

Projekt lotu fotogrametrycznego

WSTĘP

W trakcie wykonywania nalotu fotogrametrycznego samolot leci wzdłuż linii prostej wykonując co pewną odległość zdjęcia (tak powstaje szereg zdjęć). Ponieważ na podstawie pojedynczego zdjęcia nie jest możliwe określenie przestrzennego położenia odfotografowanych na nim punktów, każdy fragment obszaru musi być sfotografowany co najmniej na dwóch zdjęciach. Pokrycie wzajemne dwu sąsiednich zdjęć (pokrycie podłużne) powinno wynosić minimum 50%, ale dla pewności (samolot nie leci nigdy w pełni stabilnie w związku z czym niektóre fragmenty terenu mogłyby się nie odfotografować na dwu zdjęciach) przyjmuje się 60%. *Czasami wykonuje się zdjęcia w celu opracowania fotomap metodą jednoobrazową. W tej metodzie informacje o pionowym ukształtowaniu terenu pochodzą z innego źródła niż projektowane opracowanie fotogrametryczne. Wystarczy wówczas, że opracowywany fragment terenu jest odfotografowany jedynie na jednym zdjęciu, zatem pokrycie podłużne wynosi przeważnie 20%.*

Jeśli jeden szereg nie obejmuje całego opracowywanego obszaru wykonuje się kilka równoległych do siebie szeregów. Wzajemne pokrycie sąsiednich szeregów (pokrycie poprzeczne) powinno wynosić minimum 25 - 30%. Ta stosunkowo duża wielkość pokrycia poprzecznego związana jest z trudną realizacją w trakcie lotu zaplanowanej osi lotu, ze względu na występujący boczny wiatr (znos i wygięcie osi szeregu). W nowoczesnych kamerach fotogrametrycznych posiadających możliwość wspomaganie nawigacji systemem GPS pokrycie poprzeczne może być mniejsze.

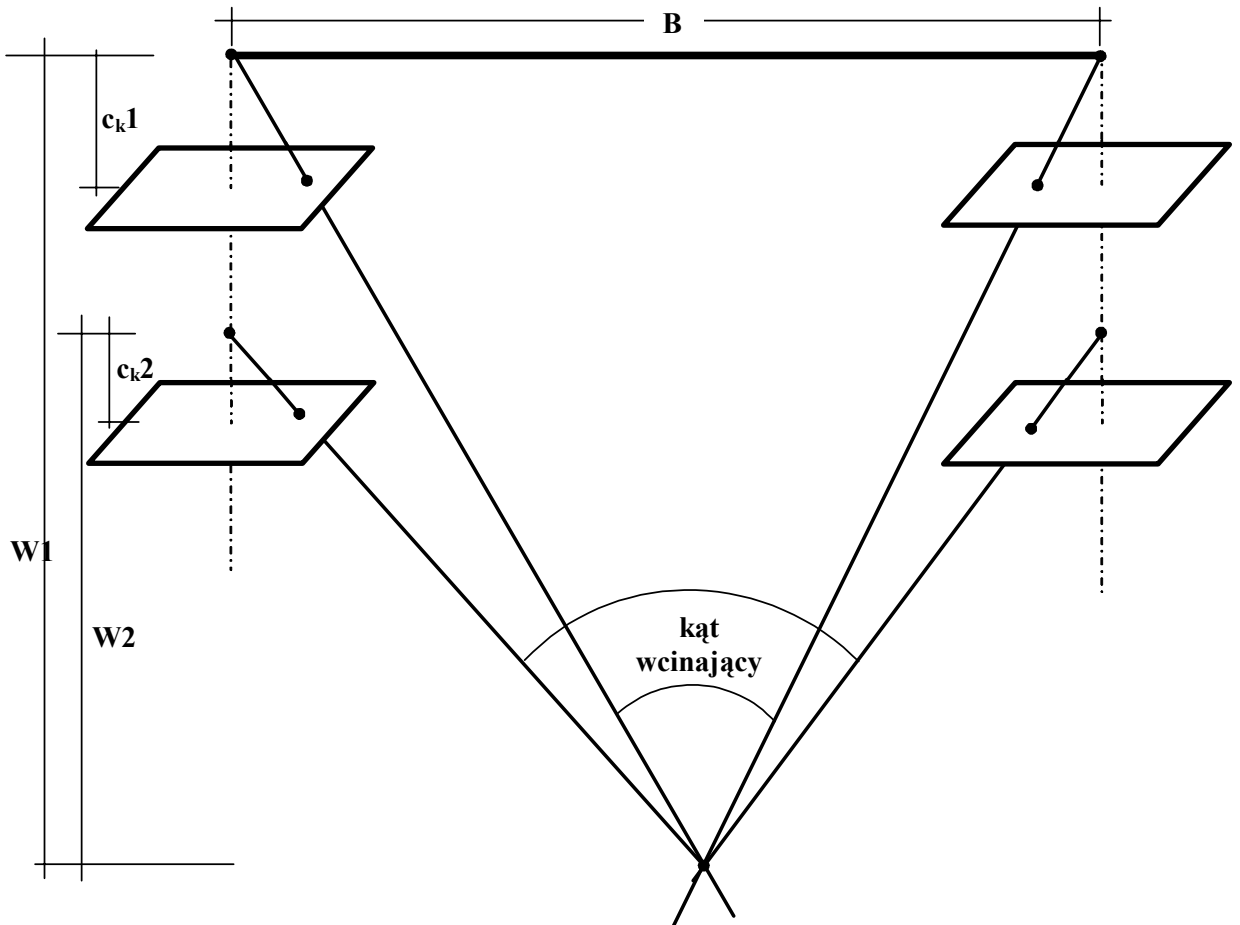
Podstawą do wykonania zdjęć lotniczych jest projekt lotu, zawierający szczegółowe dane dotyczące lotu fotogrametrycznego. Zawiera on obliczone parametry lotu oraz mapę topograficzną, na której zaznaczony jest przebieg osi lotu.

