nachylenie odcinka c) i rozdzielczość filmu.

Na rysunku obok znajdują się obrazy fragmentów zdjęć w powiększeniu 200 krotnym. Lewy obraz to film czuły, duże ziarna; prawy obraz to film o małej czułości, ale dużej zdolności rozdzielczej.





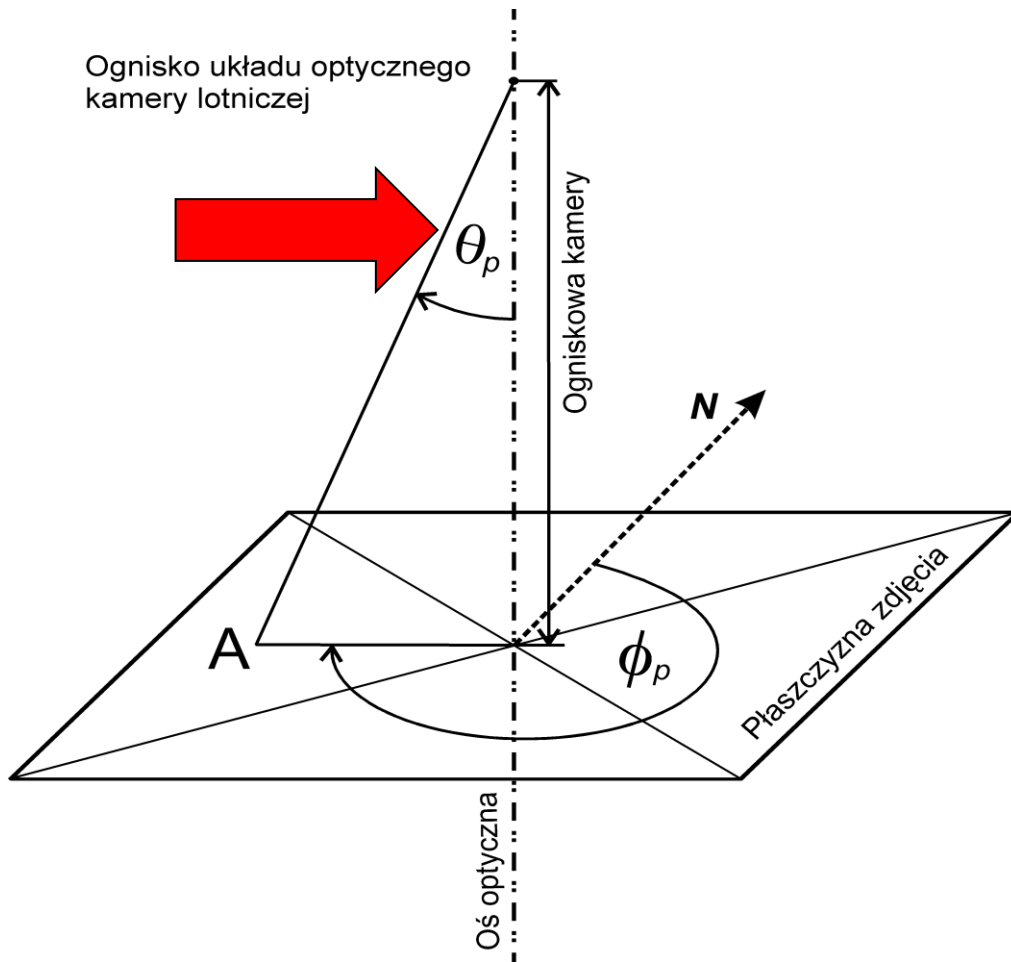
Zjawisko naturalnego winietowania



Układ optyczny powoduje osłabienie natężenia naświetlenia w płaszczyźnie zdjęcia w sposób radialny, od punktu głównego na zewnątrz.



Zjawisko naturalnego winietowania

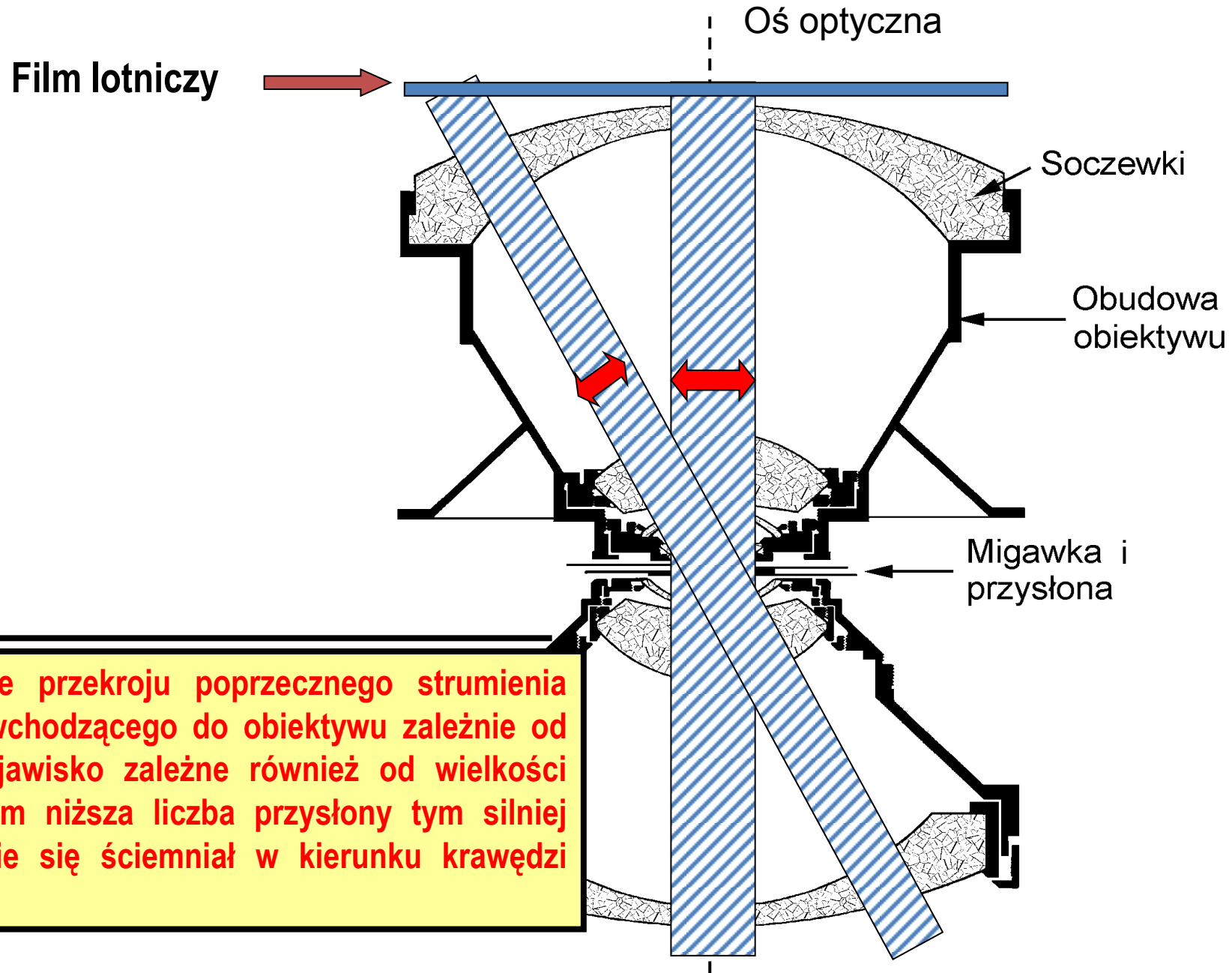


$$H_{\theta} = H_o \cos^k \theta_p$$

H_o – naświetlenie w punkcie głównym zdjęcia,
 H_{θ} – naświetlenie w dowolnym punkcie zdjęcia.



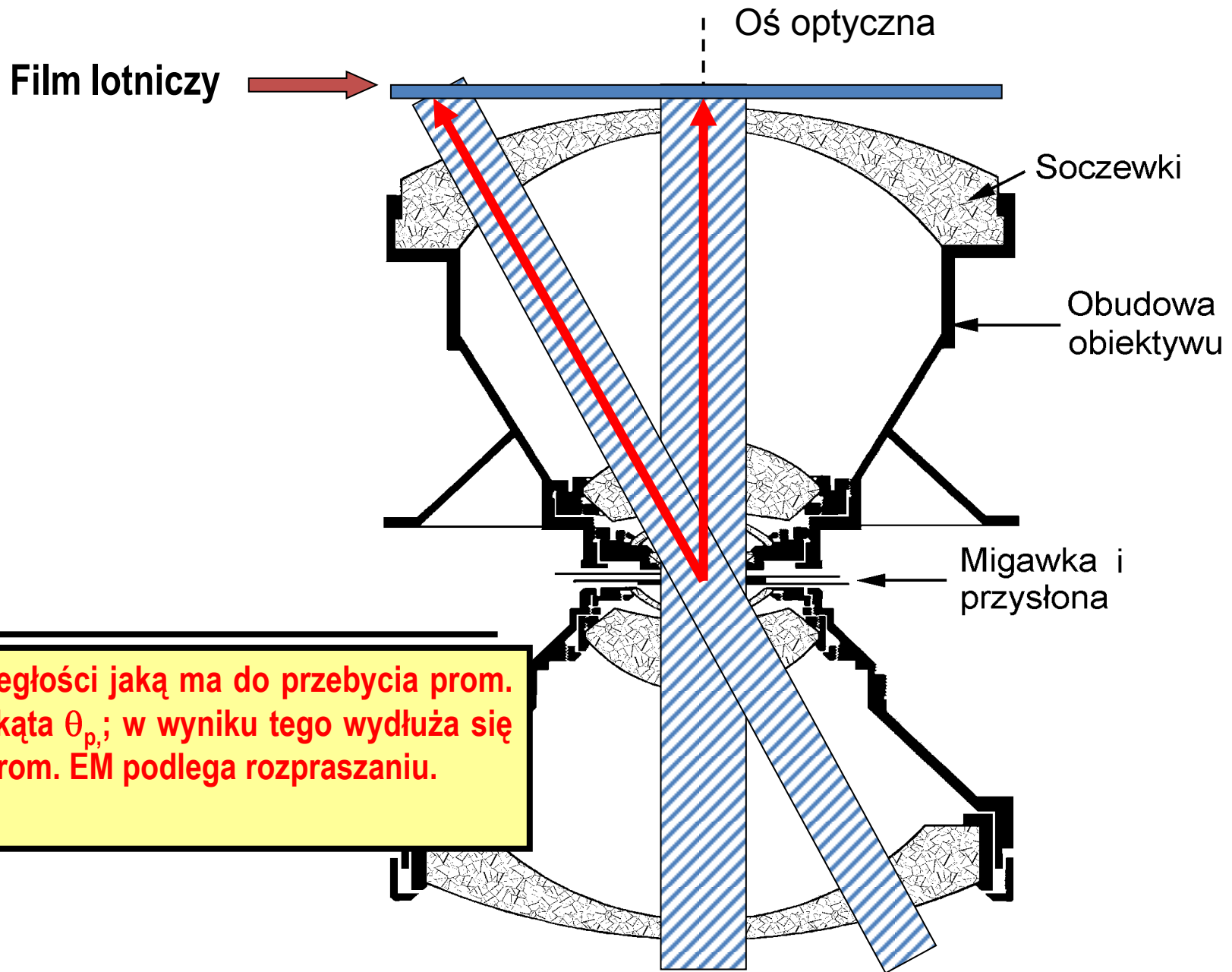
Przyczyny naturalnego winietowania



Zmniejszenie przekroju poprzecznego strumienia prom. EM wchodzącego do obiektywu zależnie od kąta θ_p ; zjawisko zależne również od wielkości przysłony, im niższa liczba przysłony tym silniej obraz będzie się ściemniał w kierunku krawędzi zdjęcia.



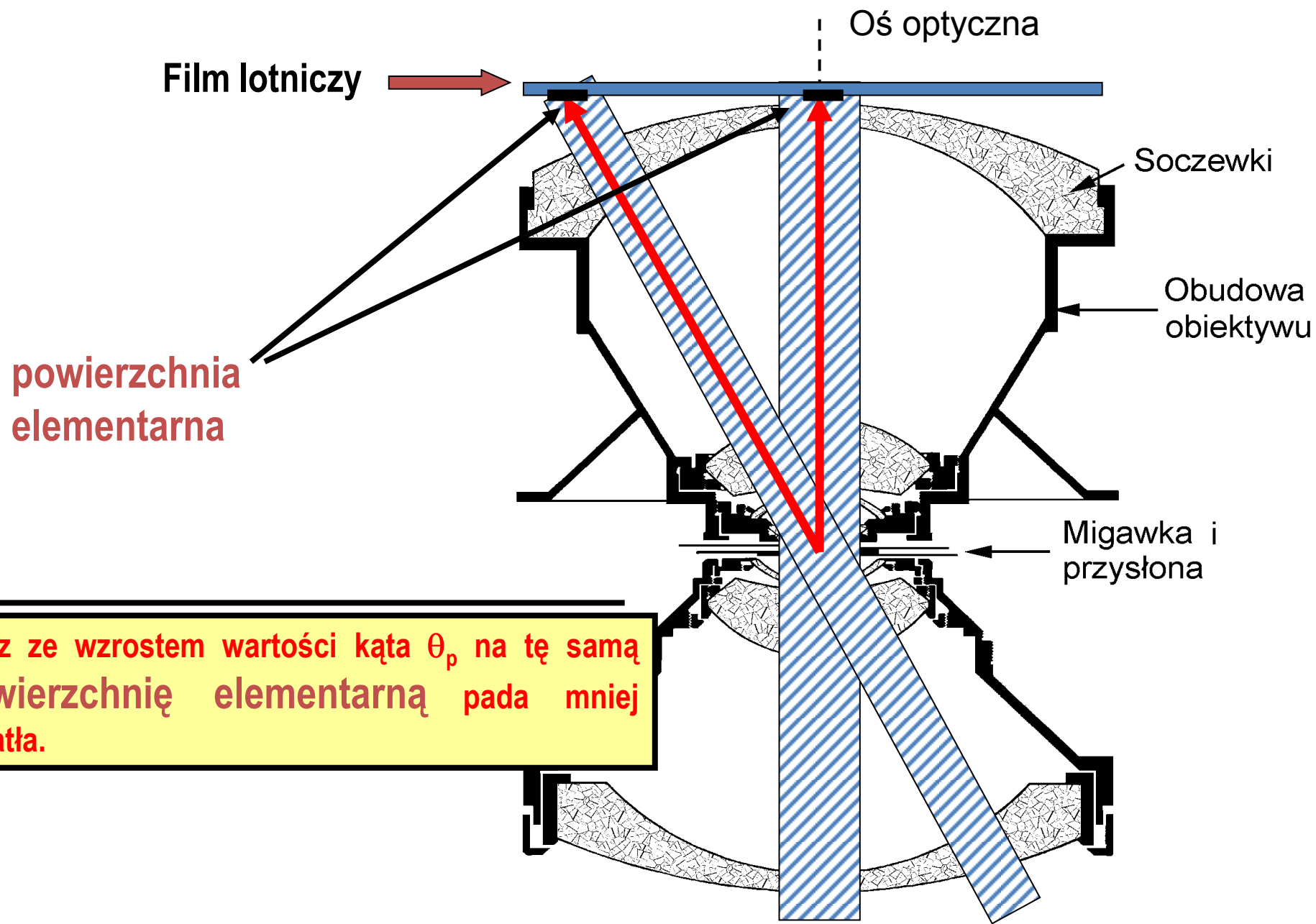
Przyczyny naturalnego winietowania



Zwiększenie odległości jaką ma do przebycia prom. EM zależnie od kąta θ_p ; w wyniku tego wydłuża się czas w którym prom. EM podlega rozpraszaniu.

