

Projekt lotu fotogrametrycznego

WSTĘP

W trakcie wykonywania lotu fotogrametrycznego samolot leci wzdłuż linii prostej wykonując, co pewną odległość zdjęcia (powstaje w ten sposób 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. Przyjmuje się, że pokrycie wzajemne dwu sąsiednich zdjęć w szeregu (pokrycie podłużne) powinno wynosić minimum 60%, (zapas pokrycia jest konieczny z powodu braku możliwości realizacji idealnego przelotu samolotu i pionowości osi kamery lotniczej).

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 wspomagania nawigacji systemem GPS pokrycie poprzeczne może być mniejsze. Jeżeli wynikiem opracowania zdjęć ma być ortofotomapa, czasem stosuje się większe pokrycie podłużne i poprzeczne niż podane powyżej. Wynika to z faktu, że w skrajnej części zdjęć mogą występować większe przesunięcia radialne oraz większe martwe pola w związku, z czym do przetwarzania wykorzystuje się wtedy środkowe części zdjęć.

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 z wykorzystaniem analogowych kamer fotogrametrycznych zawarte były w Wytycznych technicznych K-2.7 „Zasady wykonywania prac fotolotniczych”(z 1999 r).

Od dnia 17 listopada 2011 roku obowiązujące zasady wykonywania projektu lotu zawarte są w Rozporządzeniu Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 3 listopada 2011 r. „W sprawie baz danych dotyczących zobrażeń lotniczych i satelitarnych oraz ortofotomapy i numerycznego modelu terenu”.

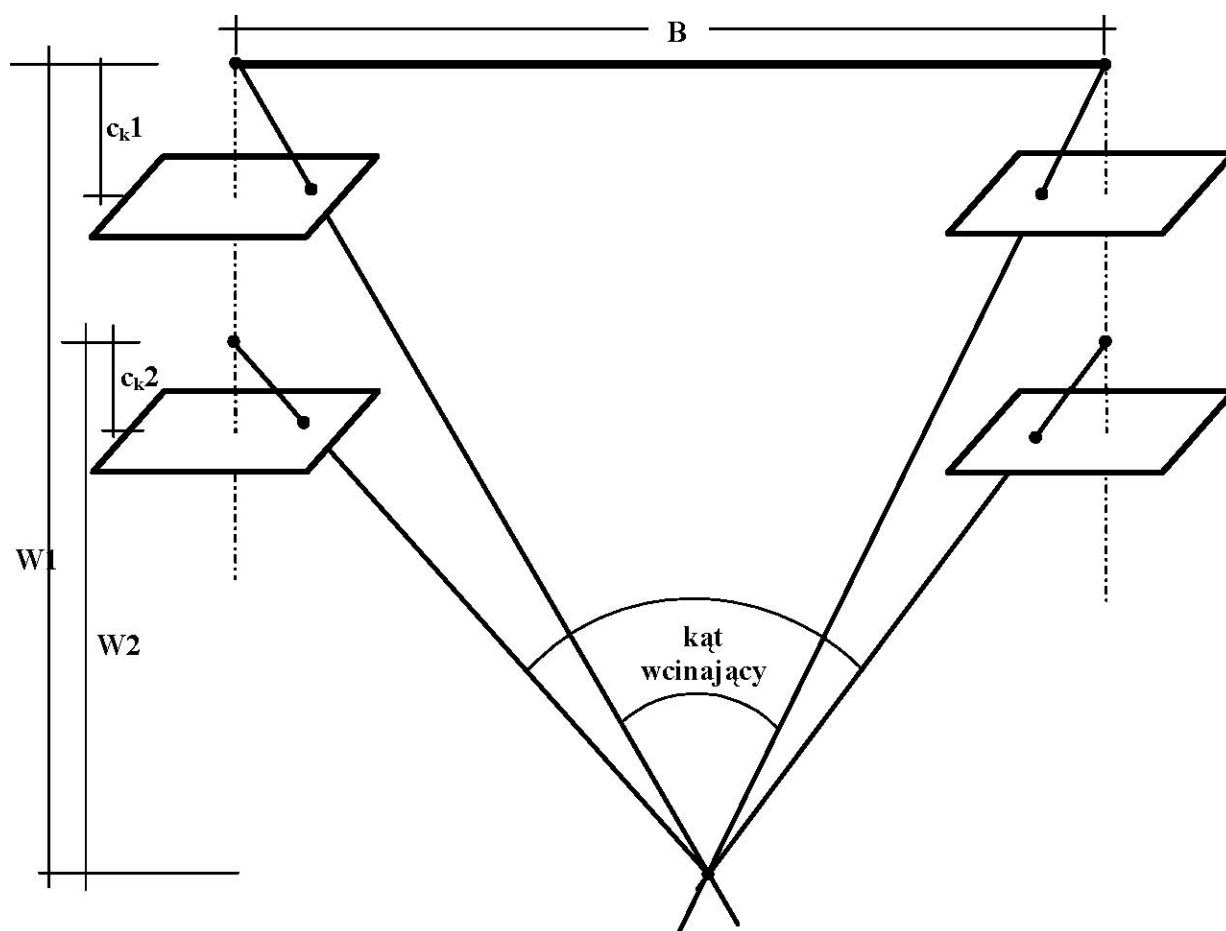
DANE WEJŚCIOWE DO PROJEKTU LOTU (definiowane przez Zleceniodawcę):

