

Katarzyna Kwiecień

Projektowanie zdjęć lotniczych dla celów pomiarowych

Acta Scientifica Academiae Ostroviensis nr 30, 33-43

2008

Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

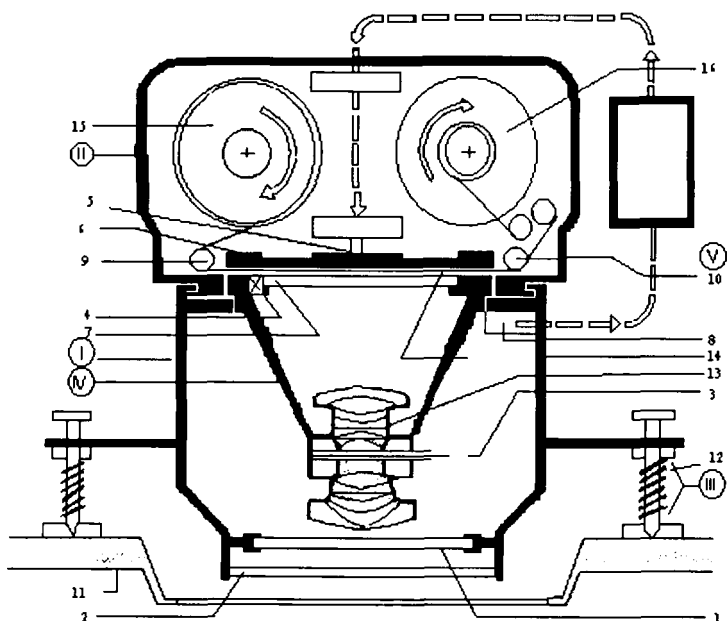
Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

Katarzyna Kwiecień

PROJEKTOWANIE ZDJĘĆ LOTNICZYCH DLA CELÓW POMIAROWYCH

Zdjęcie lotnicze jest to zdjęcie wycinka terenu robione z powietrza za pomocą odpowiednich kamer lotniczych. Zdjęcia lotnicze pojawiły się wraz z udoskonaleniem fotografii i wynalezieniem samolotu na początku XX wieku. Od tego czasu poprawiła się technika wykonywania zdjęć lotniczych. Kamery lotnicze wyposażone są w wysokiej jakości obiektywy skonstruowane specjalnie dla celów fotogrametrii lotniczej. Dzięki nim uzyskuje się zdjęcia wysokiej jakości, które umożliwiają dokonywanie dokładnych pomiarów odfotografowanych obiektów. Na zdjęciach wykonywanych z samolotu można zmierzyć obiekty o rozmiarach ok. 2 m. Współczesna kamera lotnicza składa się z następujących zespołów:

- ✓korpusu,
- ✓kasety,
- ✓podwieszenia,
- ✓stożka obiektywowego,
- ✓urządzenia sterującego pracą kamery.



Objaśnienia do rysunku:

I - korpus kamery, II - kasetta, III – podwieszenie, IV - stożek obiektywowy, V - urządzenie sterujące, 1- filtr, 2- szyba ochronna, 3- migawka i przysłona, 4- blok wskaźników, 5- urządzenie służące do wyrównywania i dociskania filmu, 6- płyta dociskowa, 7- płyta wyrównawcza, 8- mechanizm regulujący pracę kasety, 9, 10- rolki prowadzące film, 11- podłoga samolotu, 12- amortyzator, 13- obiektyw, 14- płaszczyzna ramki tłowej, 15, 16- szpule transportowe.

Zdjęcia lotnicze dostarczają wielu informacji o rozmieszczeniu i rozmiarach obiektów występujących na powierzchni Ziemi, oraz informacji o ich cechach. Na podstawie analizy zdjęcia można określić np.: rodzaj roślinności, stopień zanieczyszczenia wód, gatunki roślin, obszar występowania niektórych złóż mineralnych, itp.