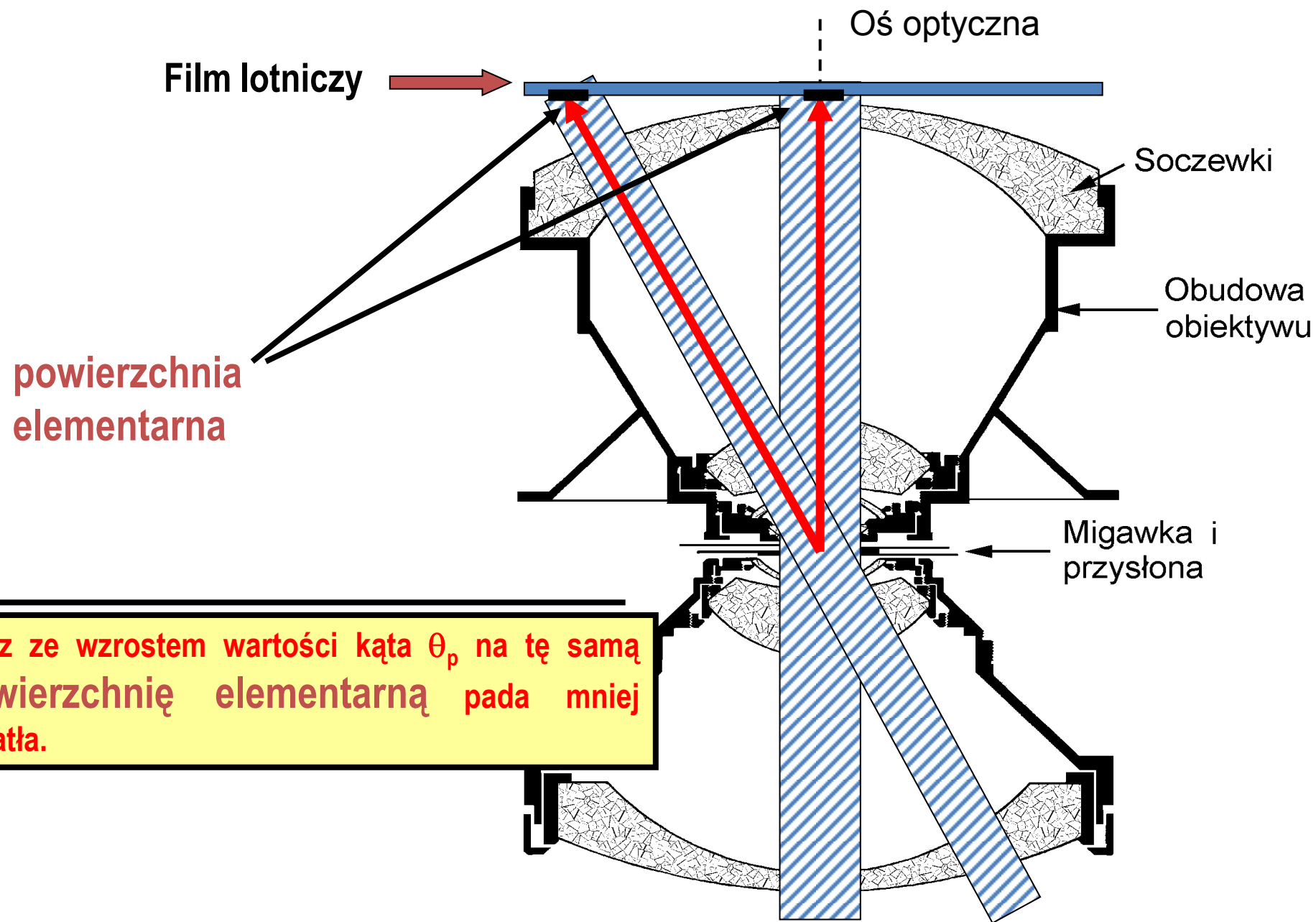


Przyczyny naturalnego winietowania



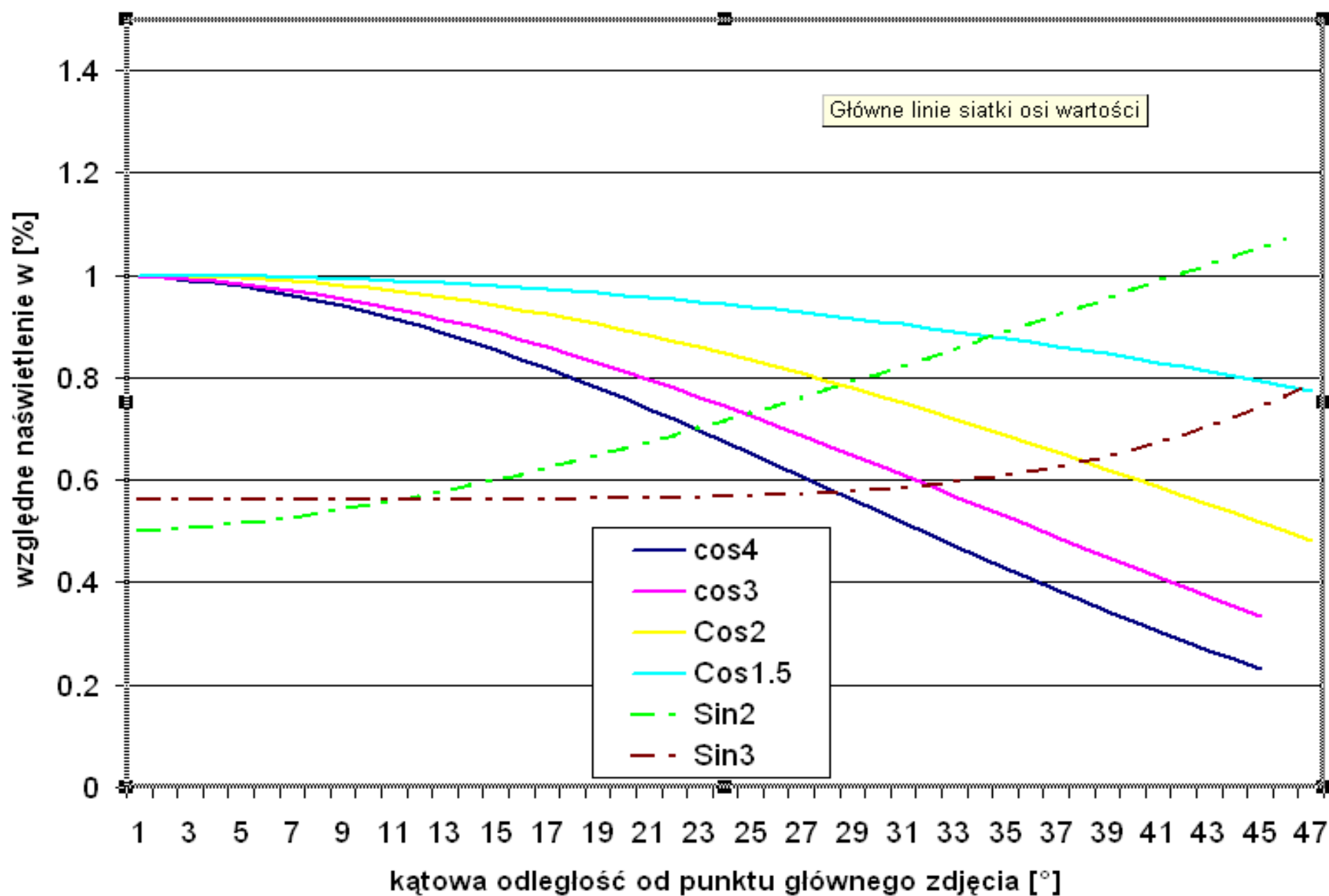


Przyczyny naturalnego winietowania



Wraz ze wzrostem wartości kąta θ_p na tę samą powierzchnię elementarną pada mniej światła.

Zmienność naświetlenia wynikająca z winietowania i zastosowania filtrów antywinietujących

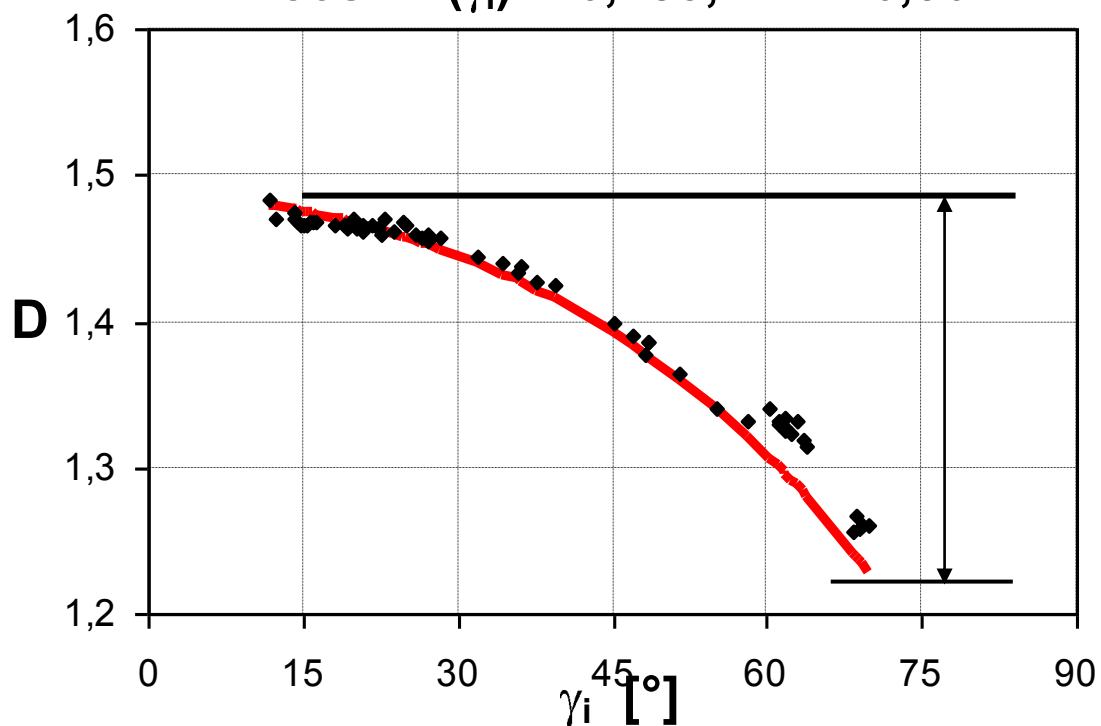




Zależność gęstości optycznej od kąta padania promieni słonecznych a wpływ układu optycznego kamery lotniczej.

$\gamma_v = [20^\circ, 30^\circ]$; odsłoneczny

$$D = \cos^{0,28}(\gamma_i) + 0,485; \quad r^2 = 0,90$$



Wpływ układu optycznego Kamery RMK A na spadek gęstości optycznej



θ_p – kąt pomiędzy osią optyczną a kierunkiem na dany punkt



Korekcję wpływu układu optycznego przeprowadzono dla całych zdjęć lotniczych.

Przed korekcją



Po korekcji



Usuwanie wpływu zjawiska winietowania naturalnego

Wyrównanie barw na kilku zdjęciach lotniczych służy wizualnemu „ukryciu” linii montażu poszczególnych części. Cel ten można osiągnąć stosując różne metody:

- 1) Korekcję opartą o dane kalibracyjne obiektywu kamery lotniczej,
- 2) Korekcję opartą o ogólny wzór winietowania naturalnego,
- 3) Metody graficzne oparte na przekształceniach histogramów (łączenie histogramów)
- 4) Statystyczne (np. trend powierzchniowy)

Trend powierzchniowy- postać funkcji

Trend powierzchniowy zjawiska (np. rozkładu jasności na zdjęciu lotniczym) modelowany jest w oparciu równania wielomianowe różnych stopni. Do opisu matematycznego rozkładu jasności na zdjęciu lotniczym pozyskanym obiektywem o stożkowym polu widzenia najlepiej stosować równania wielomianowego drugiego rzędu dwóch zmiennych, w postaci:

$$F(B) = A + Bx^2 + Cx + Dxy + Ey + Fy^2$$

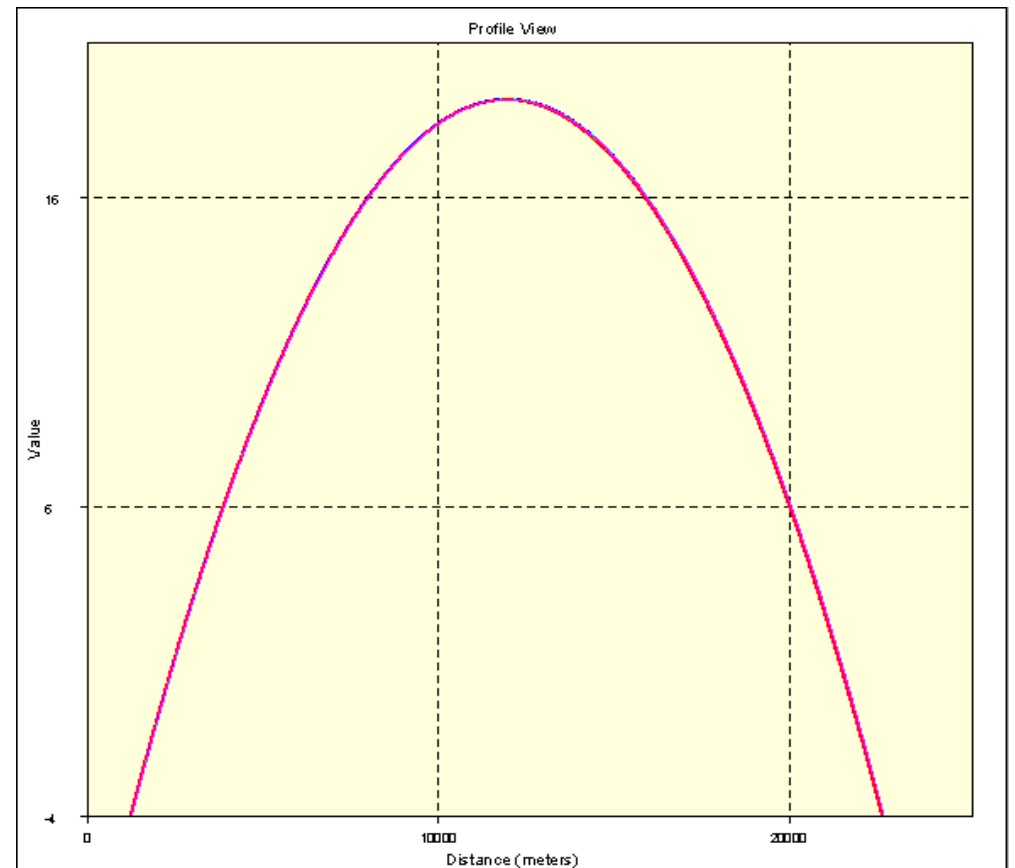
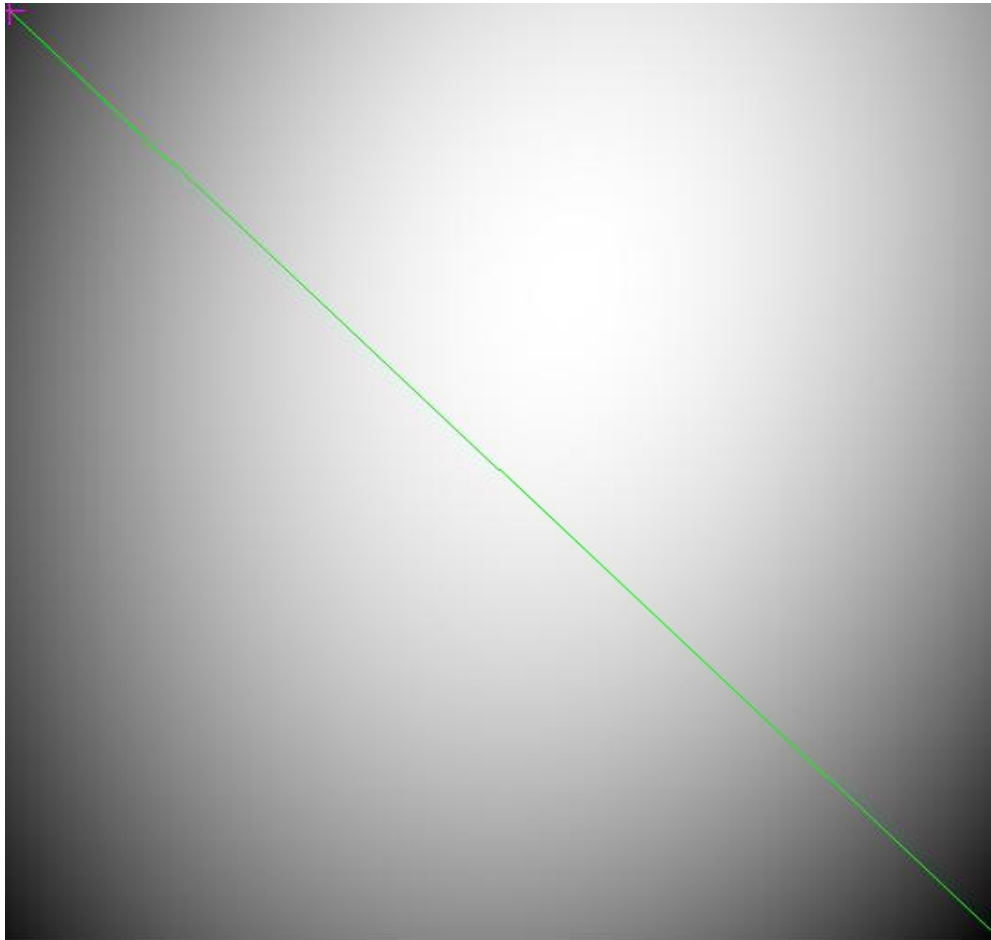
Przykład funkcji

$$F(B) = 88.719 - 0.000603296 * x + 0.00136374 * y - 1.07324E-007 * x^2 + 21.82824E-007 * x * y - 1.98315E-007 * y^2;$$

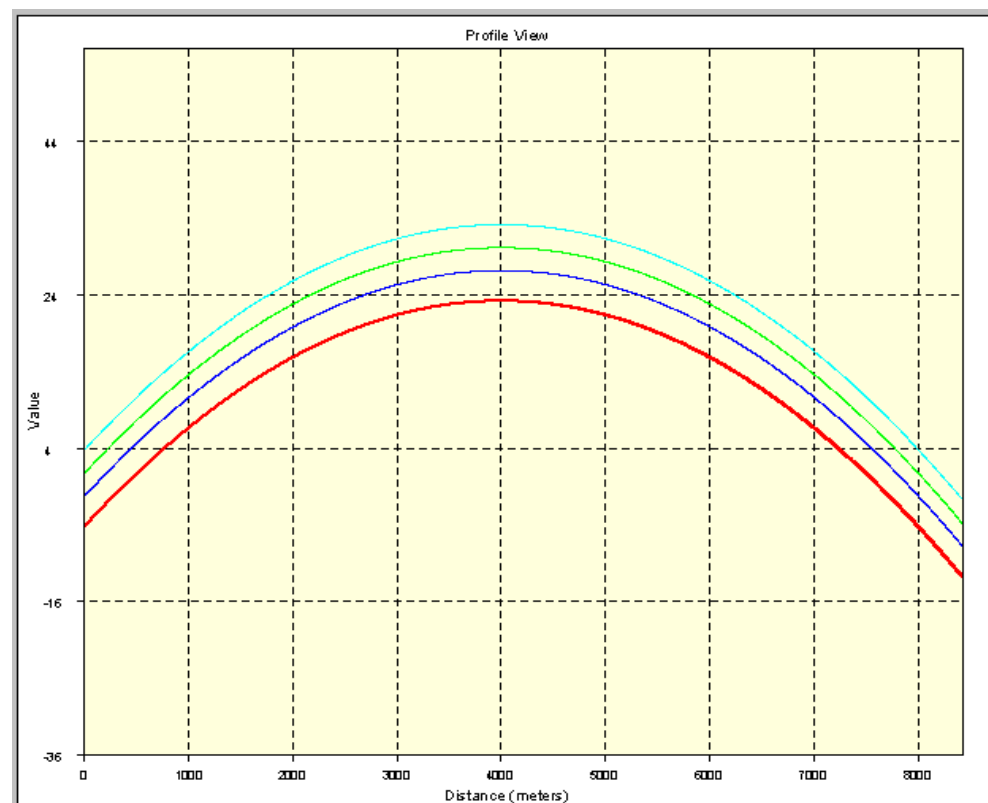
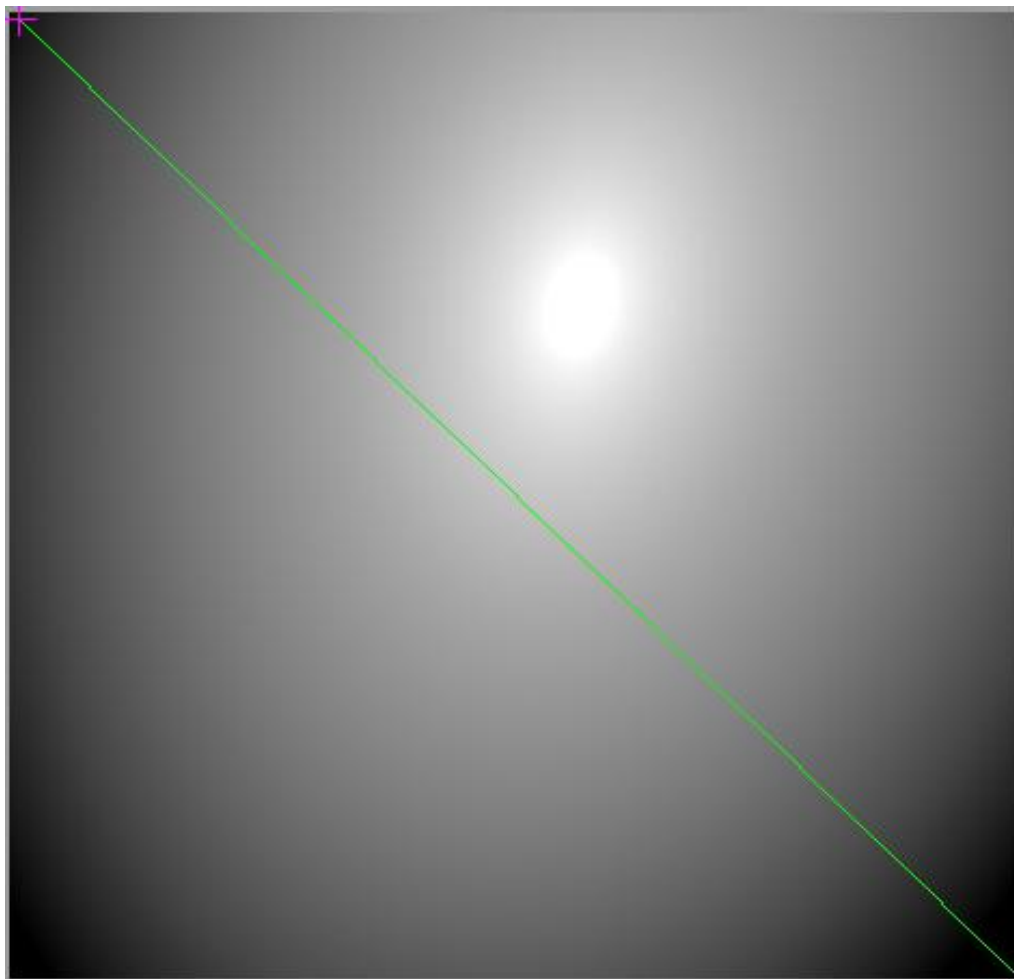
Gdzie: $F(B)$ – jasność według modelu,

x, y – współrzędne rastrowe, czyli numer wiersza i numer kolumny odpowiednio.

