

# Mariusz Rojek

---

## Projektowanie zdjęć lotniczych dla celów pomiarowych

---

Acta Scientifica Academiae Ostroviensis nr 34, 49-56

---

2010

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](http://bazhum.muzhp.pl), gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

Mariusz Rojek

## Projektowanie zdjęć lotniczych dla celów pomiarowych

### 1. Wstęp

Historia rozwoju obrazowania powierzchni Ziemi z powietrza ściśle przeplata się z historią rozwoju fotografii oraz historią rozwoju lotnictwa. Samolot bowiem był i nadal pozostaje podstawowym nosicielem aparatury fotograficznej. W czasach współczesnych fotograficzne możliwości rejestracji zostały uzupełnione o inne – nefotograficzne – techniki, a pułap, z którego prowadzone jest obrazowanie, rozszerzył się o możliwość obrazowania z bliskiej przestrzeni kosmicznej.

W okresie międzywojennym w Polsce zdjęcia lotnicze były wykonywane przez Samodzielny Referat Fotogrametryczny Wojskowego Instytutu Geograficznego. Zdjęcia te służyły opracowaniom zarówno pomiarowym jak i wojskowym. W początkach lat dwudziestych opracowano m.in. fotoplany w skali 1:10000 wzdłuż granicy polsko-radzieckiej, które posłużyły do prac delimitacyjnych. Podobne opracowania wykorzystano wzdłuż granicy rumuńskiej.

W okresie II wojny światowej nastąpił dalszy rozwój fotografii lotniczej, głównie na potrzeby rozpoznania wojskowego. Według danych amerykańskich, 80% informacji o bombardowanych obiektach pochodziło ze zdjęć lotniczych, a dla niektórych operacji wojskowych ten udział wynosił nawet ponad 90%. Po wojnie weszły w użycie barwne zdjęcia lotnicze w zakresie widzialnym i w podczerwieni. Zaczęto używać także nefotograficznych systemów obrazowania powierzchni Ziemi, w tym technik skanowania, obrazujących w zakresie widzialnym i podczerwieni termalnej oraz technik radarowych wykorzystujących zakres mikrofalowy.

### 2. Rodzaje zdjęć lotniczych

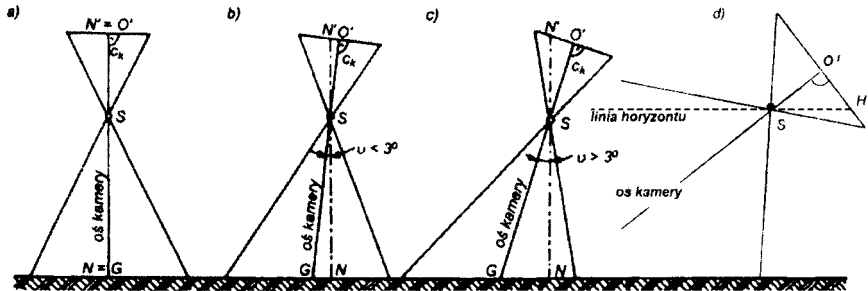
Ze względu na przeznaczenie zdjęć można je podzielić na:

- topograficzne tj. przeznaczone dla różnych zadań pomiarowych;
- nietopograficzne (np. rekonesansowe, reklamowe, inne).

Ze względu na orientację osi kamery można wyróżnić:

- zdjęcia pionowe – są to zdjęcia o pionowej orientacji osi optycznej i poziomym ułożeniu ramki tłowej;
- zdjęcia prawie pionowe – to typowe zdjęcia lotnicze wykorzystywane obecnie w opracowania fotogrametrycznych;
- zdjęcia nachylone i ukośne - zdjęć tych praktycznie nie wykonuje się dla opracowań pomiarowych. Zdjęcia takie, dzięki nachylonej osi, dają

lepszy „wgląd” w teren, szczególnie w terenie o urozmaiczonej rzeźbie terenu są wykonywane na różne potrzeby interpretacyjne (rys. 1).



Rys. 1. Rodzaje zdjęć ze względu na orientację osi kamery

Ze względu na sposób pokrycia obiektu zdjęciami można wyróżnić:

- zdjęcia pojedyncze, gdy cały interesujący obiekt odwzorowuje się na jednym zdjęciu,
- zdjęcia szeregowe, gdy wydłużony obiekt (np. szlak drogowy, szlak kolejowy, koryto rzeki) pokrywany jest jednym szeregiem zdjęć,
- zdjęcia zespołowe, gdy rozległy obiekt pokrywany jest równoległymi, częściowo zachodzącymi na siebie szeregami zdjęć, tworzącymi zespół zdjęć (inaczej blok zdjęć).

Dla opracowań mapowych i innych opracowań pomiarowych wykorzystuje się praktycznie tylko zdjęcia prawie pionowe, zespołowe lub – dla obiektów wydłużonych – zdjęcia szeregowe.