- - **skala mapy** [$1:M_m$], dla sporządzenia której wykonane mają być zdjęcia lotnicze lub,
- **rozmiar piksela terenowego ortofotomapy**, dla sporządzenia której wykonane mają być zdjęcia lub,
- **dokładność** wynikowego opracowania zdjęć lub,
- **terenowy rozmiar piksela** – dla zdjęć z kamer cyfrowych.
- **Rodzaj opracowania fotogrametrycznego** dla którego przeznaczone są zdjęcia. Np.: opracowanie mapy sytuacyjnej, opracowanie mapy sytuacyjno-wysokościowej, fotointerpretacja, ortofotomapa pomiar danych do Numerycznego Modelu Terenu, itp.
- **Obszar opracowania** - wniesiony na mapę topograficzną obrys terenu podlegającego opracowaniu wraz z układem sekcyjnym arkuszy map.

DANE I PARAMETRY PROJEKTU LOTU (określane przez Wykonawcę):

- **Typ i parametry kamery**, którą będą wykonywane zdjęcia.
- **Rodzaj stożka kamery lotniczej** [kąt rozwarcia, stała kamery c_k].
Kąt rozwarcia obiektywu kamery lotniczej (rodzaj stożka) jest dobierany w zależności od występujących deniwelacji terenu lub zróżnicowania wysokościowego fotografowanych obiektów (Rozporządzenie MSWiA z 3.11.2011). Ogólna zasada jest taka, że im większe różnice wysokości w terenie (teren