Obraz rozkładu trendu w pojedynczym kanale spektralnym i przekrój wykonany po przeł



Obraz rozkładu trendu w trzech kanałach spektralnym i przekrój wykonany po przekątnej



Metoda poprawy wyników wyrównania jasności metodą trendu powierzchniowego

Jednym z najczęstszych mankamentów obrazów po wyrównaniu jasności metoda trendu powierzchniowego jest nadmierne rozjaśnienie lub ściemnienie względem oryginalnego obrazu. Najprostszym rozwiązaniem tego problemu jest wykonanie średniej arytmetycznej z obrazu oryginalnego i wyrównanego.



Oryginał



Wyrównanie funkcją trendu

Metoda poprawy wyników wyrównania jasności metodą trendu powierzchniowego

- Jednym z najczęstszych mankamentów obrazów po wyrównaniu jasności metodą trendu powierzchniowego jest nadmierne rozjaśnienie lub ściemnienie względem oryginalnego obrazu. Najprostszym rozwiązaniem tego problemu jest wykonanie średniej arytmetycznej z obrazu oryginalnego i wyrównanego.



Oryginał



Wyrównanie funkcją trendu

Poprawa wyrównania funkcją trendu powierzchniowego



Oryginał



Wyrównanie funkcją trendu



Oryginał + trend)/2

Założenia:

- Zdjęcia lotnicze wykonane kamerą DMC (zasadniczo bez winietowania – usuniętego w postprocesingu)
- Zdjęcia wykonane w równoległych do siebie szeregach, na przemian ze zmianą kierunku lotu
- Rozkład jasności analizowany funkcją trendu powierzchniowego po zmniejszeniu zakresu danych poprzez logarytmowanie (ograniczenie wpływu rozkładu przestrzennego użytkowania Ziemi na funkcję trendu)
- Obrazy trendu zdjęć z szeregów o jednakowej orientacji kamery (ten sam kierunek lotu) poddane transformacji głównych składowych
 - Pierwsza składowa uznana jako średni, modelowy rozkład oświetlenia w płaszczyźnie zdjęcia dla zdjęć wykonanych w tym samym kierunku
 - Kolejna koncepcja – wykorzystanie pierwszych głównych składowych obliczanych dla poszczególnych szeregów,
 - Obliczanie głównych składowych dla podobnych zdjęć w szeregu (pomysł jak podzielić zdjęcia;
- Zastosowanie filtru Wallis'a, dla poszczególnych kanałów, ten etap poprzedza analizę trendu, dane referencyjne stanowią średnią jasność i średnia wariancja w danym zakresie spektralnym
- Pierwsza próba podjęta zastosowania trendu i składowych głównych podjęta została bez wyrównania filtrem Wallis'a.

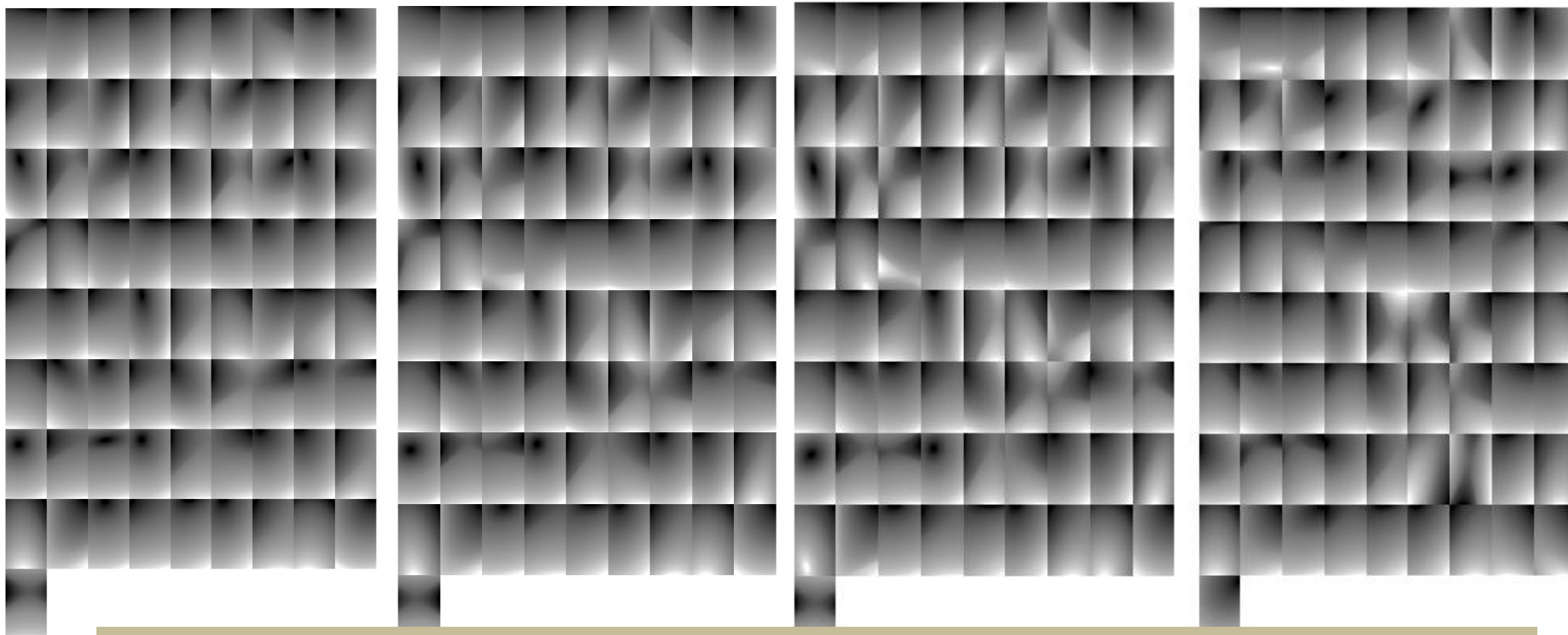
Trend zdjęć w kanałach spektralnych jednakowo zorientowanych względem Słońca (szeregi 1, 3, 5, 7); trend obliczony na wartościach logarytmowanych ,

oryginalnych
B-all-1357

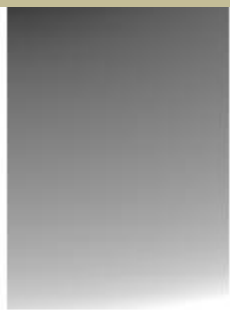
G-all-1357

R-all-1357

IR-all-1357



Modele rozkładu naświetlenia kanałów spektralnych jako pierwsza składowa PCA



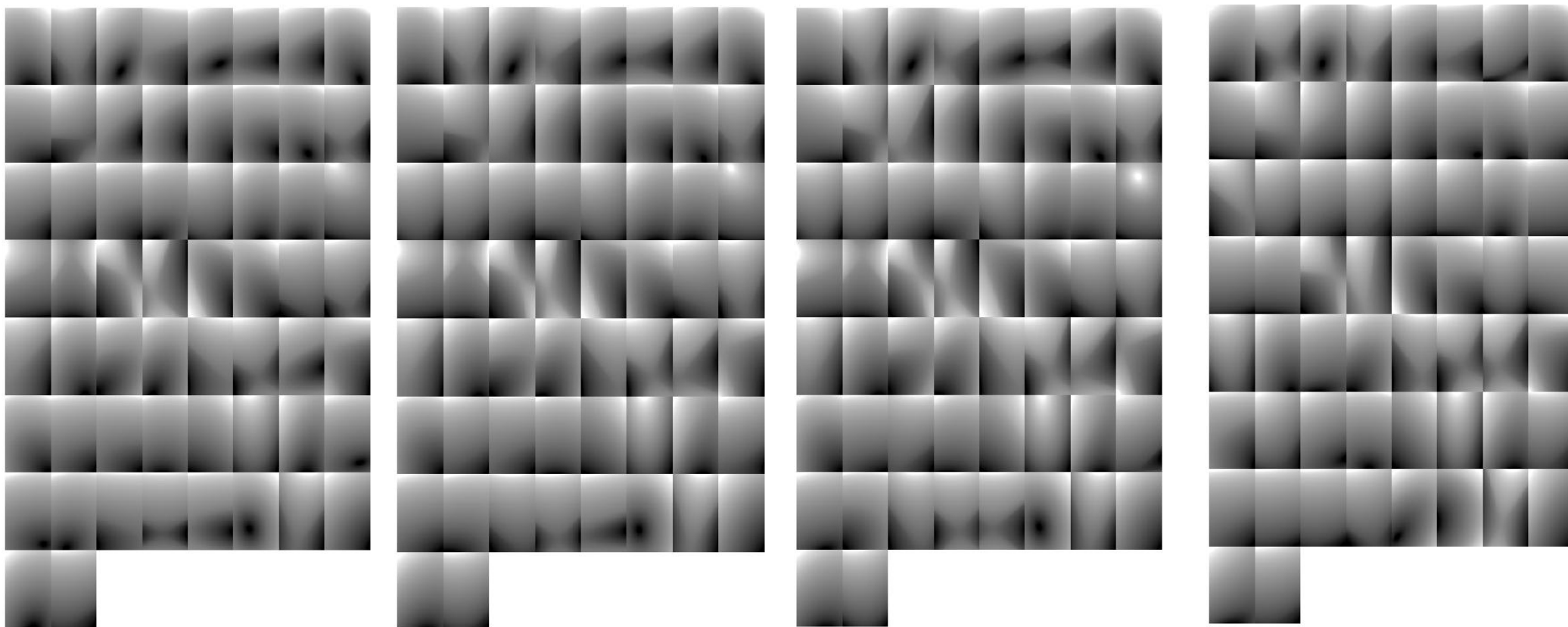
Trend zdjęć w kanałach spektralnych jednakowo zorientowanych względem Słońca (szeregi 2, 4, 6); trend obliczany na wartościach logarytmowanych ,

oryginalnych
B-ind-246

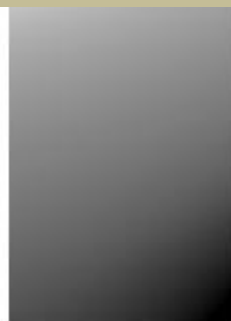
G-ind-246

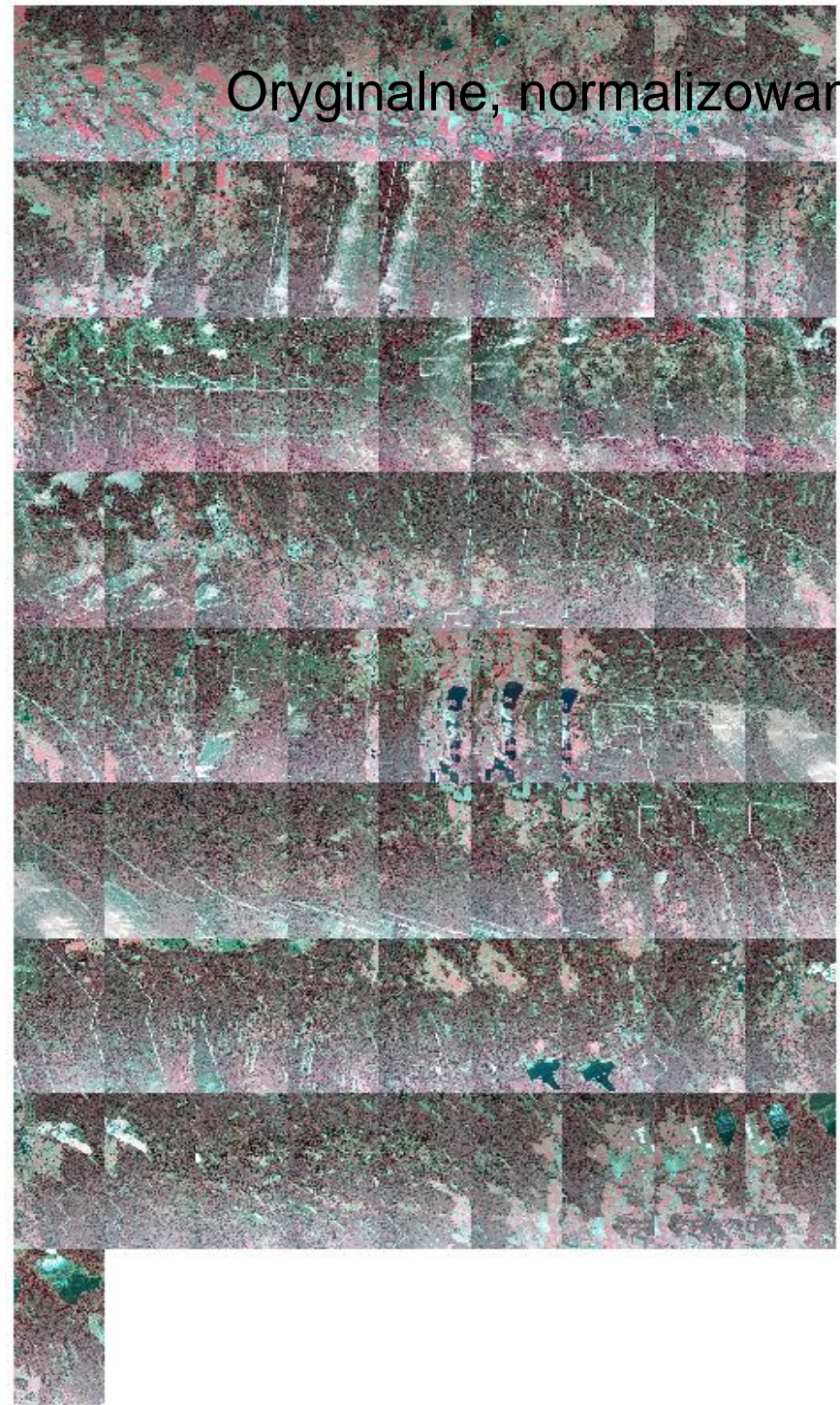
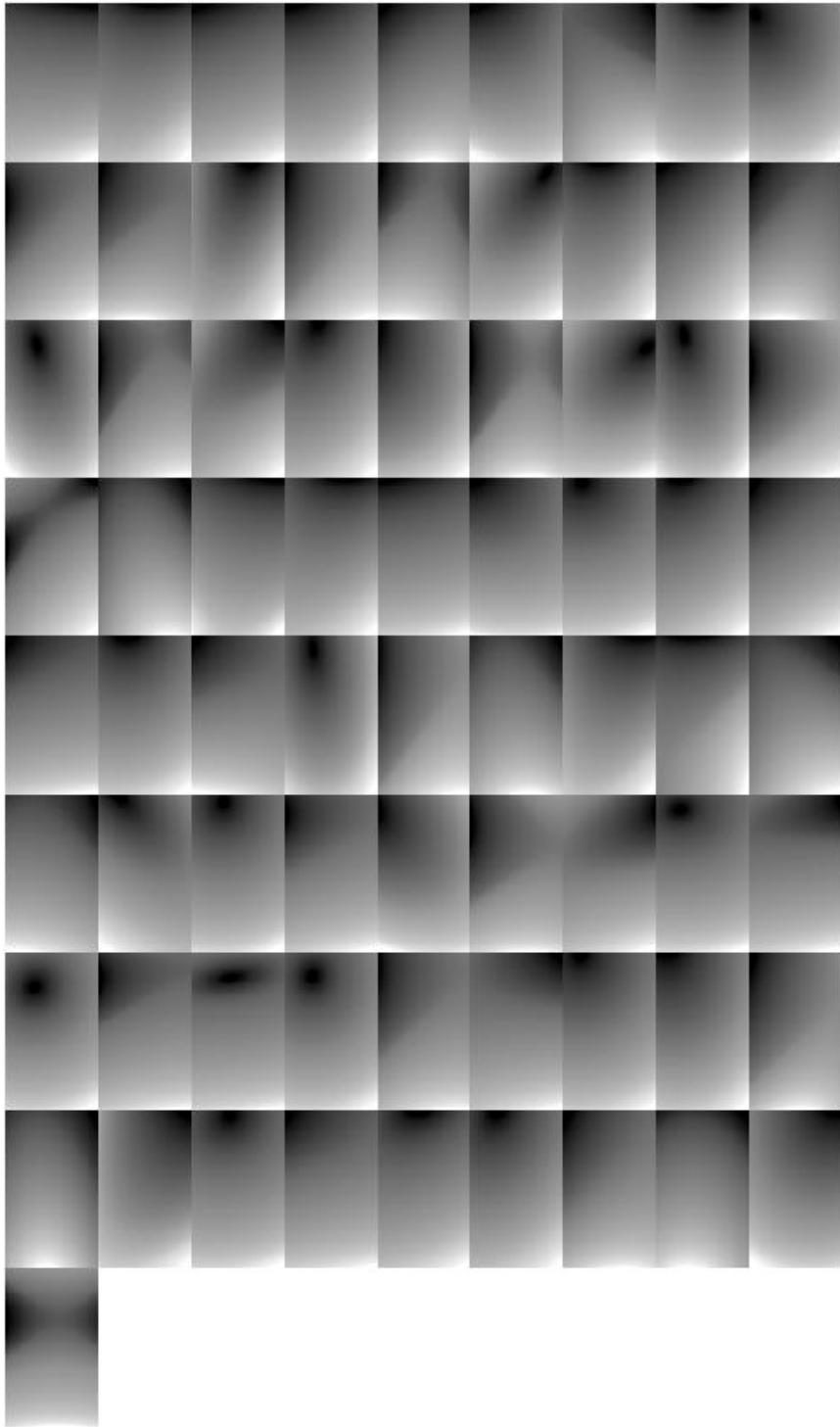
R-ind-236