Obowiązujące zasady wykonywania projektu lotu zawarte są w Wytycznych technicznych K-2.7 „Zasady wykonywania prac fotolotniczych”(z 1999 r).

DLA WYKONANIA PROJEKTU NIEZBEDNE SĄ NASTĘPUJĄCE DANE WEJŚCIOWE:

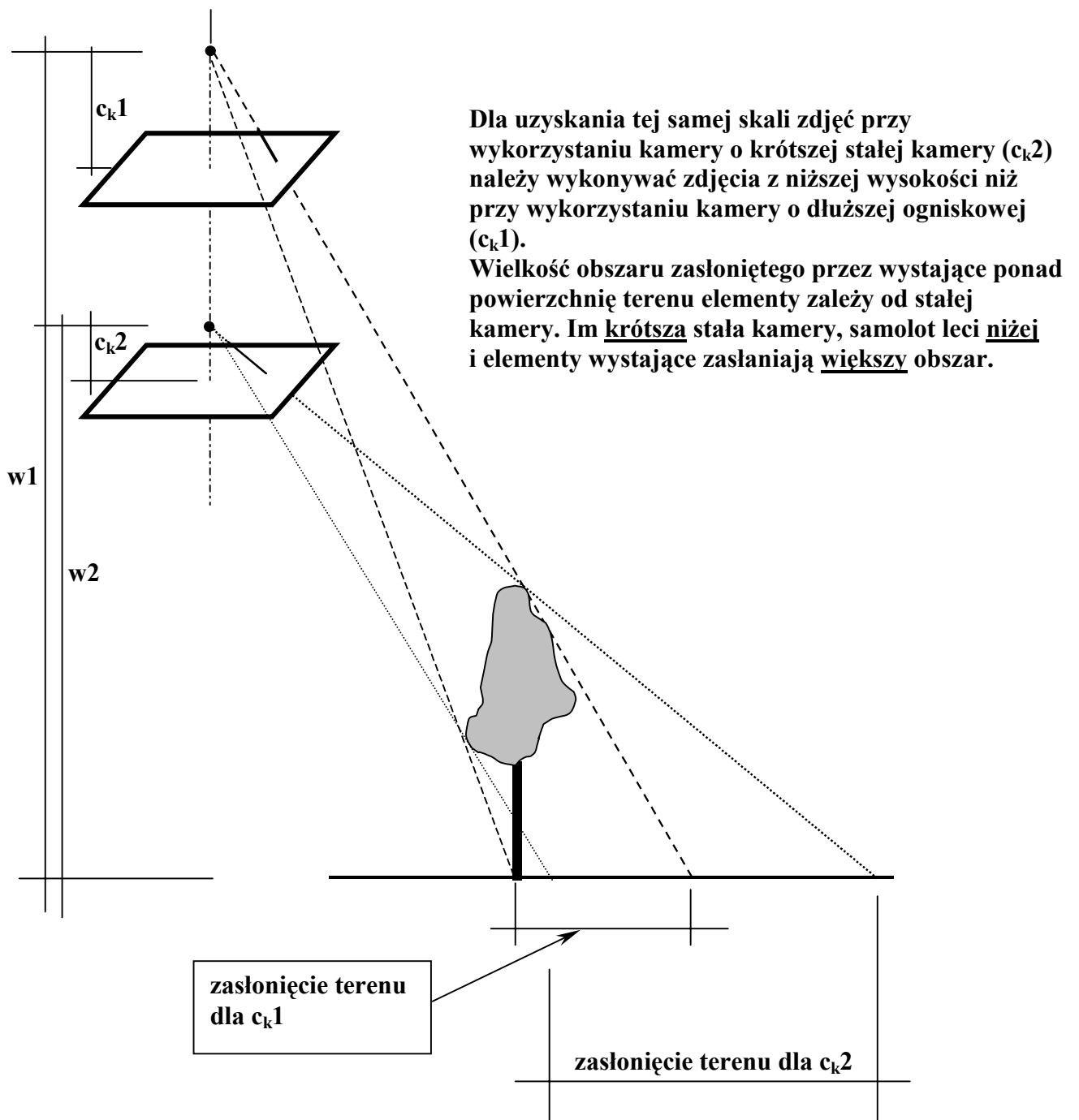
- **Skala mapy**, dla sporządzenia której mają być wykonane zdjęcia lotnicze [$1:M_m$].
- **Rodzaj opracowania fotogrametrycznego i jego podstawowe przeznaczenie**, np. opracowanie sytuacyjne, sytuacyjno- wysokościowe, fotointerpretacja, ortofotomapa.
- **Wniesiony na mapę topograficzną obrys terenu** podlegającego opracowaniu wraz z układem sekcijnym mających powstać arkuszy map.
- **Typ kamery**, którą będą wykonywane zdjęcia.
- **Prędkość robocza samolotu** przenoszącego kamerę [v].
- **Wysokość bezwzględna lotniska**, z którego będzie startował samolot [H_{lotniska}].
- **Rodzaj stożka kamery lotniczej** [c_k]. Kąt rozwarcia obiektywu kamery lotniczej (rodzaj stożka) jest dobierany w zależności od występujących deniwelacji terenu lub zróżnicowania wysokościowego fotografowanych obiektów (tabela 15.1 w Wytycznych...). Ogólna zasada jest taka, że im większe różnice wysokości w terenie (tereny górzyste) lub zróżnicowanie wysokościowe obiektów (tereny miejskie o wysokiej zabudowie), tym mniejszy musi być kąt rozwarcia kamery (dłuższa stała kamery c_k). Takie postępowanie zmniejsza występujące na zdjęciach przesunięcia radialne spowodowane deniwelacjami, zmniejsza zasłonięcia terenu przez elementy

wystające, jak również ułatwia stereopercepcję w przypadku opracowania zdjęć terenów miejskich. Niektóre przyczyny uzasadniające takie postępowanie przedstawiono na rysunku 1 i rysunku 2.