Zdjęcia lotnicze projektuje się dla określonego zadania lub zadań pomiarowych. Przykładami takich typowych obecnie zadań mogą być:

- opracowanie map sytuacyjnych, czy sytuacyjno-wysokościowych o określonej dokładności sytuacyjnej i wysokościowej oraz określonym zakresie treści,
- aktualizacja istniejącej mapy,
- tworzenie bazy danych topograficznych,
- sporządzanie ortofotomap,
- budowa numerycznego modelu terenu (NMT) lub numerycznego modelu pokrycia terenu (NMPT),
- opracowanie przestrzennego modelu miasta (tzw. model 3D miasta) czy przestrzennego modelu krajobrazu,
- modernizacja ewidencji gruntów i zakładanie ewidencji budynków z zastosowaniem metod fotogrametrycznych,
- założenie szczegółowej geodezyjnej osnowy metodami fotogrametrycznymi.

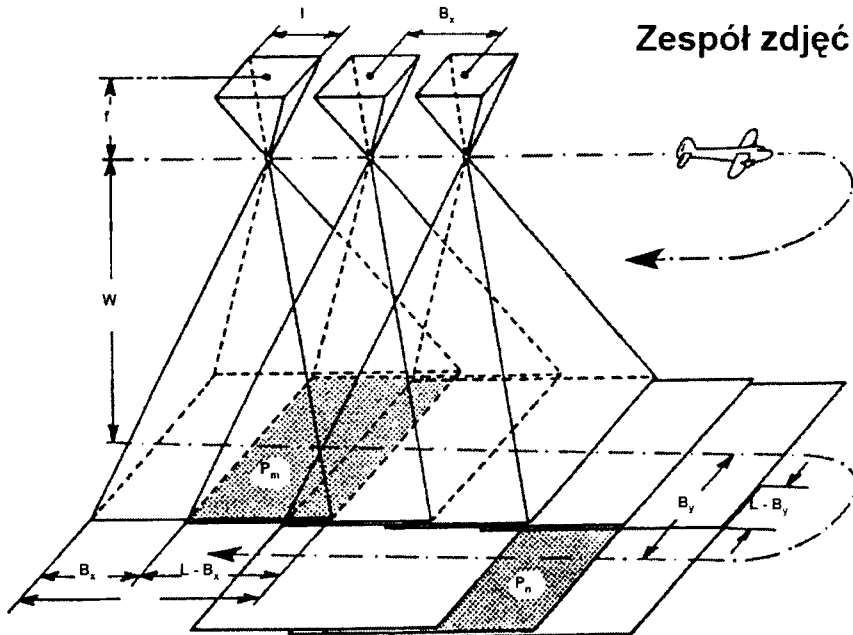
### 3. Projekt lotu fotogrametrycznego

Obszar, który ma być pokryty zdjęciami fotografuje się równoległymi szeregami zdjęć. Zarówno zdjęcia w szeregu jak i szeregi między sobą częściowo się pokrywają. Taki zbiór składający się z kilku szeregów jednorodnych geometrycznie zdjęć pokrywający spójny powierzchniowo obszar nazywamy zespołem zdjęć lotniczych (rys.2). Podstawą wykonania zdjęć lotniczych jest projekt lotu fotogrametrycznego, zawierający warunki techniczne wykonania prac fotolotniczych. Etap projektowania zdjęć lotniczych obejmuje wybór podstawowych parametrów geometrycznych zdjęć.

Zasadnicze znaczenie dla przydatności planowanych zdjęć oraz kosztów ich wykonania i późniejszego opracowania ma:

- wybór skali projektowanych zdjęć,
- wybór stożka obiektywowego kamery pomiarowej,
- określenie kierunku szeregów zdjęć i podział obszaru na rejony,
- wybór pokrycia podłużnego i poprzecznego zdjęć,
- wybór filmu fotolotniczego.

Projekt lotu składa się z części obliczeniowej i graficznej. Część obliczeniowa zawiera wybór podstawowych parametrów fotogrametrycznych projektowanych zdjęć. Część graficzną projektu sporządza się na mapach, na które nanosi się elementy graficzne lotu fotogrametrycznego, uzupełnione tabelami i opisami.



Rys. 2 Zespół zdjęć lotniczych

#### 4. Projektowanie kierunku osi szeregów i podział obszaru na rejony

Obszar opracowania pokrywa się równoległymi, częściowo zachodzącymi na siebie, szeregami zdjęć. Kierunek tych szeregów projektuje się po liniach wschód-zachód lub północ-południe. Wybór jednego z tych kierunków zależy od kształtu obszaru; dla zminimalizowania liczby szeregów wybiera się zwykle kierunek równoległy do dłuższej osi obszaru.