IR-ind-246



Modele rozkładu naświetlenia kanałów spektralnych jako pierwsza składowa PCA

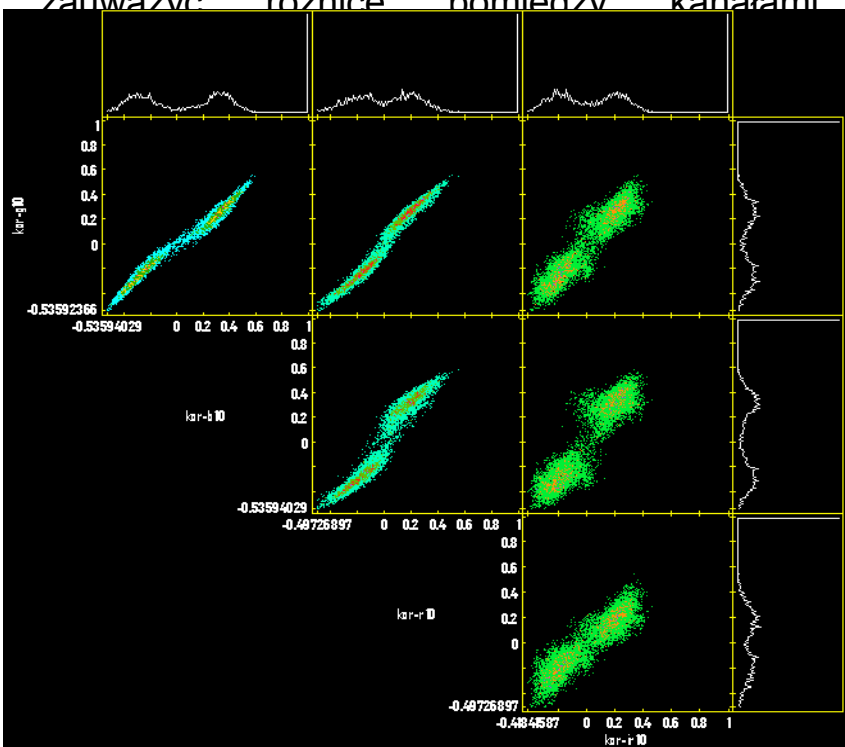
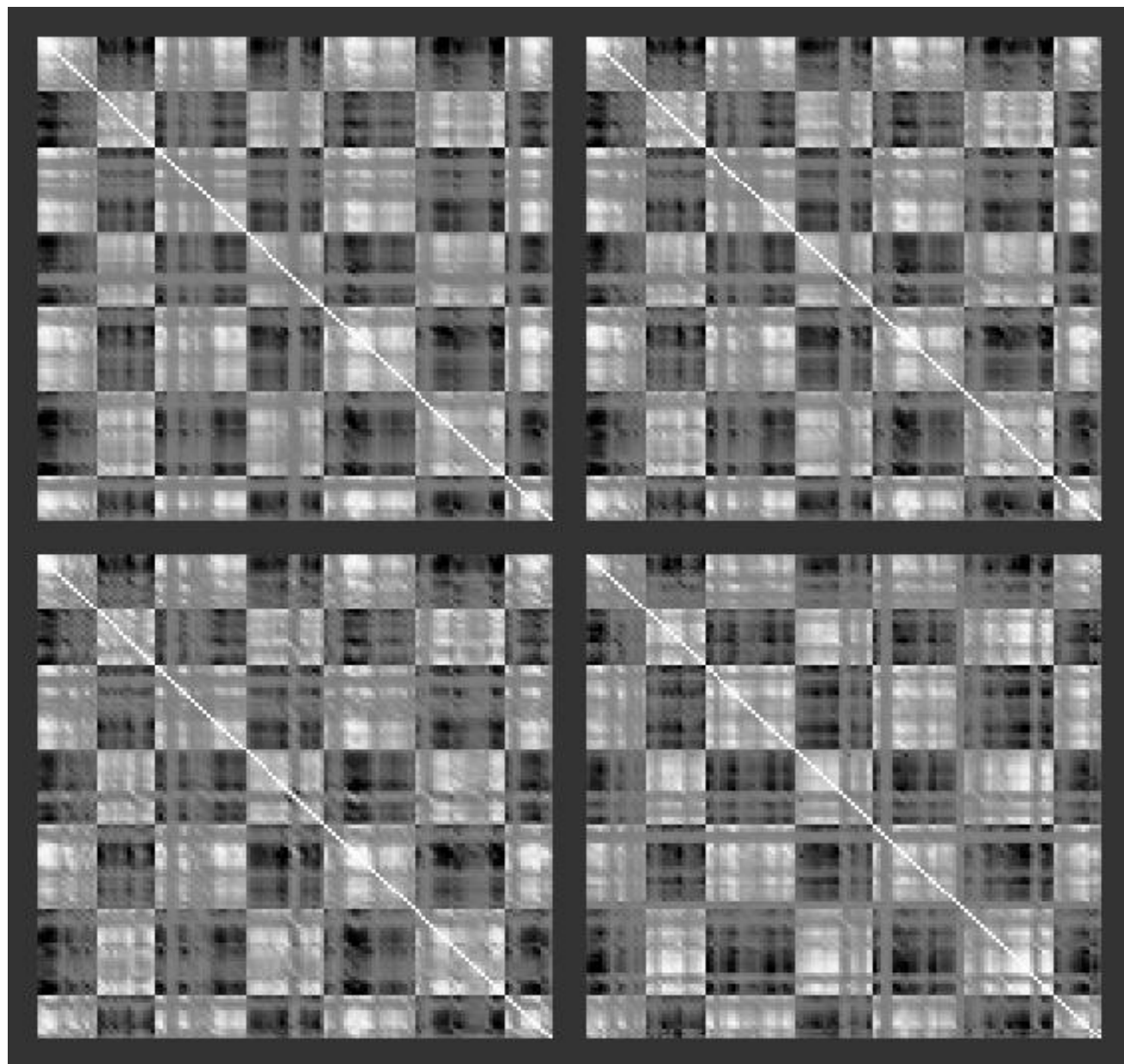




Analiza korelacji wzajemnej bloku 131 zdjęć lotniczych :

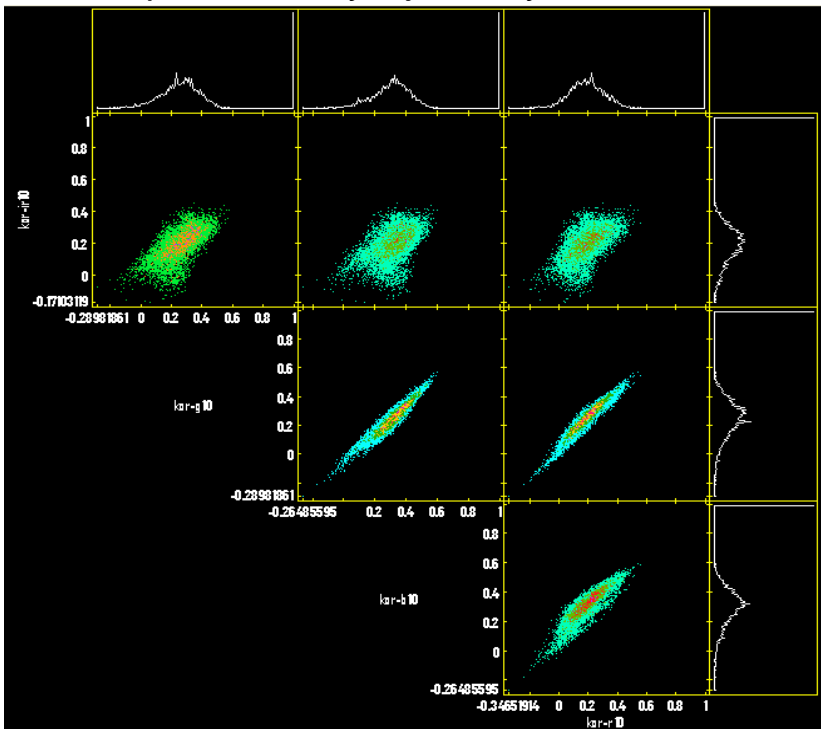
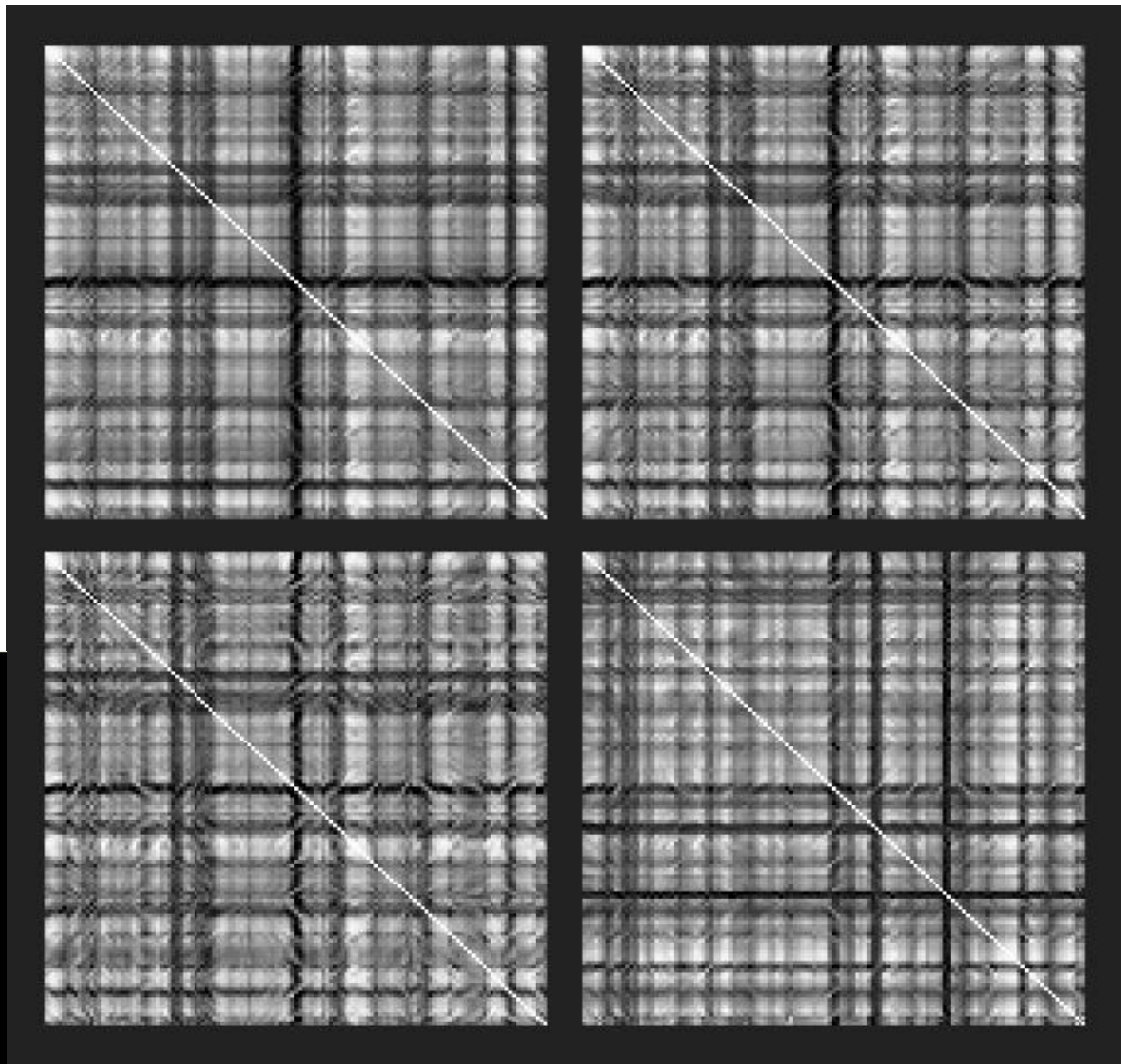
Poszukiwanie miary do wydzielenia (wskazywania) zdjęć, na których znajdują się duże plamy jasne lub ciemne – jednym ze sposobów jest wykorzystanie korelacji pomiędzy obrazami o tym samym wymiarze. Obliczenie korelacji można wykonać dwoma sposobami (brak literatury - nawet podręcznika?). Pierwszym z nich są obliczenia piksel po pikselu , średnia, zgodnie ze sztuką, drugim jest obliczenia korelacji na podstawie histogramów obrazów. Zastosowano pierwszy sposób. Zbadanie samplingu na wartość korelacji (5, 10, 20, 50, 100, 200, 500). Korelację obliczano dla wszystkich możliwych kombinacji zdjęć w bloku 131 zdjęć (łącznie 8515 x cztery kanały spektralne). Wyniki tej analizy zapisano w postaci obrazów rastrowych o wymiarze 131 x 131 pikseli, nr wiersza i numer kolumny odpowiada rzeczywistym numerom zdjęć. Korelacje obliczano dla orientacji kamery w trakcie lotu i dla orientacji skorygowanej (obrót o 180 stopni) do jednakowej (choć przybliżonej, nie uwzględniającej kątów skręcenia kamery, ale w tej analizie można to zaniedbać) orientacji zdjęć względem Słońca. Na obrazie korelacji obliczanej dla orientacji kamery wyraźnie widać podział na szeregi, podział ten nie jest widoczny po obrocie o 180 stopni. W celu wydzielenia obrazów o dużych jasnych i ciemnych powierzchniach obliczono sumę korelacji danego zdjęcia względem wszystkich pozostałych. Wyniki, wykresy – liniowy i obrazy trendów, „korelacja między obrazami korelacji”;

Poniżej przedstawiono obrazy korelacji wzajemnej bloku zdjęć w lotniczych w czterech kanałach spektralnych (7 szeregów). Obok znajdują się korelacje przy orientacji matrycy kamery zgodnej z kierunkiem lotu. Biała linia na obrazach oznacza korelację zdjęcia do samego siebie równą 1. Widoczna szachownica na obrazach korelacji pokazuje wyraźne pogrupowanie zdjęć na szeregi – co uwidacznia wpływ orientacji zdjęć względem słońca (oświetlenia) na korelację wzajemną zdjęć; widoczne są również ciemne linie (lepiej widoczne z lewej strony) pokazujące zdjęcia o wyraźnie mniejszej średniej korelacji do pozostałych). W przypadku zdjęć o orientacji matrycy względem Słońca w trakcie lotu trudno zauważyć różnice pomiędzy kanałami



różnica pomiędzy korelacją w kanale podczerwonym a pozostałymi jest widoczna dopiero na wykresach korelacji między obrazami korelacji zdjęć.

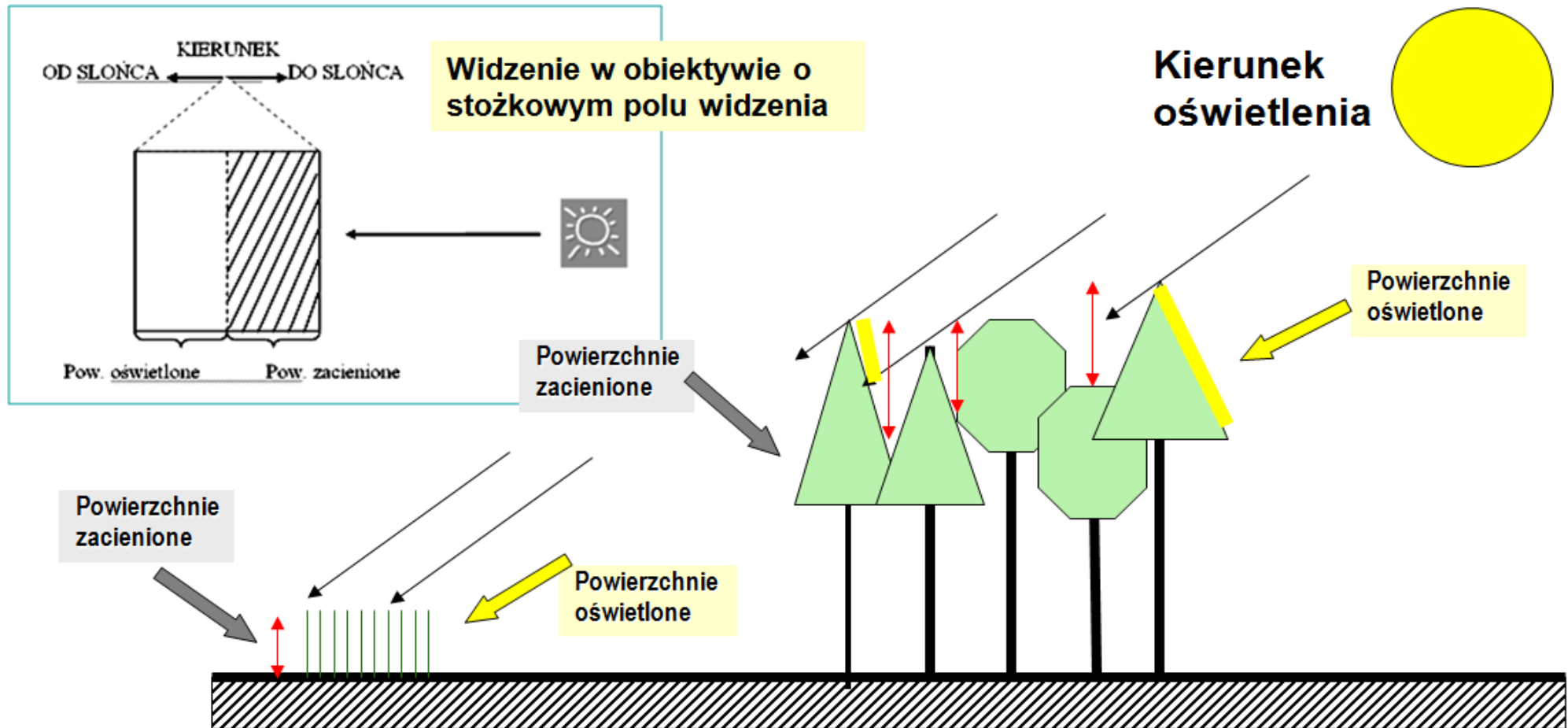
Obok przedstawiono obrazy korelacji wzajemnej bloku zdjęć w lotniczych w czterech kanałach spektralnych (7 szeregów) przy orientacji matrycy kamery skorygowanej do poprawnej orientacji względem Słońca. Biała linia na obrazach oznacza korelację zdjęcia do samego siebie równą 1. Brak widocznej na poprzednim slajdzie szachownicy nawiązującej do podziału na szeregi. Widoczne są ciemne linie pokazują zdjęcia o wyraźnie mniejszej średniej korelacji do pozostałych. Rozkład ciemniejszych linii (pionowych i poziomych), odpowiadających zdjęciom mniej skorelowanych z pozostałymi, jest podobny w kanałach widzialnych. Rozkład tych linii w kanale podczerwonym jest inny.