Przy stereoskopowym opracowaniu zdjęć położenie punktu wyznaczone jest poprzez wcięcie w przód (zwane fotogrametrycznym). Dla uzyskania tej samej skali zdjęć przy wykorzystaniu kamery o krótszej stałej kamery (c_{k2}) należy wykonywać zdjęcia z niższej wysokości niż przy wykorzystaniu kamery o dłuższej ogniskowej (c_{k1}). Im niżej leci samolot tym stosunek B/W jest większy, a to pociąga za sobą większy kąt wcinający, a zatem większą dokładność wyznaczenia położenia wyznaczanego punktu

Rys. 1



Rys. 2

- **Pokrycie podłużne [p] i poprzeczne [q] zdjęć.**

Pokryciem zdjęć nazywamy część wspólną kolejnych zdjęć w szeregu (pokrycie podłużne) lub między szeregami (pokrycie poprzeczne). Nakładki zakresu wykonywanych zdjęć są konieczne dla zapobieżenia wystąpienia luk w pokryciu terenu zdjęciami. W przypadku wykonywania zdjęć dla opracowań dwuobrazowych wynosi standardowo 60%, dla opracowań jednoobrazowych 20%. Przy fotografowaniu terenów pofałdowanych pokrycie podłużne należy zwiększyć o wpływ rzeźby terenu. Oblicza się je ze wzoru :

$$p[\%] = [p_0] + 50\% \Delta h/W$$

p_0 – zasadnicze pokrycie ($p_0 = 60\%$)

Δh – przewyższenie względem średniej płaszczyzny odniesienia

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

$q = 30\%$ dla fotografowania z wysokości ≤ 1500 m

$q = 25\%$ dla fotografowania z wysokości > 1500 m

Przy fotografowaniu terenów pofałdowanych pokrycie poprzeczne należy zwiększyć o wpływ rzeźby terenu. W przybliżeniu określa je zależność :

$$q[\%] = q_0[\%] + 70\% \Delta h/W$$

W przypadku realizacji lotu fotogrametrycznego z użyciem GPS pokrycie poprzeczne może być mniejsze od 30%.

Zgodnie z Wytycznymi Technicznymi należy tak zaprojektować ilość szeregów, aby pierwszy i ostatni szereg zdjęć pokrywał co najmniej $\frac{1}{4}$ -tą powierzchni zdjęcia obszar poza granicami opracowania. Natomiast ilość zdjęć w szeregach na wlocie i wylocie powiększyć należy o dwie bazy fotografowania poza niezbędną – wyliczoną na podstawie szerokości obszaru opracowania – ilość.

- **Skalę wykonywanych zdjęć [1:M_z].**

Problem wyboru skali zdjęć w odniesieniu do skali opracowywanej mapy można widzieć w dwóch przeciwstawnych aspektach. Z punktu widzenia ekonomiki, im mniejsza skala zdjęć w stosunku do skali opracowania, tym mniej zdjęć trzeba wykonać dla opracowania mapy danego obszaru. Z drugiego punktu widzenia, im większa skala zdjęć, tym większa dokładność opracowania oraz lepsza rozróżnialność na zdjęciach szczegółów stanowiących treść mapy. W związku z tym wybór skali zdjęć lotniczych jest kompromisem pomiędzy tymi dwoma aspektami. Rozwój kamer lotniczych (kompensacja rozmazu i żyroskopowa stabilizacja zawieszenia) oraz postęp w dziedzinie jakości materiałów fotograficznych (rozdzielczość) powodują, że jakość zdjęć lotniczych jest coraz lepsza, a tym samym możliwe jest wykonywanie zdjęć w coraz mniejszych skalach w stosunku do skali mapy. W przypadku zdjęć celowanych, dla których nadrzędnym warunkiem jest wykonanie zdjęć, tak aby każdy pojedynczy stereogram obejmował jeden arkusz mapy, również parametr skali zdjęć jest dostosowywany w projekcie lotu do realizacji tego warunku. Ogólnie można powiedzieć, że skalę zdjęć przyjmuje się mniejszą od skali mapy w przedziale 2÷6 razy (tabela 14.1 w Wytycznych....).