Jeżeli obszar ma zwarty kształt a inne względy nie preferują żadnego z tych dwóch kierunków, to obiera się kierunek wschód-zachód. Ta preferencja wynika z dominującego kierunku oświetlenia i rozkładu światłocienia na powierzchni stereogramu. Przy okołopołudniowym położeniu Słońca i kierunku lotu północ-południe, obszar stereogramu na jednym ze zdjęć jest rejestrowany „pod światło”, a na drugim „ze światłem”. Powoduje to różnice niekorzystne przy obserwacji stereoskopowej. Przy kierunku wschód-zachód te różnice będą mniejsze.

W szczególnych przypadkach może być projektowany inny kierunek szeregów. Dzieje się tak np. w terenie górskim, gdzie szeregi zdjęć projektuje się równoległe do dominującego kierunku układu doliny i grzbietów górskich. Taki kierunek daje lepszy „wgląd” w fotografowany teren. Z tych samych

powodów projektuje się czasami kierunek szeregów równoległe do kierunku układu „głębokich” ulic w mieście z wysoką zabudową.

Dla obiektów o bardzo wydłużonym kształcie, jak np.: szlaki komunikacyjne, trakcje energetyczne, rurociągi, koryta rzek, pokrywane jednym szeregiem zdjęć, projektuje się szereg wzdłuż osi obiektu. Jeżeli obiekt jest krzywoliniowy, to pokrywa się go prostoliniowymi szeregami zdjęć tak, aby zapewnić pokrycie stereoskopowe dla całego obszaru.

Duże obszary fotografowania dzieli się na rejony prac. Jako kryteria podziału przyjmuje się:

- dopuszczalne deniwelacje w rejonie,
- dopuszczalną długość szeregów,
- wydajność praw fotolotniczych.

Obszar dzieli się na rejon tak, aby deniwelacja w rejonie nie przekraczała  $\pm 10\%$  wysokości fotografowania.

Granice rejonów powinny przebiegać wzdłuż granic podziału sekcyjnego map. Wielkość rejonu powinna być taka, aby przy danej wydajności prac lotniczych cały rejon mógł być pokryty zdjęciami w czasie jednej misji. Zaleca się tak określić długość rejonu, aby zdjęcia w sąsiednich szeregach mogły być wykonane w odstępie czasu nie przekraczających 0,5 godziny. Warunek ten należy zachować szczególnie w przypadku zdjęć przeznaczonych do produkcji ortofotomap (aby uniknąć łączenia zdjęć o różnym rozkładzie światłocienia spowodowanym różną wysokością słońca).

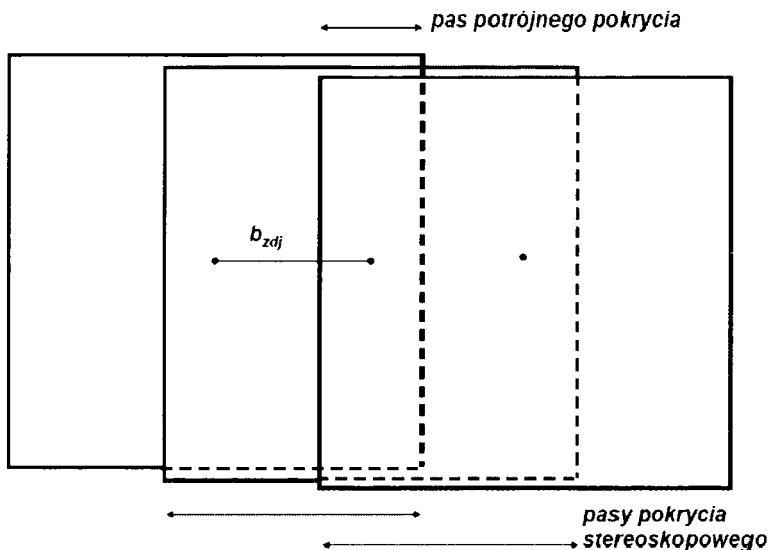
W szczególnych przypadkach można odstąpić od podziału na rejony wzdłuż podziału sekcyjnego. Dotyczy to przypadków, gdy o optymalnym podziale decydują czynniki zewnętrzne (np. dominujące kierunki rozmieszczenia pasm górskich i dolin, układ ulic z wysoką zabudową, pas graniczny itp.).

## **5. Projektowanie pokrycia podłużnego i poprzecznego zdjęć**

W projektowaniu zdjęć uwzględnia się pokrycie podłużne i poprzeczne zdjęć. Problem ten zostanie przedstawiony w p.5.1 i 5.2.