Zjawisko dwukierunkowego odbicia spektralnego

Jasność rejestrowanego obiektu zależy od kierunku oświetlenia i obserwacji. Za jedną z najważniejszych przyczyn dwukierunkowego odbicia spektralnego jest szorstkość powierzchni odbijającej, rozumiana jako miejscowe różnice wysokości tworzących ją elementów.







Zjawisko dwukierunkowego odbicia spektralnego

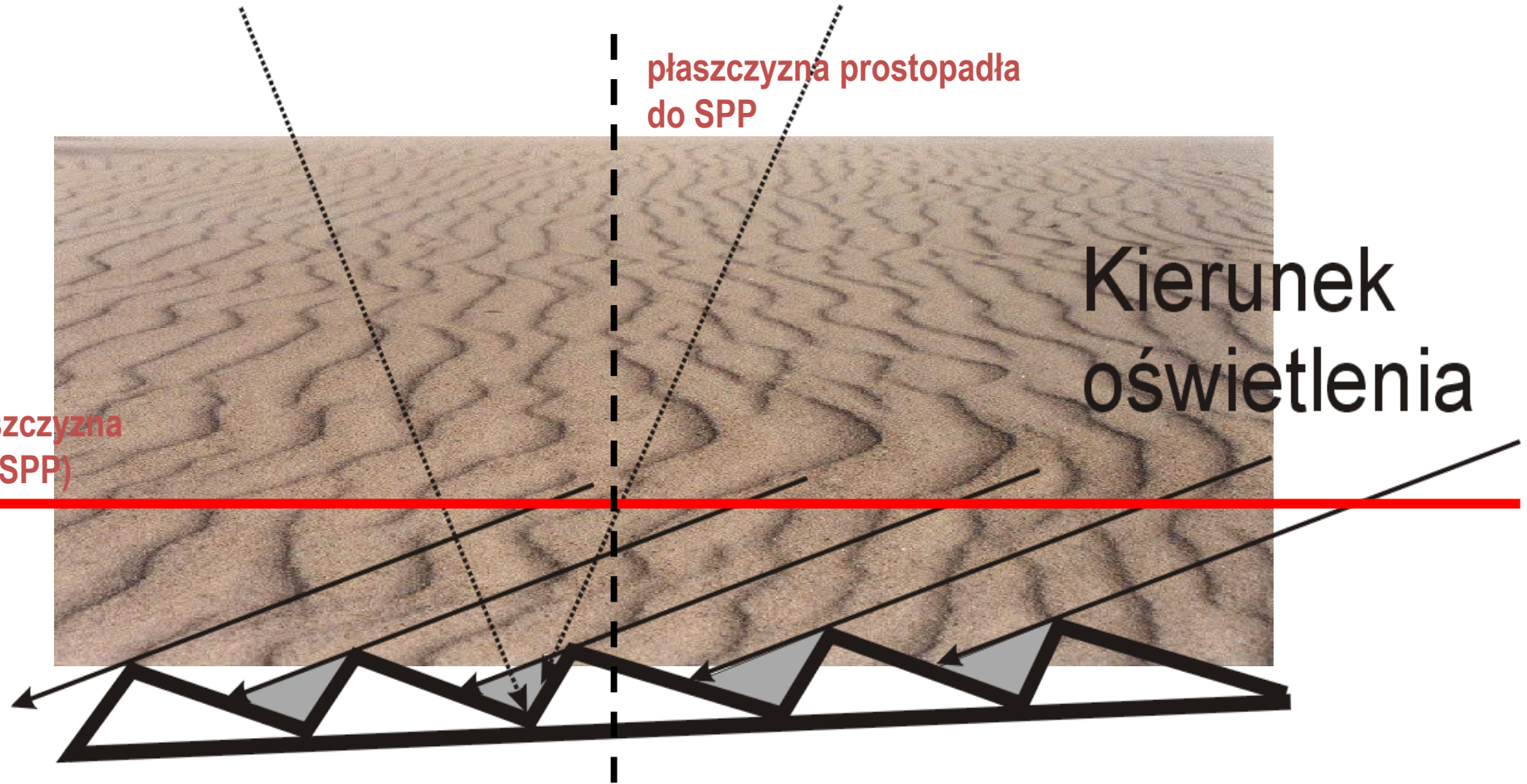
Obserwacja dosłoneczna

Obserwacja odsłoneczna

płaszczyzna prostopadła do SPP

Kierunek oświetlenia

Główna płaszczyzna słoneczna (SPP)

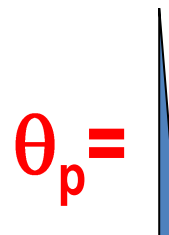
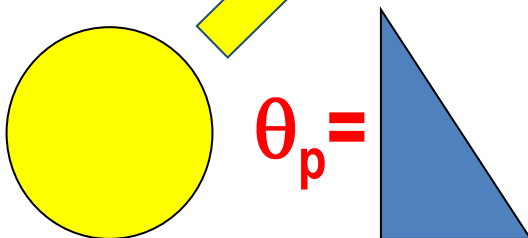
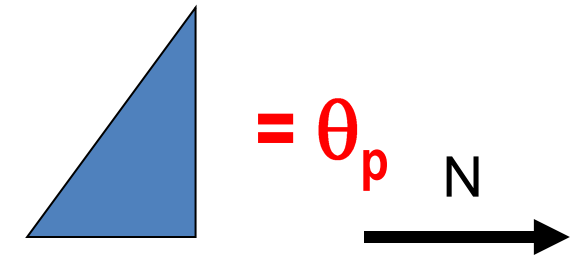
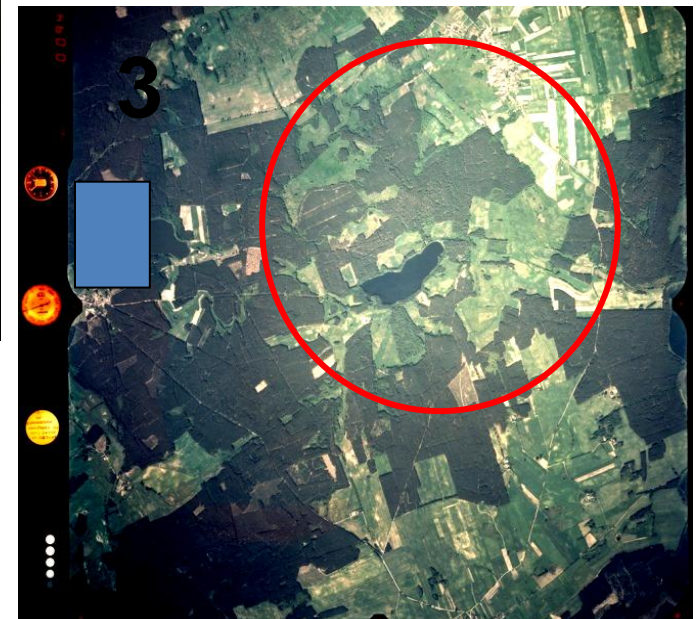
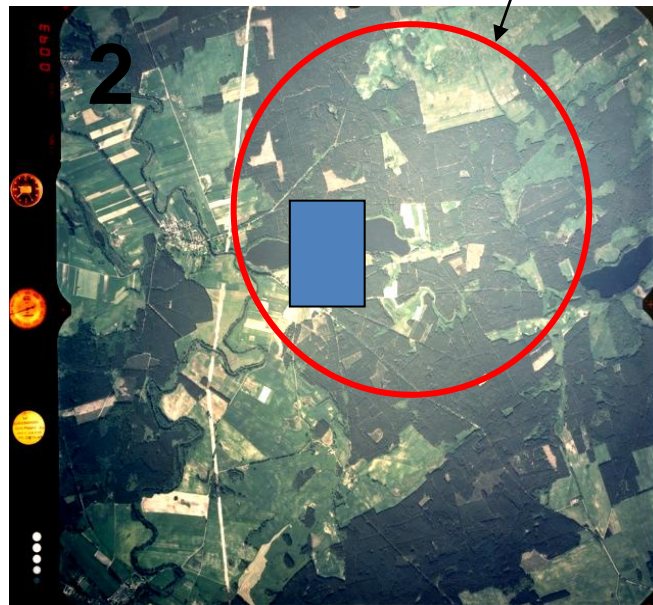
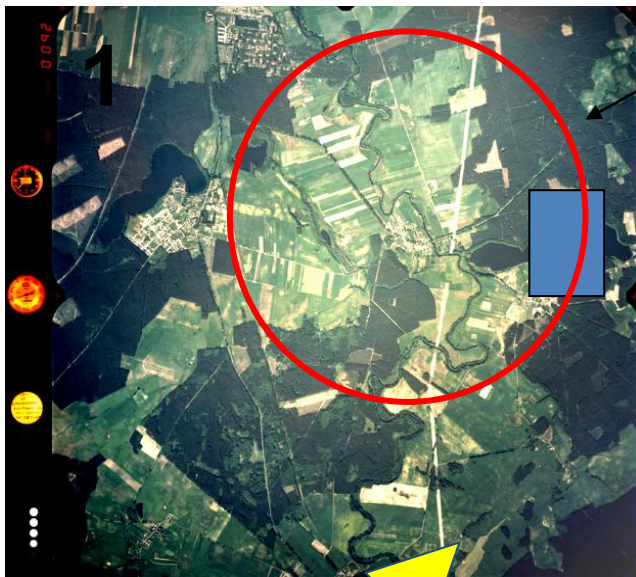


Powierzchnia z ripplemarkami



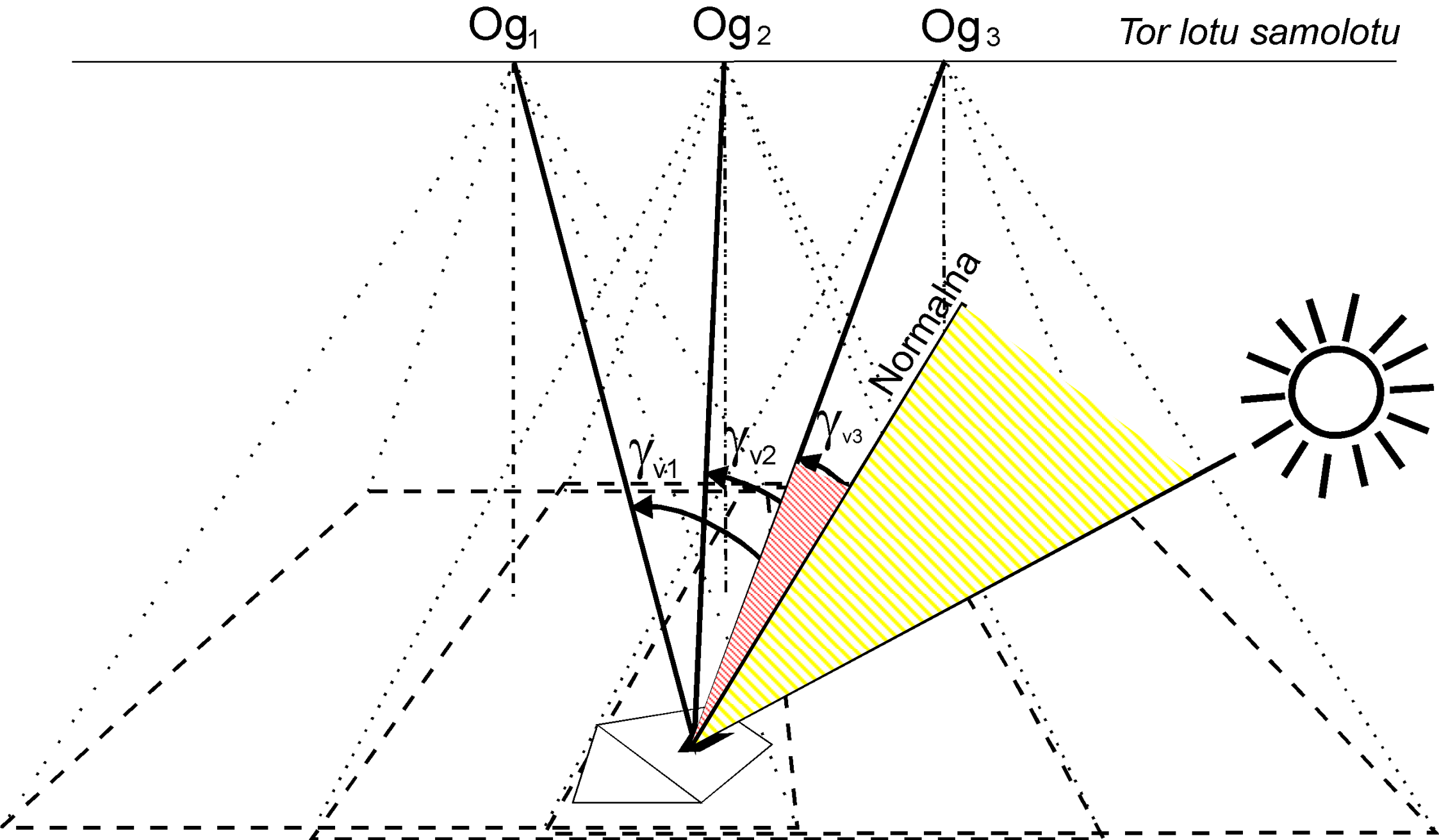
Konsekwencją zjawisk naturalnego winietowania i dwukierunkowego odbicia spektralnego jest nierównomierne naświetlenie zdjęć lotniczych i zróżnicowana jasność tego samego obiektu na kolejnych zdjęciach lotniczych.