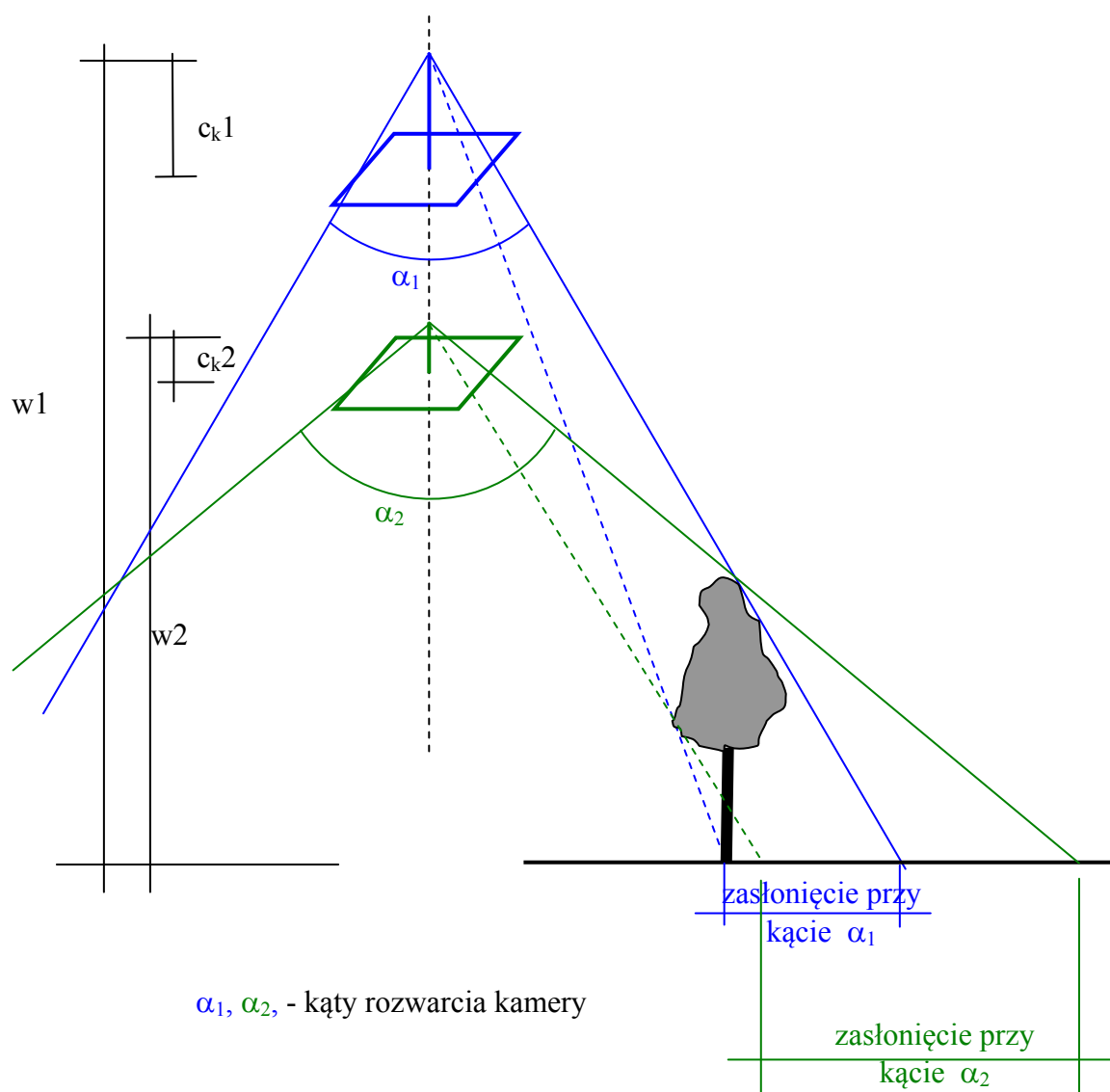
górzyste) lub zróżnicowanie wysokościowe obiektów (tereny miejskie o wysokiej zabudowie), tym mniejszy musi być kąt rozwarcia kamery (dłuższa stała kamery c_k). Takie postępowanie zmniejsza występujące na zdjęciach przesunięcia radialne spowodowane deniwelacjami, zmniejsza zasłonięcia terenu przez elementy wystające ponad powierzchnię terenu, jak również ułatwia stereopercepcję w przypadku opracowania zdjęć terenów miejskich. Niektóre przyczyny uzasadniające takie postępowanie przedstawiono na rysunkach 1 i 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 wysokości mierzonych punktów.

Rys. 1 Wpływ kąta rozwarcia kamery (stałej kamery) na dokładność wyznaczenia wysokości.



Dla uzyskania tej samej skali zdjęć przy wykorzystaniu kamery o krótszej stałej kamery (c_k2) należy wykonywać zdjęcia z niższej wysokości ($w2$) niż przy wykorzystaniu kamery o dłuższej stałej kamery (c_k1). Przy tym samym formacie zdjęcia im krótsza stała kamery tym większy kąt rozwarcia kamery.

Zastłonięcie terenu przez obiekty wysokie (tzw. martwe pola) na skraju zdjęcia zależy od kąta rozwarcia kamery. Im szerszy kąt rozwarcia kamery tym obszar zastłonięty jest większy. Zastłonięcie przy kącie rozwarcia α_2 (większym) jest większe niż przy kącie α_1 (mniejszym).

Czyli wielkość obszaru zastłoniętego przez elementy wystające ponad powierzchnię terenu zależy pośrednio również od stałej kamery. Im krótsza stała kamery, samolot musi lecieć niżej, żeby zyskać tą samą skalę zdjęć i elementy wystające ponad teren zasłaniają większy obszar terenu.

Rys. 2 Wpływ kąta rozwarcia kamery na zastłonięcia terenu przez elementy wystające ponad jego powierzchnię.