- **Kierunek lotu.** Najczęściej projektuje się loty fotogrametryczne w kierunkach równoleżnikowych (W-E) i południkowych (N-S). Związane jest to głównie

z układem państwowym współrzędnych geodezyjnych, w którym trzeba wykonać mapę i kształtem ramki sekcyjnej tej mapy (dąży się do tego, aby opracować arkusz sekcji mapy korzystając z jak najmniejszej liczby zdjęć). Jeżeli mapa ma być wykonana w układzie lokalnym, nierównoległym do państwowego układu geodezyjnego, to również kierunek lotu musi być równoległy do jednej z osi układu lokalnego. Wybór, do której z osi układu ma być równoległy kierunek lotu zależy od tego, w jakim kierunku wykonane zdjęcia zapewnią opracowanie fotogrametryczne arkusza mapy z jak najmniejszej liczby zdjęć.

Z danych wejściowych oraz parametrów zdjęć określonych na podstawie analizy tych danych można obliczyć pozostałe parametry lotu fotogrametrycznego, w tym dane niezbędne do wniesienia planu na drobnoskalową mapę topograficzną.

Część obliczeniowa projektu:

W wyniku obliczeń określa się:

- Wysokość lotu ponad poziom lotniska: W_{lot}
- Odstęp pomiędzy osiami szeregów (baza poprzeczna):

$$B_y = L \cdot \frac{100 - q}{100}$$

Jest to terenowa odległość między osiami szeregów, wynikająca z przyjętego pokrycia poprzecznego

- Długość bazy fotografowania:

$$B_x = L \cdot \frac{100 - p}{100}$$

Jest to terenowa odległość pomiędzy środkami rzutów kolejnych zdjęć, wynikająca z przyjętego pokrycia podłużnego. Umożliwia obliczenie ilości zdjęć i zaznaczenie na mapie do projektu lotu miejsc włączenia i wyłączenia migawki.

- Ilość zdjęć w szeregach:

$$N_x = \frac{D_x}{B_x} + 5$$

Gdzie D_x jest długością obszaru fotografowania. Ilość zdjęć jest o jeden większa niż ilość baz podłużnych mieszczących się w długości obszaru fotografowania. Wytyczne zalecają zwiększenie ilości zdjęć tak, aby zarówno na początku, jak i na końcu szeregu dodać dodatkowe dwie bazy fotografowania (w sumie 4 zdjęcia).

- Ilość szeregów:

$$N_y = \frac{D_y}{B_y} + 1$$

Należy pamiętać o konieczności pokrycia terenu poza obszarem fotografowania co najmniej 25% zasięgu zdjęcia (dla pierwszego i ostatniego szeregu).

- Całkowitą ilość zdjęć (dla prostokątnego kształtu terenu):

$$N = N_x \cdot N_y$$

- Powierzchnię stereogramu (modelu) P_m i powierzchnię użyteczną stereogramu (tzw. nowa powierzchnia) P_n :

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

$$P_n = B_x \cdot B_y$$

Powierzchnia użyteczna stereogramu to część powierzchni stereogramu ograniczona liniami przechodzącymi przez środki pasów pokrycia poprzecznego zdjęć oraz przez środki zakładów sąsiednich stereogramów. Tylko części użyteczne stereogramów powinny być wykorzystane do tworzenia mapy.

- Interwał czasu pomiędzy wykonaniem kolejnych zdjęć:

Jest to czas, jaki upływa między wyzwaniem migawki kamery wykonującej kolejne zdjęcia. Wynika z przyjętego pokrycia podłużnego zdjęć i założonej prędkości lotu i musi być większy od cyklu pracy kamery lotniczej:

$$\Delta t = \frac{B_x}{v}$$

- Dopuszczalny czas otwarcia migawki kamery.

$$\tau = \frac{\Delta s \cdot M_z}{v}$$

Jest to czas otwarcia migawki, powyżej którego wystąpi przekroczenie założonego rozmazania obrazu Δs , spowodowanego ruchem samolotu. Musi się on mieścić w zakresie pracy migawki kamery i w zakresie przewidywanych warunków ekspozycji.

W przypadku niespełnienia tych warunków należy zastosować kamerę z kompensatorem rozmazu FMC lub rozważyć użycie czulszego filmu albo wolniejszego samolotu.