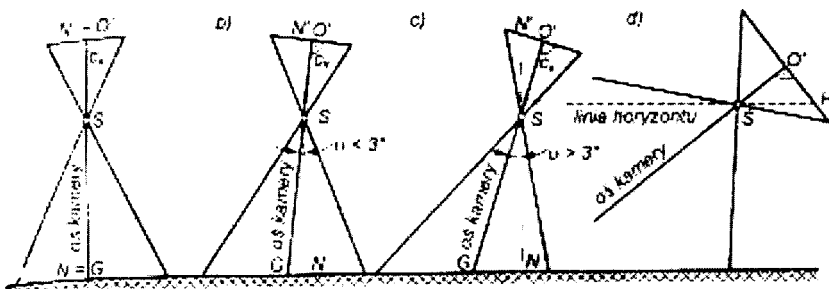
Zdjęcia lotnicze w zależności od położenia osi kamery podzielić można na:

zdjęcia pionowe - posiadają pionową oś optyczną i poziome położenie ramki tłowej. Dla terenu płaskiego i poziomego zdjęcia te charakteryzują się jednakową skalą na całej powierzchni,

zdjęcia prawie pionowe – posiadają oś odchyloną od linii pionu nie więcej niż 3° ,

zdjęcia nachylone – posiadają oś odchyloną od linii pionu o kąt większy od 3°

zdjęcia ukośne – posiadają oś optyczną odchyloną od linii pionu o kąt, taki że w polu widzenia kamery jest widoczna linia horyzontu.



W zależności od przeznaczenia zdjęć, zasięgu i kształtu fotografowanego obiektu wykonuje się:

- ✓zdjęcia pojedyncze - znajdują swe zastosowanie w przypadku, gdy cały obiekt odwzoruje się na jednym zdjęciu np.: mosty, obiekty archeologiczne, małe obiekty przemysłowe,
- ✓zdjęcia szeregowe - gdy wydłużony obiekt pokrywany jest jednym szeregiem zdjęć,
- ✓zdjęcia zespołowe - gdy rozległy obiekt pokrywany jest równoległymi częściowo zachodzącymi na siebie szeregami zdjęć, tworzącymi zespół zdjęć.

Zdjęcia lotnicze projektuje się dla następujących zadań:

- ✓opracowania map sytuacyjnych,
- ✓tworzenia bazy danych topograficznych,
- ✓aktualizacji istniejących map,
- ✓budowy numerycznego modelu terenu,
- ✓sporządzania ortofotomap,
- ✓założenia szczegółowej geodezyjnej osnowy metodami fotogrametrycznymi.

Duże znaczenie dla kosztów wykonania zdjęć oraz ich przydatności a także późniejszego opracowania ma skala oryginalnego zdjęcia.

Im skala większa, tym większa może być dokładność opracowania. Wiąże się to jednak z większą ilością wykonania i opracowania liczby zdjęć pokrywających obszar, co zwiększa koszty opracowania. Dla zadanej skali mapy należy wybrać najmniejszą skalę, która zapewni osiągnięcie dokładności opracowania. Zależność tą określa wzór Otto Grubera

$$m = c \sqrt{M}$$

gdzie:

c - współczynnik empiryczny,

M – mianownik skali opracowywanej mapy,

m – mianownik skali zdjęcia.

Współczynnik empiryczny zależy od przyjętej technologii opracowania mapy, jakości zdjęć, precyzji sprzętu. Obecnie wykonuje się opracowania map w skalach 1:2000, 1:1000, 1:500. Lot fotogrametryczny projektuje się tak, aby szeregi zdjęć były zsynchronizowane z ramkami sekcyjnymi map. Relacje pomiędzy skalą opracowania, a skalą zdjęć dla map wielkoskalowych są następujące:

Dla mapy 1:500 $m = 2500\ 3000$

Dla mapy 1:1000 $m = 4000\ 5000$

Dla mapy 1:2000 $m = 8000$

Dla mapy 1:5000 $m = 18000$

Przybliżone relacje dokładnościowe:

- a) błąd wysokościowy opracowania jest wprost proporcjonalny do wysokości z której wykonano zdjęcie,
- b) błąd sytuacyjny opracowania jest odwrotnie proporcjonalny do skali zdjęcia,
- c) dokładność sytuacyjna i wysokościowa uzyskana w procesie aerotriangulacji wynosi:
 - błąd wysokościowy $m_z = \pm 0.08\ ‰$ wysokości fotografowania, kamery normalnokątne i szerokokątne, $m_z = \pm 0.10\ ‰$ wysokości fotografowania, kamery nadszerokokątne
 - błąd sytuacyjny $m_{X,Y} = \pm 8\ \mu\text{m}$ w skali zdjęcia
- d) dokładność wysokościowa warstwy kreślonej bezpośrednio na autografie $m_z = \pm 0.3\ ‰$ wysokości fotografowania
- e) dokładność budowy Numerycznego Modelu Terenu, czyli średni błąd wysokości interpolowanych w dowolnym punkcie w oparciu o NMT, $m_z = \pm 0.2\ 0.4\ ‰$ wysokości fotografowania

Projektowanie wysokości fotografowania

Wysokość fotografowania określa się względem średniej płaszczyzny obszaru fotografowania. Wysokość ustala się dla zaprojektowanej skali i wybranego obiektywu kamery według zależności:

$$W = fM_z$$

M_z – mianownik skali zdjęcia

W – wysokość fotografowania względem średniej płaszczyzny obszaru

f – ogniskowa kamery

Dla terenów lekko pofałdowanych i równinnych określa się jedną wysokość średniej płaszczyzny obszaru

$$H_{sr} = 1/2 (H_{max} + H_{min})$$

H_{max} , H_{min} – elementarne wysokości w terenie odczytane z map

Dla terenów pofałdowanych wysokość określa się oddzielnie dla każdego szeregu, wysokość średnią określa wzór

$$H_{sr} = H_{max} - 1/3 (H_{max} - H_{min})$$

Projektowanie kierunku osi szeregów i podział obszaru na rejon

Obszar opracowania pokrywa się częściowo zachodzącymi na siebie oraz równoległymi szeregami zdjęć. Kierunek szeregów projektuje się po liniach wschód-zachód lub północ-południe. Wybór jednego z tych kierunków zależy od kształtu obszaru. Kierunek wschód-zachód wybiera się jeśli obszar ma zwarty kształt, a inne względy nie preferują żadnego z tych dwóch kierunków. W terenach górskich szeregi projektuje się równoległe do dominującego kierunku układu grzbietów górskich i dolin. Dla obiektów o wydłużonym kształcie (szlaki komunikacyjne, rurociągi, koryta rzek) które są pokrywane jednym szeregiem zdjęć, szereg projektuje się wzdłuż osi obiektu. Natomiast gdy obiekt jest krzywoliniowy, to jest pokrywany prostoliniowymi szeregami zdjęć, aby cały obszar miał pokrycie stereoskopowe. Duże obszary dzieli się na rejon prac, jako kryteria podziału przyjmuje się :

- dopuszczalną długość szeregów
- dopuszczalne deniwelacje w rejonie
- wydajność prac fotolotniczych

Granice rejonów powinny przebiegać wzdłuż podziału sekcyjnego map. Wielkość rejonu powinna być taka, żeby cały rejon mógł być pokryty zdjęciami w czasie jednej misji. Długość rejonu powinna być taka, aby zdjęcia w sąsiednich szeregach mogły być wykonane w odstępie czasu nie przekraczającym 0.5 godziny.

Projektowanie pokrycia podłużnego i poprzecznego

Pokrycie poprzeczne q

Określa pokrycie zdjęć między sąsiednimi szeregami, wyrażone w procentach, potrzebne dla późniejszego połączenia szeregów w spójny blok zdjęć. Rzeczywiste pokrycie może odbiegać od projektowanego z następujących powodów:

- nachyleń kamery,
- deniwelacji,
- błędów pilotażowo-nawigacyjnych.