Strefa najlepszego naświetlenia



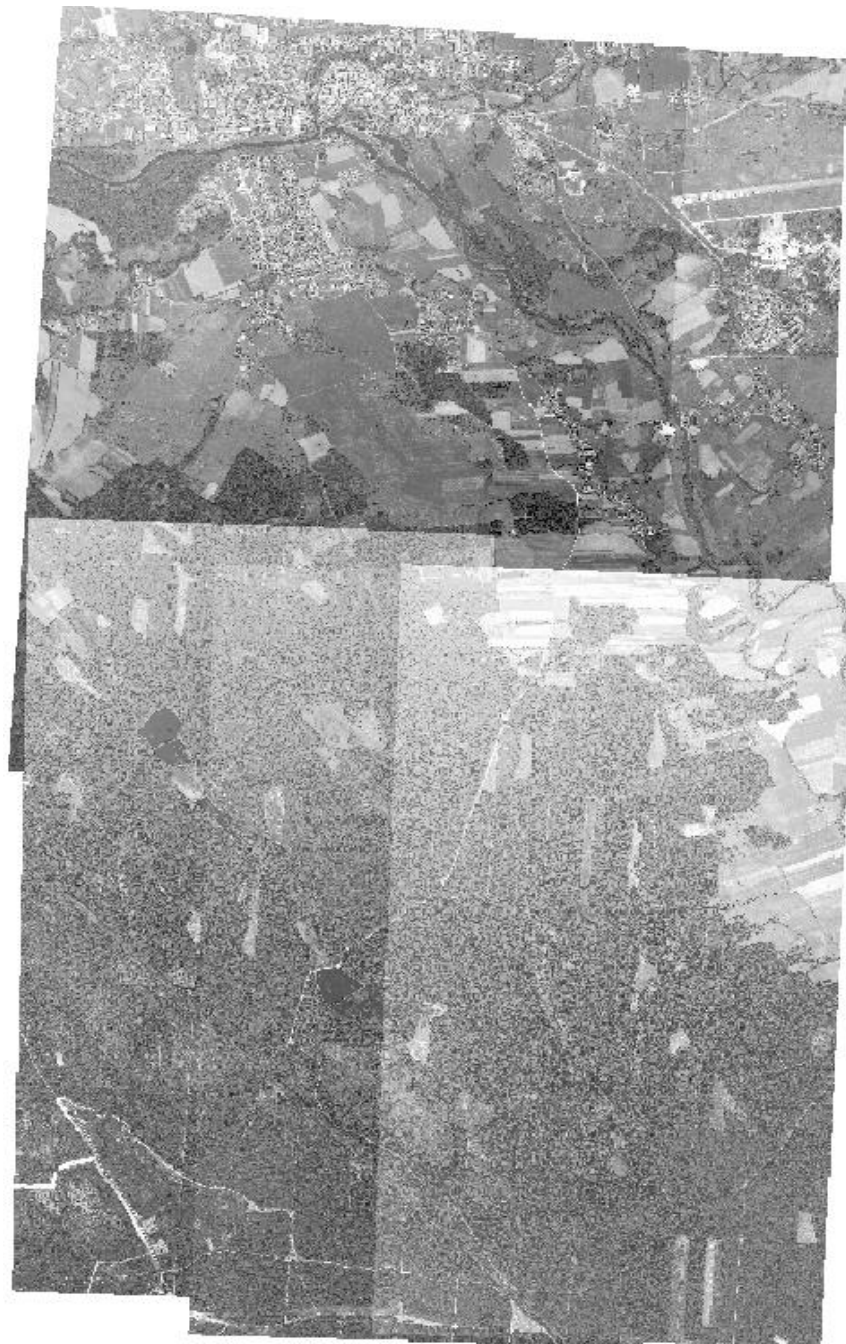
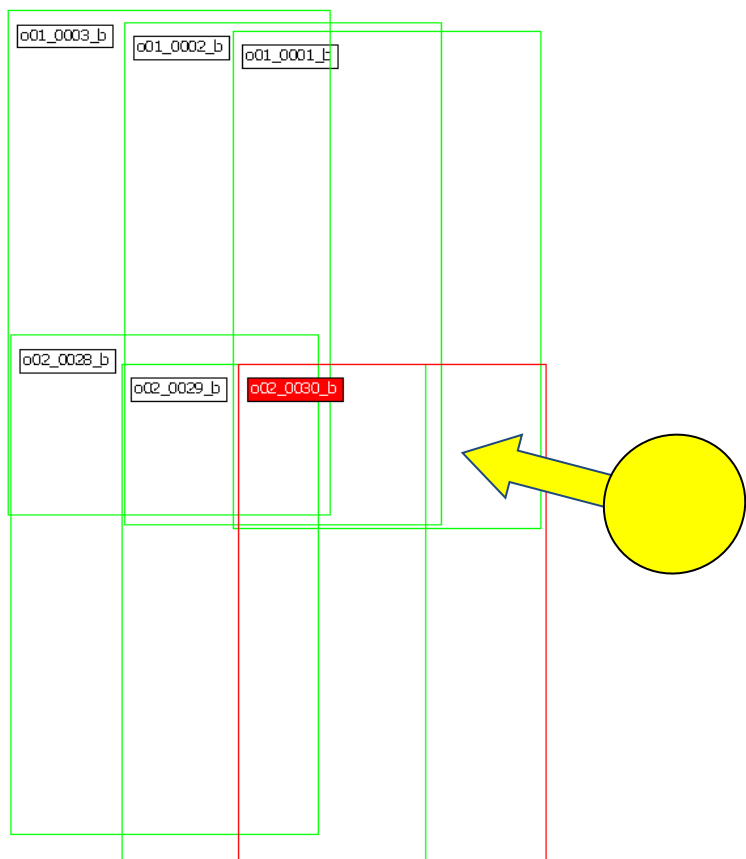
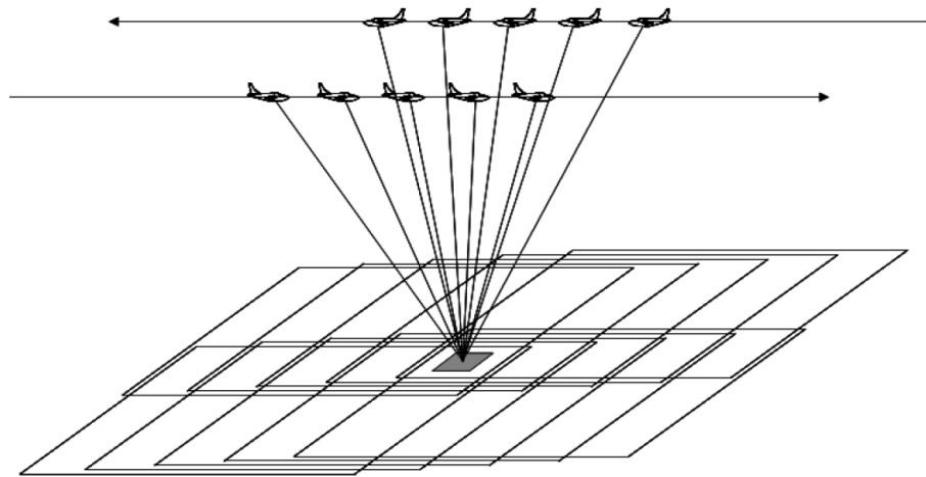


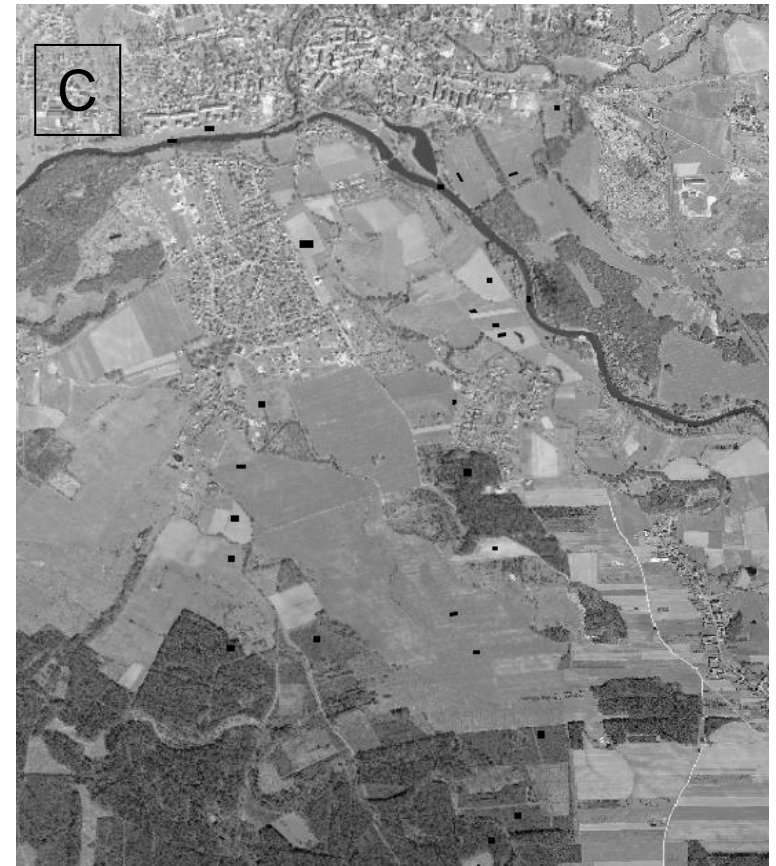
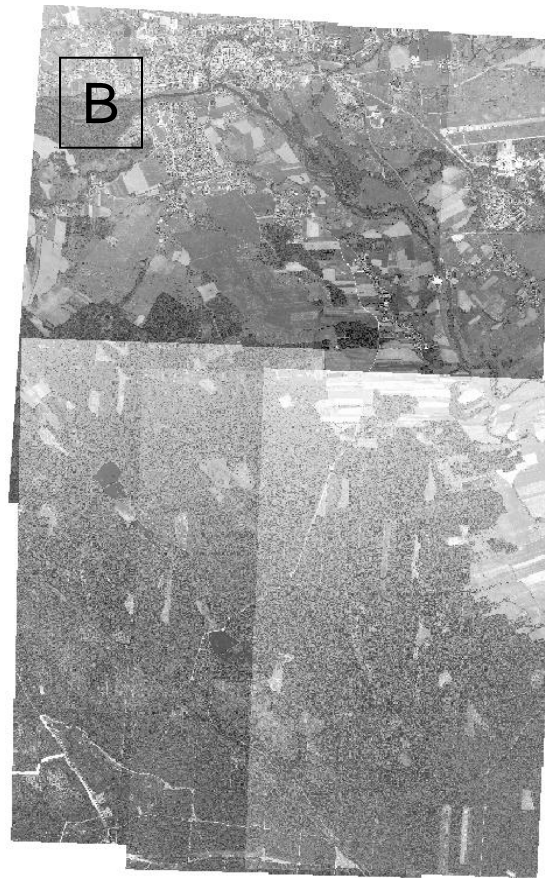
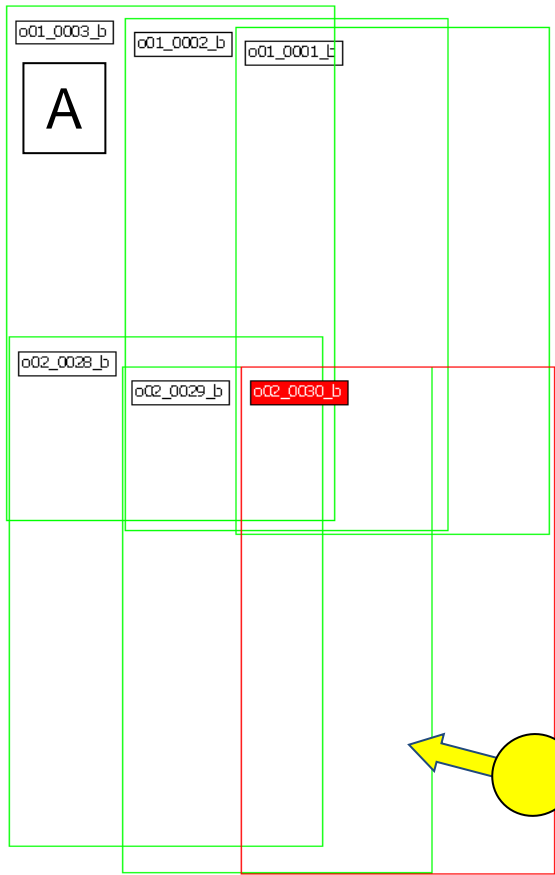
Zjawisko dwukierunkowego odbicia spektralnego



Analiza wielkości wpływu BRDF

- Bezpośredni pomiar na wybranych, obiektach o jednorodnej szorstkości, obiekty o powierzchni od 83 do 796 m² (lasy, pola, uprawy rolnicze, nieużytki), obliczano wartości bezwzględne różnic.
- Pomiar uśredniony w regularnej siatce pól podstawowych (50x50m) w obszarach wspólnych kolejnych zdjęć lotniczych;
- Pomiar uśredniony dla wybranych obiektów wyznaczonych poprzez klasyfikację obiektową z wykorzystaniem algorytmu segmentacji z Ecognition.





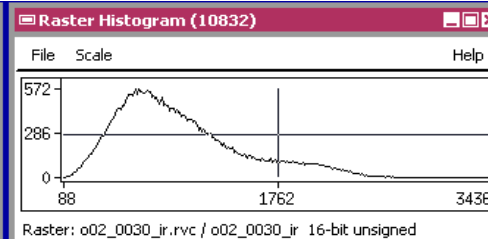
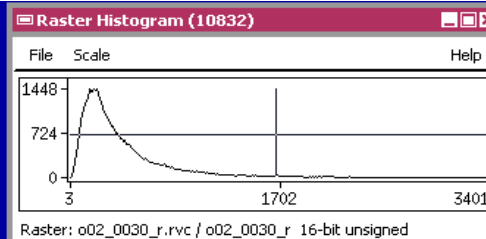
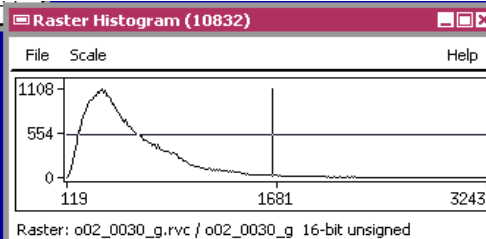
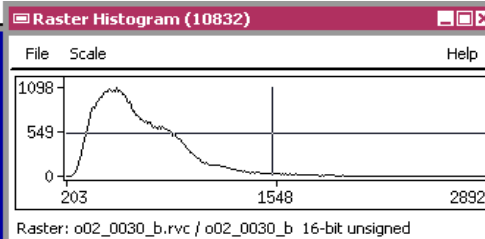
Blue

Green

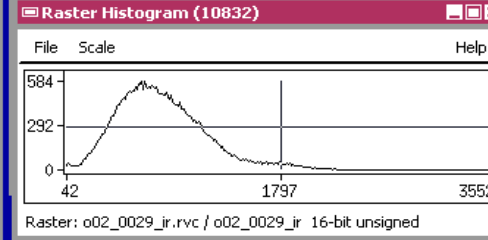
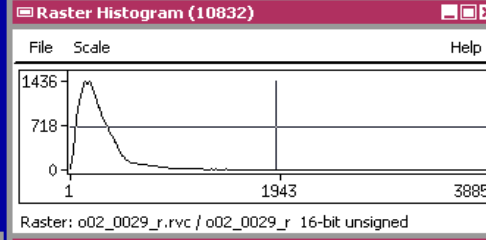
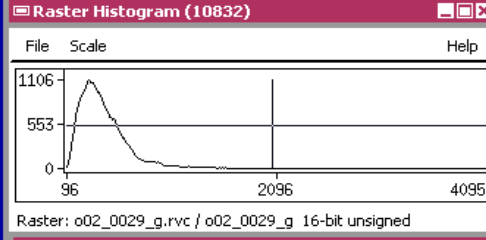
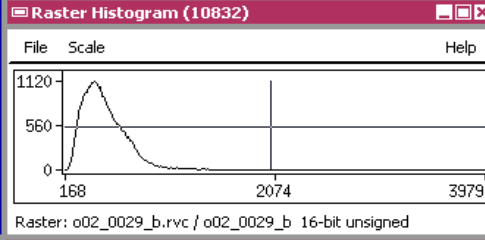
Red

Infra-Red

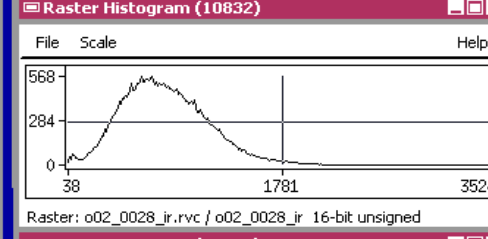
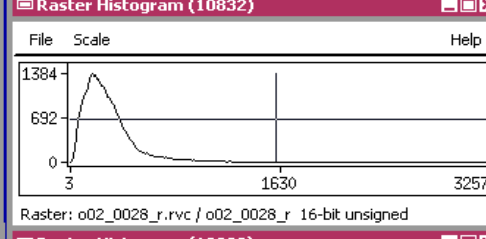
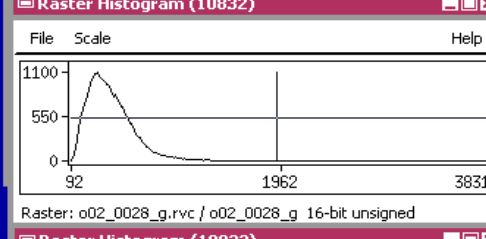
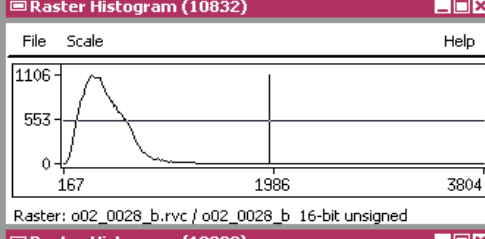
30



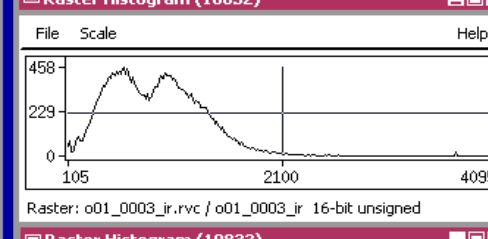
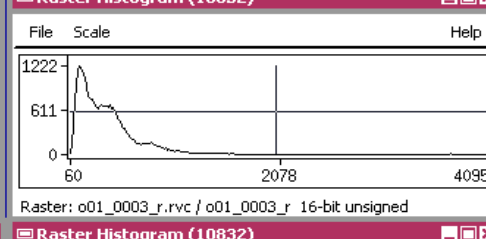
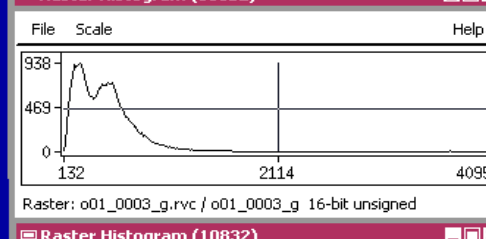
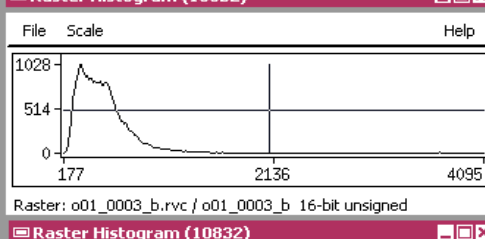
29



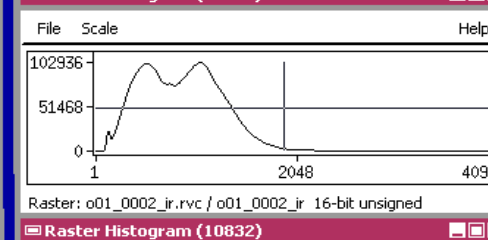
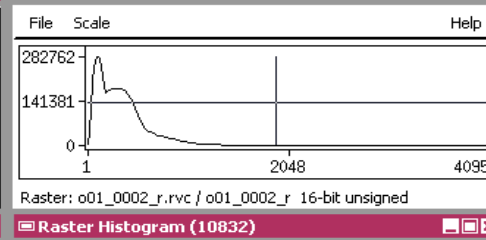
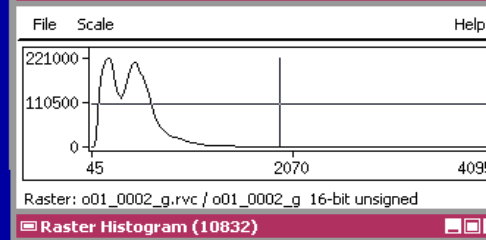
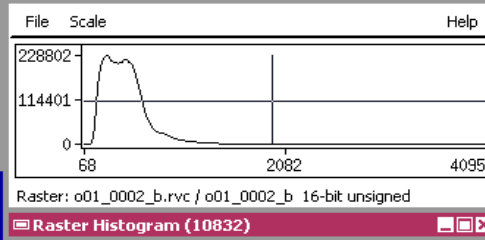
28