- **Analiza a priori dokładności opracowania stereofotogrametrycznego**

Dokładność sytuacyjna $m_{x,y}$ zależy od skali zdjęć oraz od dokładności pomiaru na zdjęciu $m_{x,y}$. Natomiast dokładność wysokościowa m_z zależy od kątów przecięć promieni jednoimiennych. Im krótsza ogniskowa stożka kamery, tym korzystniejszy kąt przecięcia promieni i tym większa dokładność określenia współrzędnej Z. Współczynnik $K=W/B$ zwany stosunkiem bazowym charakteryzuje bardzo dobrze kąty wcinające. Im większa wartość tego współczynnika tym mniejsza dokładność wysokościowa.

$$m_{x,y} = m_{x,y} \cdot M_z$$

$$m_z = W/B \cdot M_z \cdot m_{x,y} = c_k/b \cdot M_z \cdot m_{x,y}$$

Część graficzna projektu

W części graficznej projektu lotu wnosi się na mapę topograficzną w skali zalecanej przez Wytyczne:

- granice obiektu terenowego linią zieloną ciągłą grubości 1mm, przy czym jeśli obrys obiektu jest nieregularny, należy dokonać generalizacji,
- granice sekcji linią ciągłą niebieską grubości 0.2 mm,
- osie szeregów linią ciągłą koloru czerwonego o grubości 0.3 mm,
- znaki włączenia i wyłączenia kamery, tuszem niebieskim, linią ciągłą grubości 1 mm, prostopadłą do osi szeregu przy wlocie i wylocie szeregu. Linia ta powinna być zakończona prostopadłymi do niej strzałkami o długości 1 cm, skierowanymi w kierunku lotu,
- numery szeregów wzrastające z północy na południe lub ze wschodu na zachód cyframi czerwonymi o wysokości 6 mm.

Na podstawie sporządzonego na mapie projektu lotu wykonuje się kalkę projektu. Do projektu na mapie i na kalce dokleja się metryczkę zawierającą zestawienie podstawowych danych projektu.

Celem ćwiczenia jest obliczenie parametrów lotu fotogrametrycznego i wykonanie graficznej części projektu.

Założenia do wykonywanego ćwiczenia:

1. Wykonanie zdjęć fotogrametrycznych dla opracowania dwuobrazowej mapy zasadniczej.
Skala mapy zasadniczej..... Skala mapy do projektu lotu.....
Wybór skali zdjęć zgodny z tabelą zamieszczoną w konspekcie
2. Zdjęcia powinny być wykonane jako szeregowe, z pokryciem podłużnym 60% i poprzecznym zgodnym z wytycznymi technicznymi K-2.7
3. Zdjęcia mają być wykonane jedną z kamer umieszczonych w załączonych tabelach, wyposażonych w stożek o kącie rozwarcia dobranym do terenu objętego nalotem i rodzaju opracowania fotogrametrycznego.
4. Kamera zamontowana ma być na pokładzie jednego z samolotów fotogrametrycznych (patrz tabela)
5. Samolot wystartuje z lotniska w Krakowie-Balicach. Wysokość lotniska 200 m n.p.m.
6. Nie należy wносить na projekcie graficznym kierunków nalotu oraz linii zawracania samolotu.
7. Na mapie topograficznej nie trzeba wносить siatki układu sekcyjnego.
8. Należy zoptymalizować odległości pomiędzy osiami szeregów.
- 9. Część graficzną projektu rysujemy tylko na kalce i oddajemy razem z mapą (na mapie nie rysujemy!!!)**
10. Do tematu dołączamy sprawozdanie w którym opisujemy samodzielnie wszystkie etapy projektu

Dane do ćwiczenia:

1. Fragment mapy topograficznej z zaznaczonym obrysem terenu, dla którego ma być projektowany lot fotogrametryczny.
2. Rodzaj i skala mapy do wykonania na podstawie projektowanego lotu

Materiały pomocnicze:

Wytyczne Techniczne K-2.7.