Podczas fotografowania terenów pofałdowanych pokrycie poprzeczne trzeba zwiększyć o wpływ rzeźby terenu. Wówczas pokrycie powinno wynosić około:

$$q [\%] = q_0 [\%] + 70 (\Delta H / W) [\%]$$

gdzie:

q_0 - standartowe pokrycie

ΔH - maksymalne deniwelacje występujące w szeregu, liczone względem średniej płaszczyzny danego obszaru

Pokrycie poprzeczne w szczególnych przypadkach może odbiegać od standardowego, może to mieć miejsce w następujących przypadkach:

- zwiększonego pokrycia do 60% dla opracowań o podwyższonej dokładności,
- zwiększonego pokrycia dla zsynchronizowania przebiegu osi szeregu z podziałem sekcyjnym map,
- zwiększonego pokrycia w konsekwencji projektowania zdjęć celowych nad arkuszami opracowywanych map.

Pokrycie podłużne p

Zdjęcia wykonuje się tak, aby ich terenowe zasięgi częściowo się nakładały. Pokrycie zdjęć w szeregu musi być większe niż 50 %. Znaczy to, że występują pasy potrójnego pokrycia, czyli pasy zobrazowane na trzech kolejnych zdjęciach. Pełni on ważną rolę w dalszym opracowaniu fotogrametrycznym, wybiera się punkty przejściowe które wiążą zdjęcia w blok w procesie aerotriangulacji.

Bazą na zdjęciu nazywamy odległość między punktem głównym zdjęcia, a obrazem punktu głównego zdjęcia sąsiadującego.

Dla zdjęć prawie pionowych obszaru równinnego długość bazy wyznacza się z następującego wzoru:

$$b_x = l (100 - p) / 100$$

gdzie:

b_x – długość bazy podłużnej wyrażona w skali zdjęcia,

l – długość boku zdjęcia

p – pokrycie podłużne zdjęć wyrażone w procentach.

Rzeczywiste pokrycie może różnić się od planowanego z następujących powodów:

- błędów pilotażowo-nawigacyjnych,
- deniwelacji,
- nachyleń kamery.

Podczas fotografowania terenów pofałdowanych, pokrycie należy zwiększyć o wpływ rzeźby terenu, wówczas pokrycie będzie wynosić:

$$p [\%] = p_o [\%] + 50 (\Delta H / W) [\%]$$

gdzie:

p_o - zasadnicze pokrycie

ΔH - maksymalne deniwelacje występujące w szeregu, liczone względem średniej płaszczyzny danego szeregu

Pokrycie podłużne standardowo wynosi 60%, jednak w szczególnych przypadkach pokrycie może odbiegać od pokrycia standardowego. Może mieć to miejsce w przypadkach:

- zwiększenia pokrycia do około 80 -90 % dla uzyskania zdjęć celowanych nad arkuszami opracowywanych map,
- zwiększenie pokrycia o 80 % dla uzyskania dwóch oryginalnych kompletów zdjęć o standartowym pokryciu,
- zwiększonego pokrycia do około 70 % w przypadku fotografowania miast z wysoką zwartą budową.