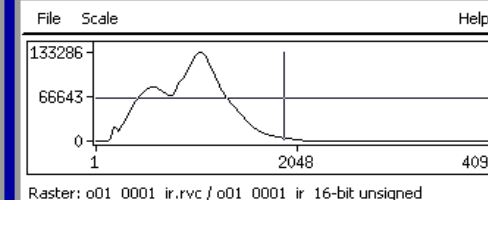
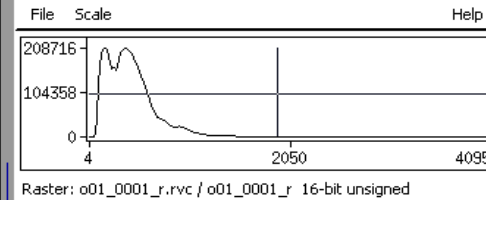
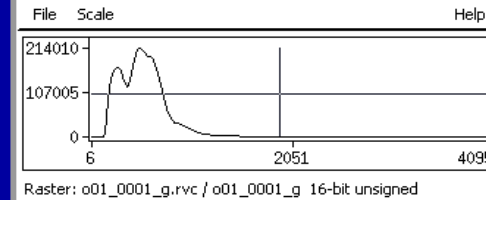
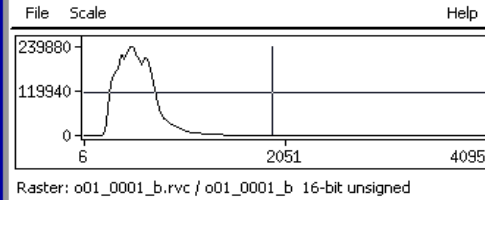
03



02



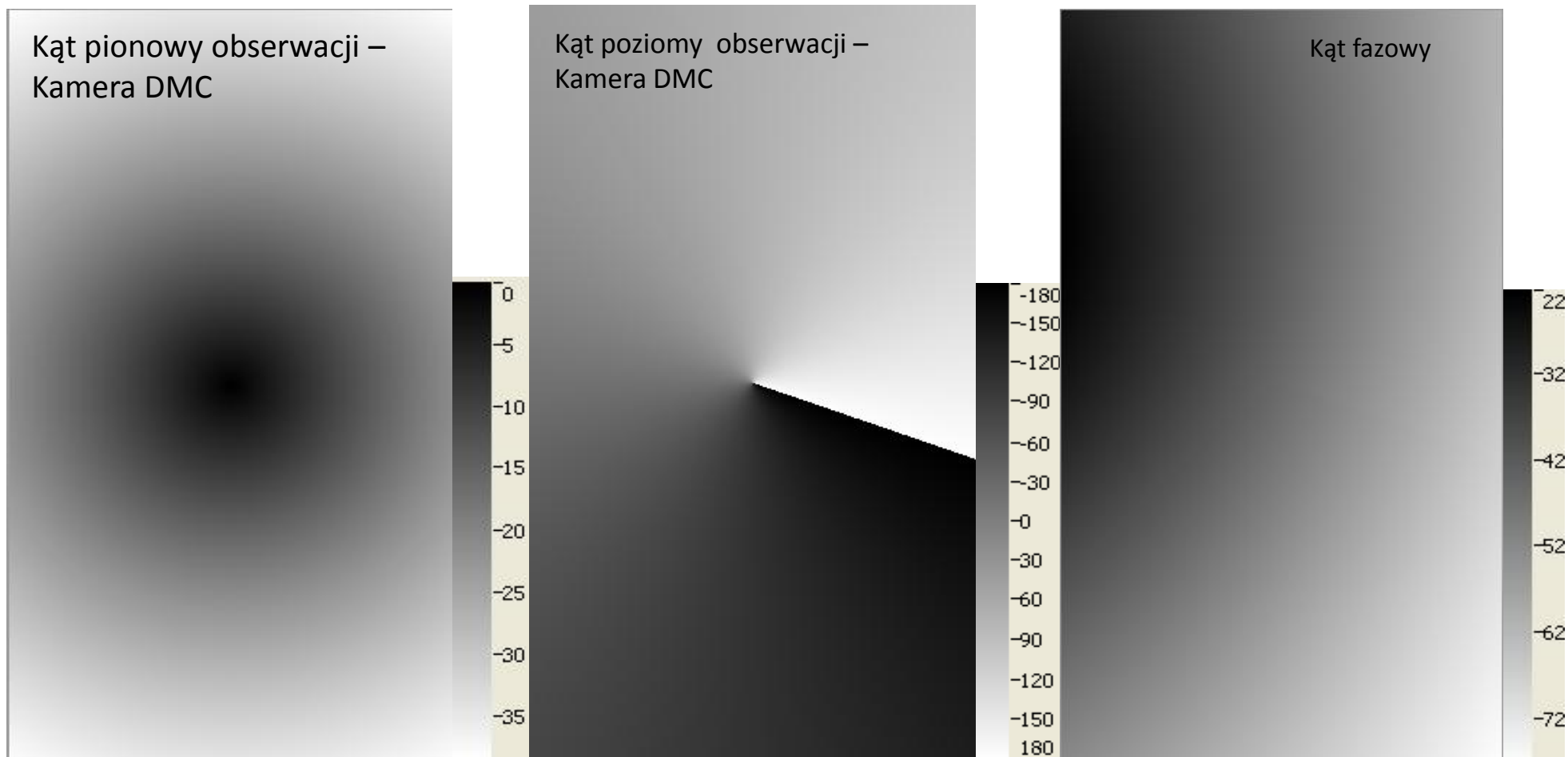
01



Parametry oświetlenia i obserwacji w trakcie rejestracji zdjęć

Kąt padania promieni słonecznych – zdjęcia 01, 02, 03 – SZA – 47° , SAA – 109°

Kąt padania promieni słonecznych – zdjęcia 28, 29, 30 – SZA – 46° , SAA – 111°



Wykorzystane oprogramowanie



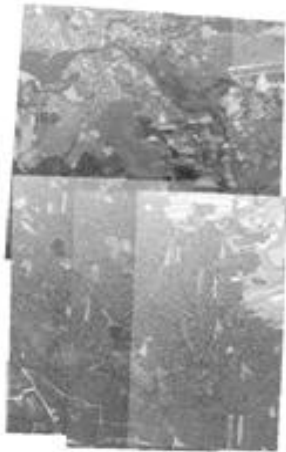
GENEROWANIE DSM – PCI Geomatica OrthoEngine 10.2



OBLICZENIA – TNTmips, 7.2-7.7 MicrowImages, Inc.

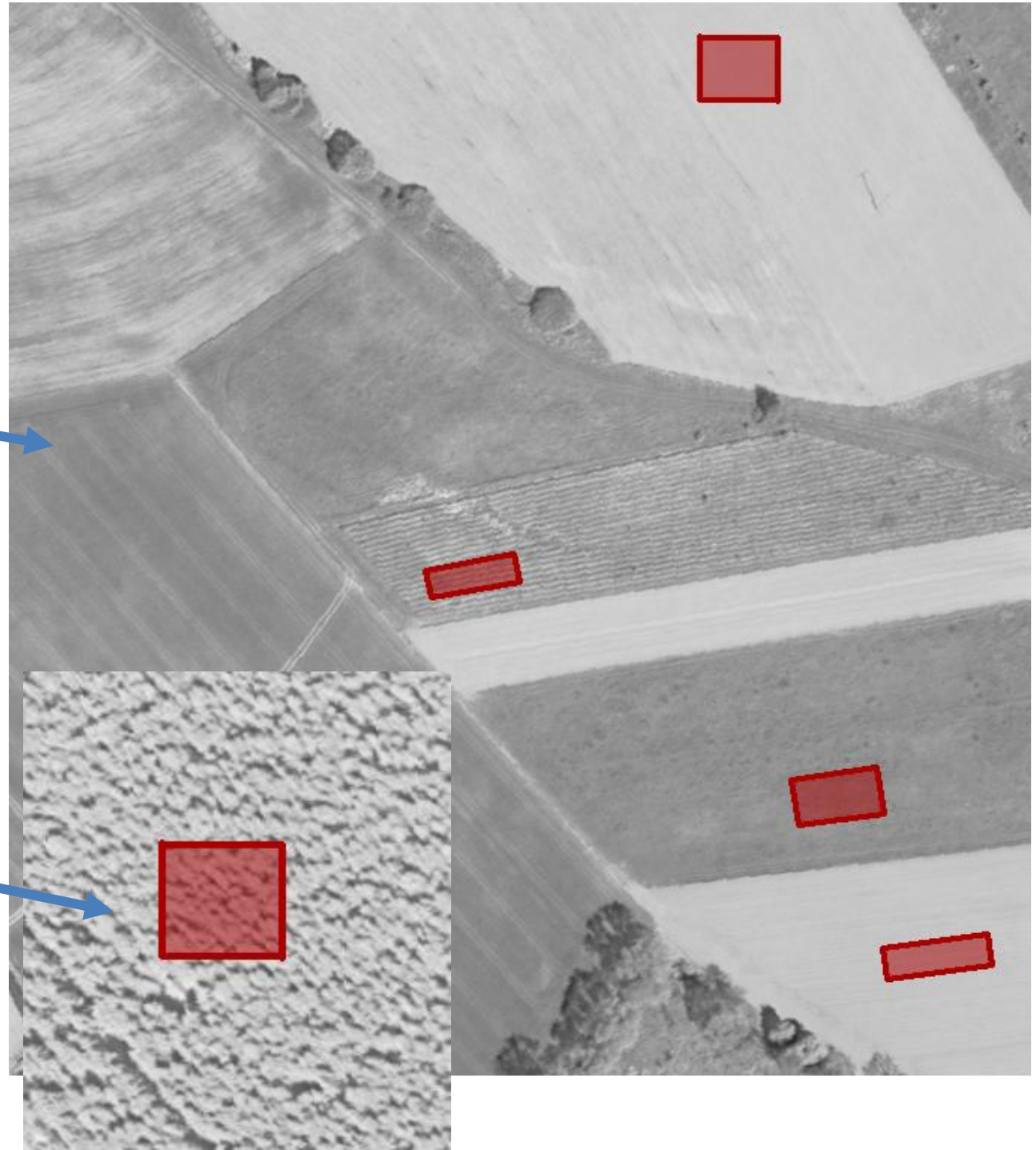
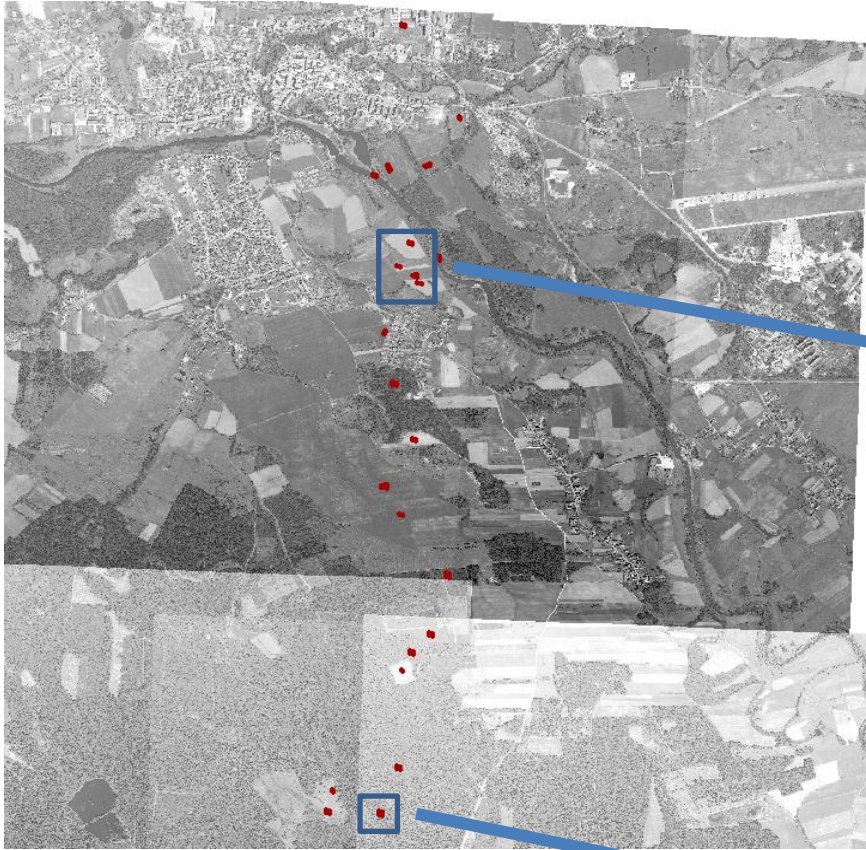


SEGMENTACJA OBIEKTOWA – Ecognition 4.0.

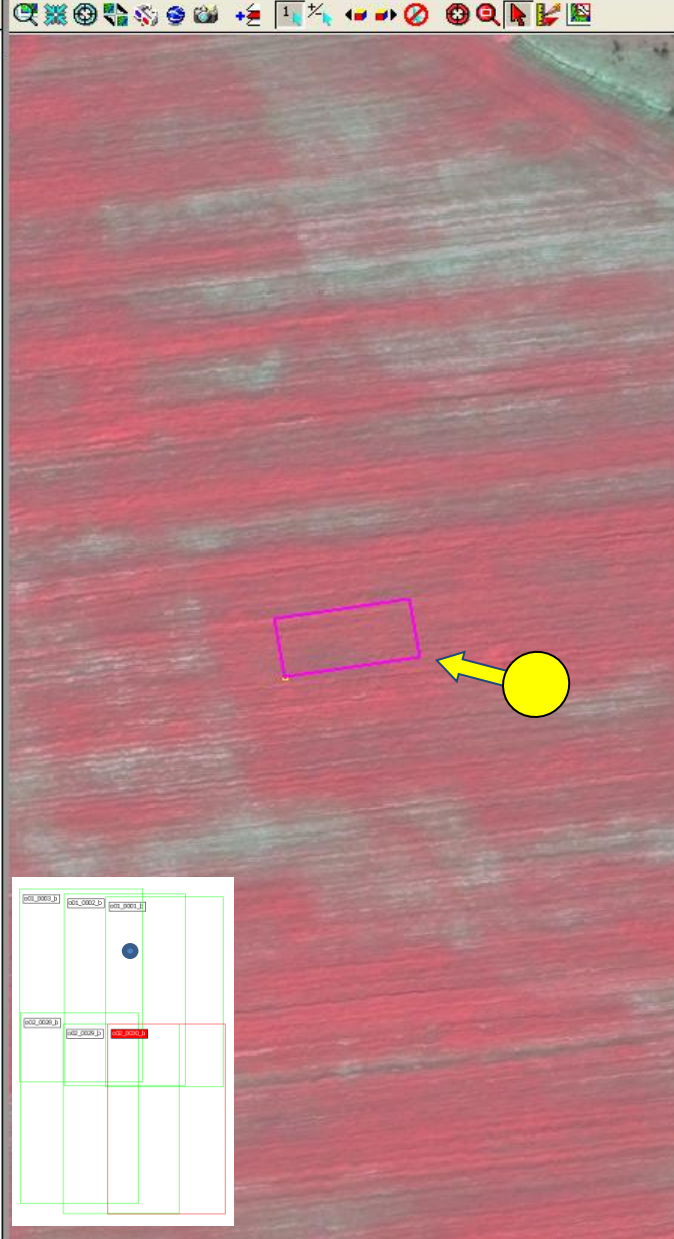


Zdjęcia lotnicze udostępnione przez Biuro Urządzania Lasu w Brzegu do celów dydaktycznych i naukowych dzięki uprzejmości dyr. Janusza Bańkowskiego.

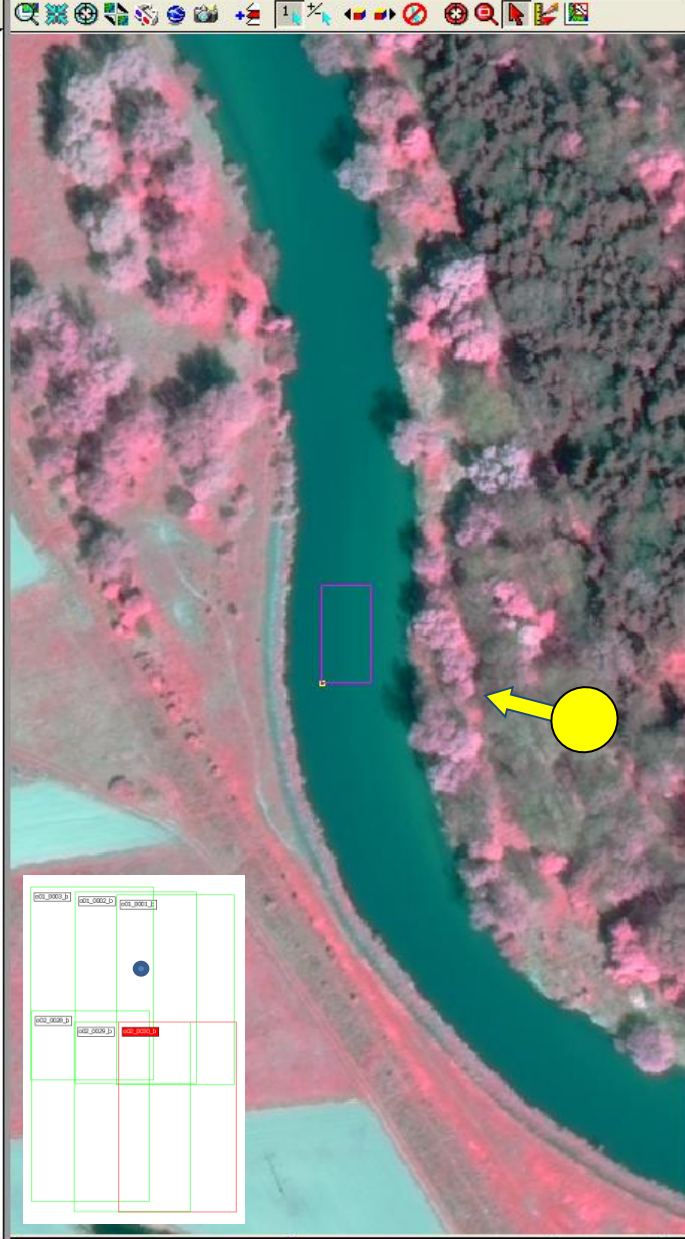
Obiekty



Name	Value
opis	zboze-jare
01-VZA	18
02-VZA	4
03-VZA	16
28-VZA	
29-VZA	
30-VZA	
01-VAA	-27
02-VAA	-77
03-VAA	179
28-VAA	
29-VAA	
30-VAA	
01-FAZ	30
02-FAZ	44
03-FAZ	61
28-FAZ	
29-FAZ	
30-FAZ	
b-01-30	
b-01-29	
b-01-28	
b-02-28	
b-02-29	
b-02-30	
opis-szorst	kierunkowa
SD-szortski	0.2718
b-01-02	107.2
b-01-03	76.2
b-02-03	31.0
b-28-29	
b-28-30	
b-29-30	
g-02-03	33.6
g-28-29	
g-01-02	96.1
g-29-30	
r-02-03	37.3
r-01-02	74.7
r-28-29	
r-29-30	
ir-01-02	228.0
ir-02-03	124.1
ir-28-29	
ir-29-30	