### **5.1. Pokrycie podłużne zdjęć**

Zdjęcia w szeregu wykonuje się tak, aby ich terenowe zasięgi częściowo nakładały się, mówi się, że występuje pokrycie podłużne zdjęć (rys. 3). Pokrycie to wyraża się zwykle w procentach. Dla opracowań przestrzennych wymagających efektu stereoskopowego, pokrycie zdjęć w szeregu musi być większe niż 50%, a standardowo wynosi 60%. Oznacza to, że występują tzw. pasy potrójnego pokrycia, tj. pasy zobrazowane na trzech kolejnych zdjęciach. Przechodząc na zdjęciu rozumie się odległość pomiędzy punktem głównym zdjęcia a obszarem punktu głównego sąsiedniego zdjęcia.



Rys. 3. Pokrycie podłużne zdjęć

Pas potrójnego pokrycia pełni ważną rolę w dalszych etapach opracowania fotogrametrycznego. Tu wybiera się punkty przejściowe wiążące zdjęcia w blok w procesie aerotriangulacji. Z tego powodu pas ten nie może być zbyt wąski. Rzeczywiste pokrycie podłużne zdjęć może różnić się od planowanego z powodów:

- deniwelacji,
- nachyleń kamery, szczególnie nachylenia podłużnego i skręcenia,
- błędów pilotażowo-nawigacyjnych, a w tym odstępstwa prędkości i wysokości lotu od wartości zadanych w interwałometrze lub błędów utrzymania „kresk” w półautomatycznym regulatorze pokrycia.

W przypadku fotografowania kamerą na podwieszeniu bez stabilizacji należy dodatkowo uwzględnić niepionowość osi kamery na wielkość pokrycia podłużnego przez zwiększenie projektowanego pokrycia podłużnego o:

- 2% dla kamer szerokokątnych,
- 4% dla kamer normalnokątnych.

W szczególnych przypadkach pokrycie podłużne zdjęć może odbiegać od standardowego. Może to mieć miejsce w przypadkach:

- a) zwiększonego pokrycia do około 70% w przypadku fotografowania miast z wysoką, zwartą zabudową,
- b) zwiększonego pokrycia do około 80-90% dla uzyskania zdjęć „celowanych” nad arkuszami opracowanych map,

- c) zwiększonego pokrycia do 80% dla uzyskania dwóch oryginalnych kompletów zdjęć o standardowym pokryciu,
- d) dla opracowań jednoobrazowych wystarczy pokrycie około 20%.

### 5.2. Pokrycie poprzeczne zdjęć

Osie szeregów planuje się w takiej odległości od siebie, aby wystąpiło między zasięgami zdjęć sąsiednich szeregów pokrycie, tzw. pokrycie poprzeczne. Jest ono konieczne dla późniejszego połączenia szeregów w spójny blok zdjęć.

Rzeczywiste pokrycie poprzeczne może odbiegać od projektowanego z powodów:

- deniwelacji,
- nachyleń kamery, szczególnie nachylenie poprzecznego i skrócenia,
- błędów pilotażowo-nawigacyjnych, w tym szczególnie odstępstwa od zaprojektowanej wysokości lotu i liniowego zejścia samolotu z projektowanej osi szeregu.

Pokrycie poprzeczne określa pokrycie zdjęć między sąsiednimi szeregami i wyrażane jest w procentach. Projektowane zasadnicze pokrycie poprzeczne zdjęć lotniczych wynosi standardowo:

- 30% dla fotografowania z wysokości mniejszej lub równej 1500 metrów,
- 25% dla fotografowania z wysokości większej niż 1500 metrów.

Przy fotografowaniu terenów pofałdowanych pokrycie poprzeczne należy zwiększyć o wpływ rzeźby terenu.

W przypadku fotografowania kamerą na podwieszeniu bez stabilizacji należy dodatkowo uwzględnić wpływ niepionowości osi kamery na wielkość pokrycia poprzecznego przez zwiększenie projektowanego pokrycia poprzecznego o:

- 2% dla kamer szerokokątnych,
- 4% dla kamer normalnokątnych.

W szczególnych przypadkach pokrycie poprzeczne może odbiegać od standardowego. Może to mieć miejsce w przypadkach:

- zwiększonego pokrycia dla zsynchronizowania przebiegu osi szeregów z podziałem sekcyjnym map,
- zwiększonego pokrycia w konsekwencji projektowania zdjęć „celowanych” nad arkuszami opracowanych map,
- zwiększonego pokrycia poprzecznego do 60% dla opracowań o podwyższonej poprawności, np. zakładania szczegółowej osnowy geodezyjnej metodami fotogrametrycznymi.



**Literatura:**

1. Kurczyński Z., *Lotnicze i satelitarne obrazowanie Ziemi*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2006.
2. Butowtt J, Kaczyński R, *Fotogrametria*, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 2003.
3. Wójcik S., *Zdjęcia lotnicze*, PPWK, Warszawa Wrocław 1989.