Tabele:

Stożki obiektywowe kamery RC 30

Parametr	Stożek obiektywowy		
	8.8/4 SAGA-F Super AVIOGON	15/4 UAG-S Universal AVIOGON	30/4 NAT-S Normal AVIOTAR
typ	nadszerokokątny	szerokokątny	normalnokątny
nominalna odległość obrazowa	f = 88 mm	f = 153 mm	f = 303 mm
kąt widzenia (po przekątnej)	120°	90°	55°
otwór względny	f/4 ÷ f/16	f/4 ÷ f/22	f/4 ÷ f/22
migawka	centralna, rotacyjna o ciągłej zmianie czasu ekspozycji w zakresie 1/100÷1/1000s		

Stożki obiektywowe kamery RMK TOP

Parametr	Stożek obiektywowy	
	RMK TOP 15	RMK TOP 30
Nazwa obiektywu	Pleogon A3	Topar A3
typ	szerokokątny	normalnokątny
nominalna odległość obrazowa	f = 153 mm	f = 305 mm
Maksymalna dystorsja	≤ 3 μm	≤ 3 μm
kąt widzenia (po przekątnej)	93°	56°
otwór względny	f/4 ÷ f/22	f/5,6 ÷ f/22
migawka	centralna, rotacyjna o ciągłej zmianie czasu ekspozycji w zakresie 1/50÷1/500s i stałym czasie dostępu równym 50 ms	