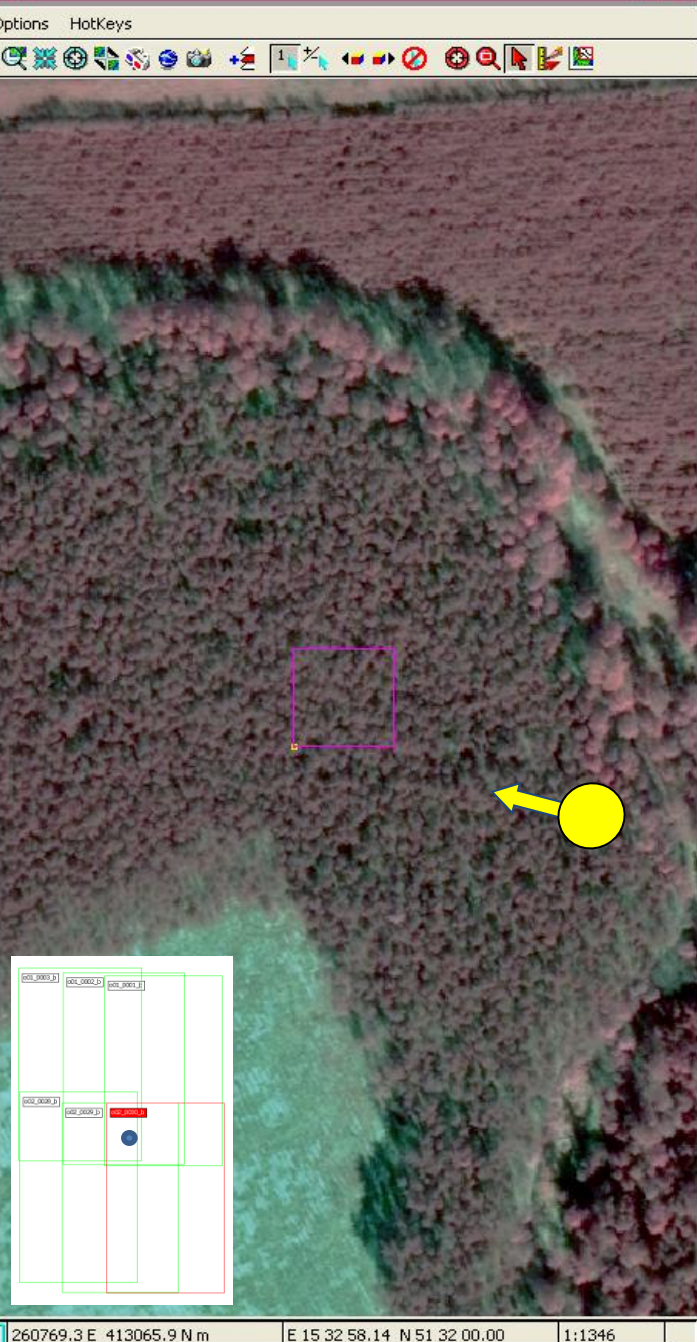
Name	Value
opis	laka
01-VZA	22
02-VZA	17
03-VZA	24
28-VZA	
29-VZA	
30-VZA	
01-VAA	34
02-VAA	78
03-VAA	122
28-VAA	
29-VAA	
30-VAA	
01-FAZ	29
02-FAZ	44
03-FAZ	60
28-FAZ	
29-FAZ	
30-FAZ	
b-01-30	
b-01-29	
b-01-28	
b-02-28	
b-02-29	
b-02-30	
opis-szorst	niekierunkowa
SD-szortski	0.5867
b-01-02	100.5
b-01-03	36.1
b-02-03	64.3
b-28-29	
b-28-30	
b-29-30	
g-01-02	74.9
g-02-03	72.7
g-28-29	
g-29-30	
r-01-02	66.2
r-02-03	72.1
r-28-29	
r-29-30	
ir-01-02	63.1
ir-02-03	68.0
ir-28-29	
ir-29-30	

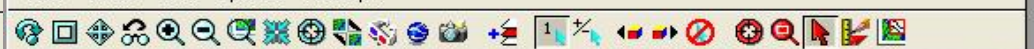


Name	Value
opis	pole-brona
01-VZA	21
02-VZA	15
03-VZA	21
28-VZA	
29-VZA	
30-VZA	
01-VAA	27
02-VAA	73
03-VAA	124
28-VAA	
29-VAA	
30-VAA	
01-FAZ	28
02-FAZ	43
03-FAZ	59
28-FAZ	
29-FAZ	
30-FAZ	
b-01-30	
b-01-29	
b-01-28	
b-02-28	
b-02-29	
b-02-30	
opis-szorst	kierunkowa
SD-szorstk	0.3459
b-01-02	137.4
b-01-03	150.9
b-02-03	13.5
b-28-29	
b-28-30	
b-29-30	
g-01-02	123.5
g-02-03	21.5
g-28-29	
g-29-30	
r-01-02	130.6
r-02-03	25.5
r-28-29	
r-29-30	
lr-01-02	146.1
lr-02-03	25.2
lr-28-29	
lr-29-30	



Name	Value
opis	las-iglast
01-VZA	22
02-VZA	18
03-VZA	25
28-VZA	33
29-VZA	32
30-VZA	35
01-VAA	-68
02-VAA	-110
03-VAA	-151
28-VAA	99
29-VAA	72
30-VAA	46
01-FAZ	41
02-FAZ	53
03-FAZ	68
28-FAZ	58
29-FAZ	45
30-FAZ	30
b-01-30	531.3
b-01-29	284.8
b-01-28	213.9
b-02-28	310.3
b-02-29	381.2
b-02-30	627.7
opis-szorst	niekierunkowa
SD-szorstk	0.5856
b-01-02	96.4
b-01-03	43.2
b-02-03	53.2
b-28-29	70.9
b-28-30	-317.4
b-29-30	246.5
g-01-02	78.9
g-02-03	56.8
g-28-29	88.7
g-29-30	256.2
r-01-02	71.8
r-02-03	55.0
r-28-29	60.8
r-29-30	193.8
lr-01-02	96.2
lr-02-03	64.8
lr-28-29	132.6
lr-29-30	299.6



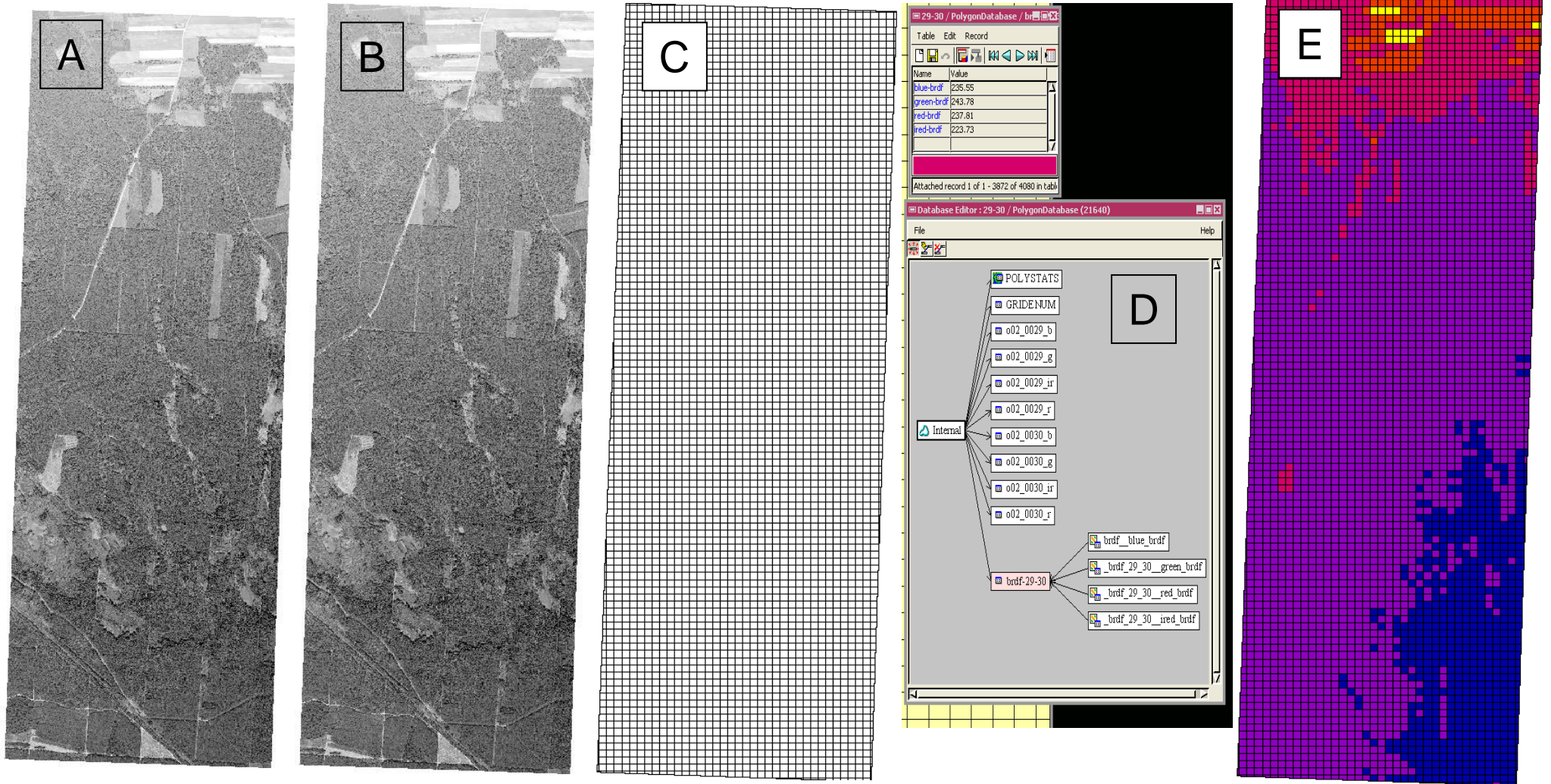


Name	Value
lopis	szkolka-gl
01-VZA	24
02-VZA	19
03-VZA	25
28-VZA	31
29-VZA	31
30-VZA	34
01-VAA	-69
02-VAA	-108
03-VAA	-148
28-VAA	100
29-VAA	71
30-VAA	44
01-FAZ	41
02-FAZ	53
03-FAZ	68
28-FAZ	57
29-FAZ	44
30-FAZ	29
b-01-30	1047.8
b-01-29	613.9
b-01-28	478.8
b-02-28	593.4
b-02-29	728.5
b-02-30	1162.4
lopis-szorst	kierunkowa
SD-szortski	0.1468
b-01-02	114.6
b-01-03	55.2
b-02-03	59.4
b-28-29	135.1
b-28-30	-569.0
b-29-30	433.9
g-01-02	89.2
g-02-03	65.2
g-28-29	188.4
g-29-30	461.5
r-01-02	89.6
r-02-03	71.1
r-28-29	168.9
r-29-30	491.8
lr-01-02	102.5
lr-02-03	83.2
lr-28-29	154.5
lr-29-30	256.4

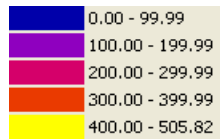


- Zmiany jasności wskutek zmiany pozycji kamery dla wyznaczonych obiektów zmieniały w czterech kanałach spektralnych się od 3DN (0, 07% do 29% zakresu rozdzielczości radiometrycznej (12-bit) do 1162DN (28%), średnio 128 DN (3 %,);
- dla całego bloku zdjęć lotniczych (131 zdjęć) średnio 95% wszystkich pikseli mieści się w zakresie 1200 jednostek DN, w tym kontekście średnie zmiany jasności wskutek zmiany pozycji kamery na kolejnych zdjęciach stanowią już średnio 10% a nie 3% (w odniesieniu do pełnego zakresu rozdzielczości radiometrycznej).
- Największe różnice jasności w poszczególnych dotyczą zmiany pozycji obserwacji z dosłonecznej na odsłoneczną. Taka sytuacja występuje przy porównaniu jasności tego samego obiektu na zdjęciach z dwóch sąsiednich szeregów. Na powierzchni odkrytej gleby stwierdzono dwukrotnie większe bezwzględne zmiany wartości DN niż na powierzchni lasu liściastego.

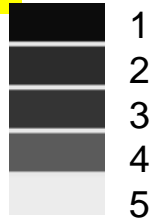
Analiza zmian jasności w polach podstawowych



Zróżnicowanie jasności w obszarze wspólnym dwóch kolejnych zdjęć szeregu wynikające ze zmiany położenia kamery (zmiana warunków obserwacji i oświetlenia – BRDF)



02-03



S1

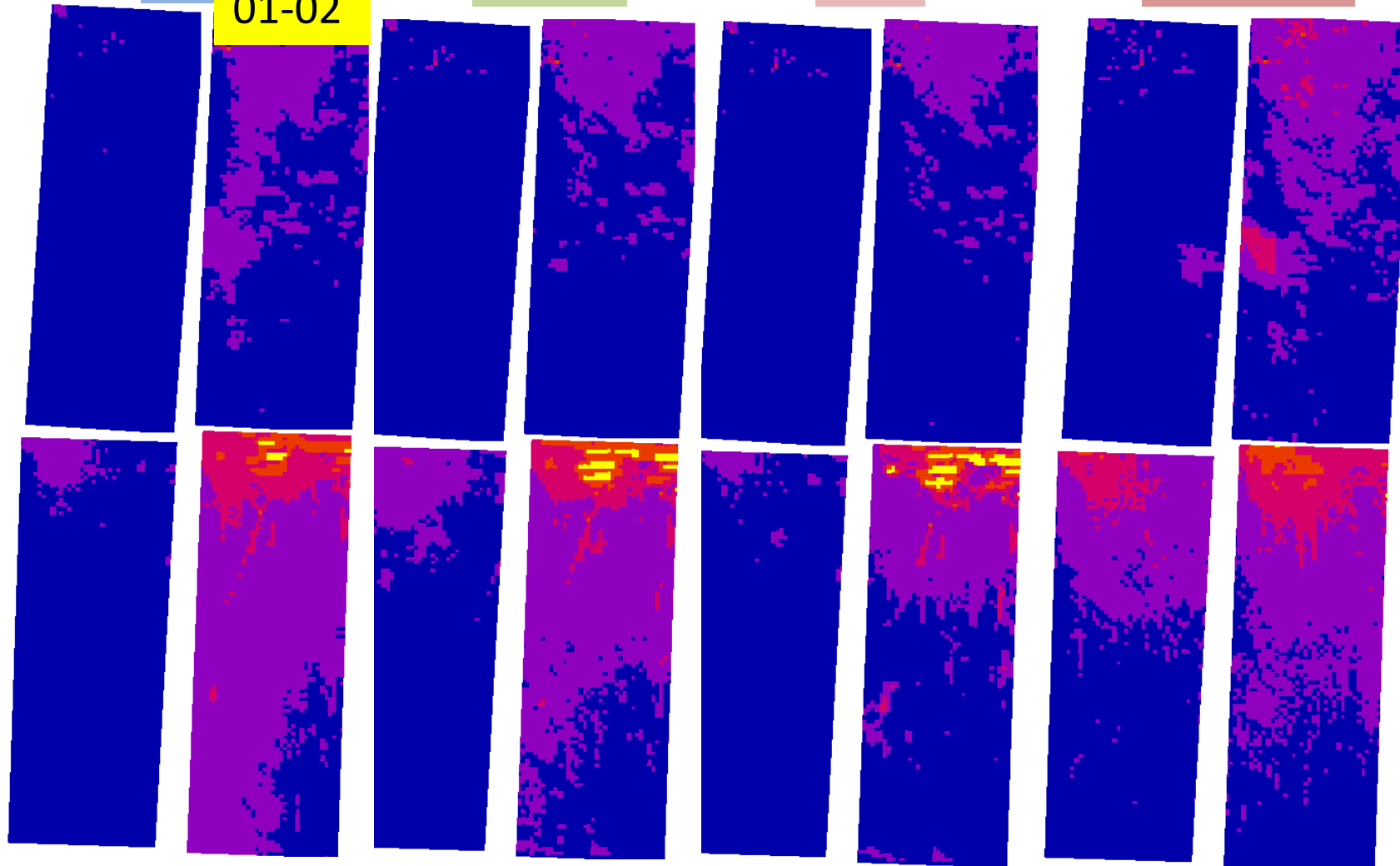
Blue

01-02

Green

Red

Infra-Red



28-29

29-30

S2



WNIOSKI dotyczące wielkości wpływu obydwu zjawisk na rozkład jasności w płaszczyźnie zdjęcia

Wpływ układu optycznego o stożkowym polu widzenia na gęstość optyczną fotografowanych powierzchni piaszczystych, określony kątem q_p mierzonym pomiędzy osią optyczną kamery a kierunkiem do dowolnego punktu na zdjęciu, może być znaczący.

Naturalne powierzchnie piaszczyste, odfotografowane kamerą lotniczą RMK A 15/23 z 153 mm obiektywem PLAEGON A, przy kącie $\theta_p = 39^\circ$, wykazały wzrost gęstości optycznej po korekcji wpływu układu optycznego o 0,28D w kanale czerwonym i zielonym, o 0,35D w kanale niebieskim oraz o 0,31D w pełnym zakresie widzialnym. Taki wzrost gęstości optycznej odpowiada średnio 66% zakresu skorygowanej jasności powierzchni piaszczystych w poszczególnych kanałach spektralnych przed korekcją i 99% po korekcji.

Skorygowana gęstość optyczna (D) powierzchni piaszczystych zależy przede wszystkim od kąta padania promieni słonecznych (γ_i).

Zależność ta wyraża się funkcją cosinus odpowiednio modyfikowaną. Zgodnie z przebiegiem tej funkcji, spadek gęstości optycznej następuje słabiej dla niskich wartości kąta γ_i , a silniej dla wysokich wartości tego kąta.

Dla powierzchni piaszczystych o szorstkości kształtowanej tylko przez ziarna piasku, przy kącie padania promieni słonecznych (γ_i) zmieniającym się od 9° do 55° i obserwowanych w płaszczyznach zbliżonych do głównej płaszczyzny słonecznej, wzrost kąta obserwacji (γ_v) o 30° powoduje wzrost gęstości optycznej nie przekraczający 0,02D we wszystkich kanałach spektralnych. Stanowi to około 7% zakresu skorygowanej gęstości optycznej wyznaczonej dla tych powierzchni.



Wiedza dla Eksperta

www.wiedzadlaeksperta.pl