Wybór stożka kamery pomiarowej

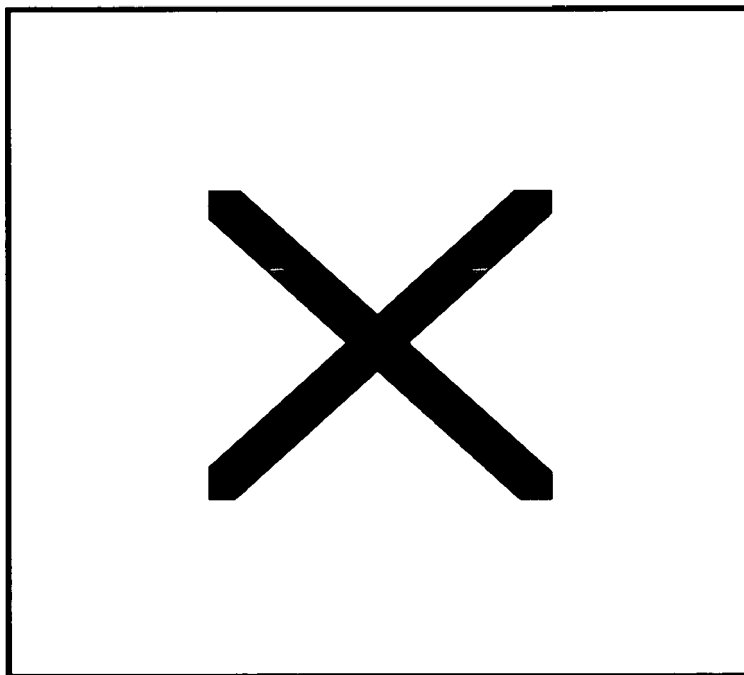
Przy wyborze stożka należy uwzględnić:

- rodzaj opracowania,
- uwarunkowania techniczne,
- typ i ukształtowanie terenu,
- zakładaną dokładność opracowania wysokościowego.

Z wyborem stożka kamery wiąże się występowanie martwych pól, czyli obszarów zasłoniętych przeszkodami i niemożliwych do opracowania stereoskopowego. Powierzchnie te zależą od kąta rozwarcia obiektywu i wysokości przeszkody. Dlatego też stożki normalnokątne stosuje się dla terenów wysokogórskich i terenów miejskich z zabudową wielokondygnacyjną.

Sezon lotniczy trwa od pierwszego marca do trzydziestego listopada. Największe prawdopodobieństwo wystąpienia bezchmurnego nieba w sezonie fotografowania występuje nad województwami wschodnimi i centralnymi. Poniższy rysunek przedstawia wskaźnik pogodowego nieba w okresie marzec-listopad.

Podstawą wykonania zdjęć lotniczych jest projekt lotu, który zawiera warunki techniczne niezbędne do wykonania prac fotolotniczych. Projekt składa się z dwóch części - obliczeniowej oraz graficznej.



Podstawą wykonania zdjęć lotniczych jest projekt lotu, który zawiera warunki techniczne niezbędne do wykonania prac fotolotniczych. Projekt składa się z dwóch części - obliczeniowej oraz graficznej.

Część obliczeniowa

Zawiera podstawowe parametry fotogrametryczne, takie jak:

- rodzaj tworzonej mapy oraz metody jej opracowania,
- obrys opracowywanego obiektu na mapie,
- lokalizacje lotnisk z których będzie startował samolot,
- założenia projektowe wynikające z ustalonych metod opracowania map, takie jak: pokrycie podłużne i poprzeczne, skala mapy, format zdjęć i ogniskowa kamery, okres wykonania lotu,
- odstęp między osiami szeregów,
- wysokość fotografowania,
- liczbę zdjęć w szeregu.

Wzory oraz oznaczenia niezbędne do wykonania projektu lotu:

1. Skala zdjęcia

$$1 : Mz = f : W$$

Mz – mianownik skali zdjęcia

f - ogniskowa kamery

W – wysokość fotografowania

2. Wysokość fotografowania

$$W = fMz$$

3. Terenowy zasięg zdjęcia

$$L = lMz$$

l - długość boku zdjęcia

4. Baza podłużna

$$B_x = L(100 - p) / 100$$

p - pokrycie podłużne

5. Baza poprzeczna

$$B_y = L(100 - q) / 100$$

q - pokrycie poprzeczne

6. Stosunek bazowy

$$v = B_x / W$$

b_x – długość bazy podłużnej wyrażona w skali zdjęcia

7. Wysokość absolutna lotu

$$H_o = W + H_{sr}$$

H_{sr} – średnia wysokość obszaru fotografowania, odniesiona do poziomu morza

8. Wysokość lotu względem lotniska

$$W_{lot} = W + H_{sr} - H_{lot}$$

H_{lot} – wysokość lotniska, z którego wykonuje się nalot

9. Terenowa powierzchnia zdjęcia

$$P_t = L^2$$

10. Terenowa powierzchnia modelu stereoskopowego

$$P_m = (L - B_x)L$$

11. Powierzchnia użyteczna modelu

$$P = B_x B_y$$

12. Liczba zdjęć w szeregu

$$N_x = (D_x / B_x) + 5$$

D_x – długość obszaru fotografowania

13. Liczba szeregów

$$N_y = D_y / B_y$$

D_y – szerokość obszaru fotografowania

14. Całkowita liczba zdjęć w rejonie

$$N = N_x N_y$$

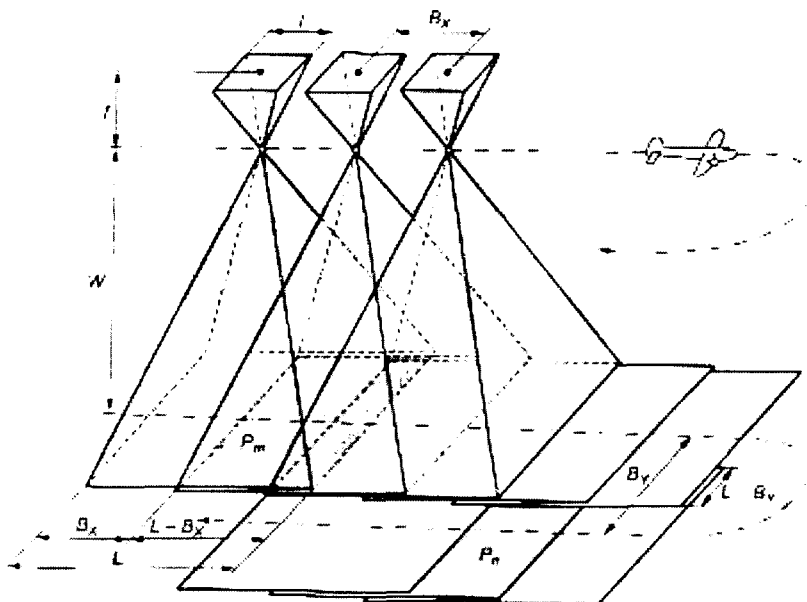
N_x – liczba zdjęć w szeregu

N_y – liczba szeregów zdjęć

15. Interwał czasu między ekspozycjami

$$\Delta t = B_x / v$$

Rysunek przedstawia parametry geometryczne zdjęć lotniczych

Część graficzna

Część graficzną sporządza się na mapach, na których nanosi się osie szeregów, przedłużając je poza granice fotografowanego obiektu, aby zapewnić załodze samolotu wlot na obiekt zgodny z projektem. Długość wlotów i wylotów zależy od skali mapy na której projektuje się lot. Przy opracowywaniu map topograficznych i zasadniczych osie nalotów powinny przebiegać przez środki sekcji map w kierunku wschód-zachód i północ-południe. Wybiera się jeden kierunek, który pozwala pokryć obiekt najmniejszą liczbą szeregów zdjęć.

Na mapę nanosi się:

1. Granice obszaru, kolorem zielonym, ciągłą linią o grubości 1 mm.
2. Granice rejonu (w przypadku podziału na rejony), kolorem zielonym, przerywaną linią o grubości 1 mm.
3. Osie szeregów linią ciągłą o grubości 0,3 mm.
4. Granice sekcji opracowywanej mapy, kolorem niebieskim, ciągłą linią o grubości 0,2 mm.
5. Numerację szeregów z północy na południe lub z zachodu na wschód, czerwonymi cyframi o wysokości 6 mm.
6. Znaczkę włączenia i wyłączenia kamery, kolorem niebieskim, ciągłą linią, o grubości 1 mm prostopadle do osi szeregu.

Literatura:

1. Kurczyński Z., *Lotnicze i satelitarne obrazowanie Ziemi*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2006.
2. Kurczyński Z., Preuss R., *Podstawy fotogrametrii*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2003.