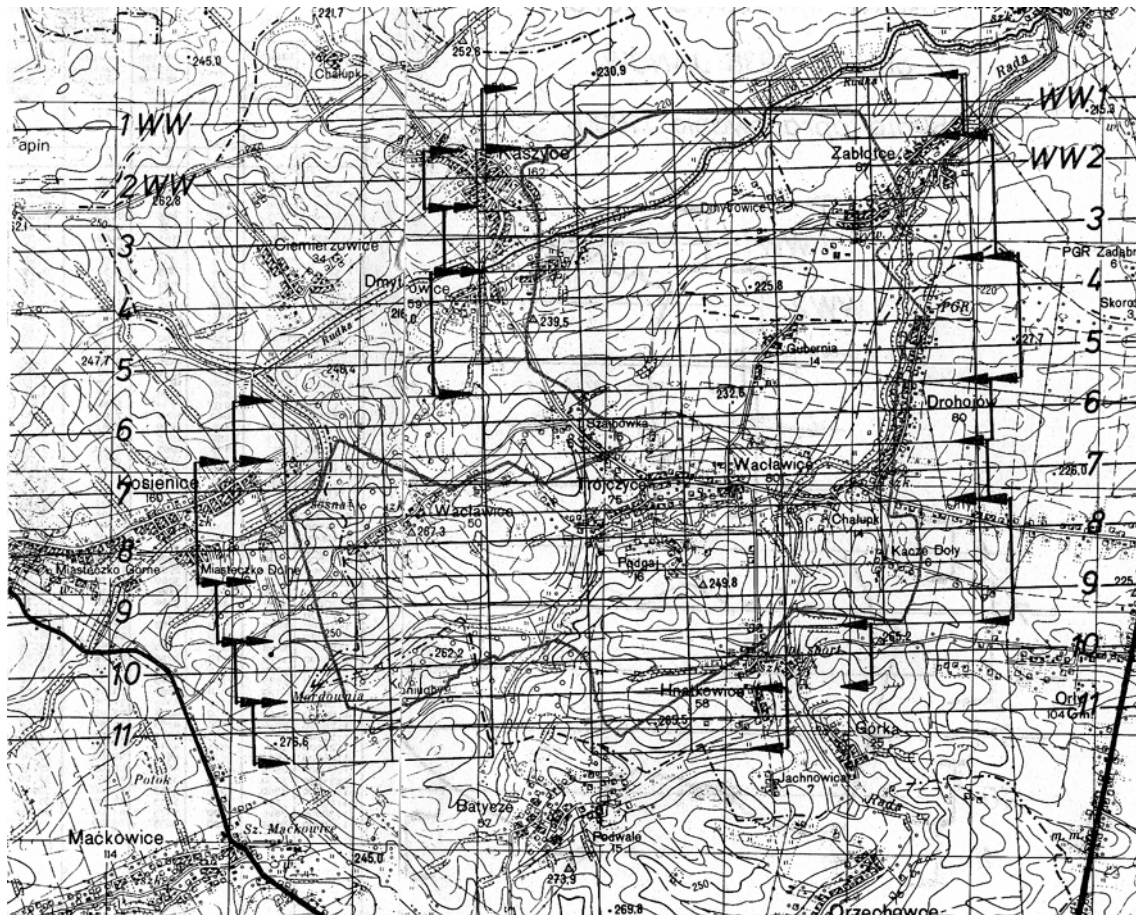
Stożki obiektywowe kamery LMK 2000

Parametr	Stożek obiektywowy			
	LC 2009	LC 2015	LC 2021	LC 2030
nazwa obiektywu	Superlamegon PI 5,6/90 C	Lamegon PI 4/150 D	Lamegoron PI 5,6/210 A	Lamegor PI 5,6/300 B
typ	nadszerokokątny	szerokokątny	półnormalnokątny	normalnokątny
nominalna odległość obrazowa	f = 89 mm	f = 152 mm	f = 210 mm	f = 305 mm
standardowa dystorsja	± 5 μm	± 2 μm	± 2 μm	± 2 μm
kąt widzenia (po przekątnej)	119°	90°	72°	53°
otwór względny	f/5,6 ÷ f/11	f/4 ÷ f/16	f/5,6 ÷ f/16	f/5,6 ÷ f/16
migawka	centralna rotacyjna: - tryb automatyczny: zakres 1/64 ÷ 1/1024 s, ciągła zmiana, - tryb ręczny: 1/60s, 1/85s, 1/125s, 1/175s, 1/250s, 1/350s, 1/500s, 1/700s, 1/1000s			

Nazwa kamery	Rodzaj stożka	Ogniskowa [mm]	Format [cm]	Migawka [s]	Cykl pracy [s]	Pokrycie podł.[%]
RC-10	norm.	210 mm 305 mm 610 mm	23x23	1/100-1/1000 ”	1.5 s	20-90
MRB 30/23	szeroko. norm.	152 mm 305 mm	23x23	1/100-1/1000	1,7 s (1/1000) 2,6 s (1/100)	20-90

Dane samolotów używanych do misji fotolotniczych

Producent	Typ	Moc silników [KM]	Typ skrzydeł	Pułap [m]	Prędkość podróźna [km/h]	Długość lotu [h:min]
1	2	3	4	5	6	7
Antonow	AN-2	1x1 000	Dwupłat	5 200	210	05:10
Antonow	AN-30	2x2 280	Górnopłat	8 400	430	06:10
Aero Commander	500 S	2x290	Górnopłat	5 800	326	04:45
Aero Commander	680 F	2x250	Górnopłat	6 100	278	04:45
Aero Commander	690 F	2x717	Górnopłat	9 800	352	04:45
Aerospatiale	TBM 700	1x700	Dolnopłat	9 100	439	06:00
Beechcraft	Baron	2x285	Dolnopłat	6 300	361	05:30
Britten-Norman	BN 2 Islander	2x260	Górnopłat	5 200	244	05:00
Cessna	C 189/185	1x300	Górnopłat	5 500	272	06:00
Cessna	C 206	1x300	Górnopłat	4 500	311	07:00
Cessna	C 210	1x310	Górnopłat	5 300	311	04:00
Cessna	C 310/320	2x285	dolnopłat	6 000	278	06:00
Cessna	C 336/337	2x210	Górnopłat	5 000	313	04:00
Cessna	C 402/404	2x325	Górnopłat	7 600	359	04:00
Dornier	DO 28	2x380	Górnopłat	7 700	306	03:30
Partenavia	P 68	2x200	Górnopłat	6 100	296	05:00
Partenavia	P68 Observer	2x200	Górnopłat	6 100	296	05:00
Pilatus	PC 6	1x550	Górnopłat	9 200	239	04:30
Piper	PA 32Cherokee	1x300	dolnopłat	5 200	274	05:00
Piper	PA23Aztec	2x250	dolnopłat	5 400	274	05:00
Piper	PA34Seneca	2x200	dolnopłat	7 600	274	05:00
Piper	PA31Navajo	2x350	dolnopłat	7 600	274	05:00



Część graficzna projektu lotu wykonywana na mapie topograficznej