- **Pokrycie podłużne [p] i poprzeczne [q] zdjęć.** Pokryciem zdjęć nazywamy część wspólną kolejnych zdjęć w szeregu (pokrycie podłużne) lub między szeregami (pokrycie poprzeczne). Pokrycie zdjęć wyrażane jest w %. Nakładki zakresu wykonywanych zdjęć są konieczne dla zapobieżenia wystąpienia luk w pokryciu terenu zdjęciami. W przypadku wykonywania zdjęć dla opracowań dwuobrazowych pokrycie podłużne wynosi standardowo 60%. Przy fotografowaniu terenów

niepłaskich pokrycie podłużne zdjęć należy zwiększyć o wpływ rzeźby terenu. Wg wytycznych K 2.7 oblicza się je ze wzoru:

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

p_0 – zasadnicze pokrycie podłużne ($p_0 = 60\%$), Δh – przewyższenie względem średniej płaszczyzny odniesienia. W rozporządzeniu MSWiA z dnia 3.11.2011 wielkość pokrycia podłużnego podana jest w dziale 1, rozdział 1 załącznika nr 2.

Pokrycie poprzeczne określa pokrycie zdjęć między sąsiednimi szeregami. Projektowane zasadnicze pokrycie poprzeczne zdjęć lotniczych wynosi standardowo: $q = 30\%$ dla fotografowania z wysokości $W \leq 1500$ m i $q = 25\%$ dla fotografowania z wysokości $W > 1500$ m. Przy fotografowaniu terenów niepłaskich pokrycie poprzeczne zdjęć należy zwiększyć o wpływ rzeźby terenu. Wg wytycznych K 2.7 oblicza się je ze wzoru:

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

W rozporządzeniu MSWiA z dnia 3.11.2011 wielkość pokrycia poprzecznego podana jest w dziale 1, rozdział 1 załącznika nr 2.

Zasady zwiększania powierzchni terenu pokrytej zdjęciami

Zgodnie z Wytycznymi Technicznymi należy tak zaprojektować szeregi, aby pierwszy i ostatni szereg zdjęć pokrywał co najmniej ¼-tą powierzchni zdjęcia obszaru poza granicami opracowania.

Liczbę zdjęć w szeregach na wlocie i wylocie powiększyć należy o dwie bazy fotografowania poza niezbędną ilość – wyliczoną na podstawie szerokości obszaru opracowania.

- **Skala wykonywanych zdjęć [1:M_z] – zdjęcia analogowe.**

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....).

Terenowy rozmiar piksela – zdjęcia cyfrowe

W przypadku wykonywania zdjęć kamerą cyfrową zamiast skali zdjęć określa się **terenowy rozmiar piksela**. Postępuje się tak dlatego, że o zawartości informacyjnej i dokładności zdjęć cyfrowych decyduje wielkość piksela terenowego, a nie skala zdjęć (tak jak w przypadku kamer analogowych). Różne wielkości detektorów kamer cyfrowych powodują, że dla tego samego terenowego rozmiaru piksela skale wykonanych zdjęć cyfrowych różnią się pomiędzy sobą.

Z reguły przyjmuje się, że dla zdjęć terenów miejskich oraz terenów, na których przewidziane są prace inwestycyjne wymagające wysokiej dokładności podkładów mapowych terenowy rozmiar piksela powinien być równy lub mniejszy od 5 cm (Orto-005) lub od 10 cm (Orto-010). Dla zdjęć terenów niezurbanizowanych terenowy rozmiar piksela może być większy i może wynosić 20 – 50 cm.

W przypadku opracowywania ortofotomapy terenowy rozmiar piksela zdjęć nie może być większy niż terenowy rozmiar piksela planowanej ortofotomapy.

Na podstawie przyjętego terenowego rozmiaru piksela, znając rozmiar detektora matrycy kamery można obliczyć mianownik skali zdjęcia:

$$M_z = P_T / P_m$$

gdzie: P_m - piksel matrycy (rozmiar detektora obrazu),
 P_T - terenowy rozmiar piksela

- **Kierunek lotu.** Najczęściej projektuje się loty fotogrametryczne w kierunkach równoleżnikowych (W-E) i południkowych (N-S). Związane jest to głównie z państwowym układem współrzędnych geodezyjnych, w którym ma być wykonana mapa 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.
- **Prędkość robocza samolotu** przenoszącego kamerę [v].
Zazwyczaj parametry samolotu określają jego prędkość maksymalną, podróżną i minimalną. Prędkość minimalna jest to prędkość, przy której w zasadzie samolot przestaje się utrzymywać w powietrzu. Dlatego wybrana prędkość samolotu musi być wyraźnie większa od prędkości minimalnej i mniejsza od maksymalnej. Jeżeli to jest możliwe planowana prędkość samolotu powinna być zbliżona do prędkości podróżnej.
- **Wysokość bezwzględna lotniska**, z którego będzie startował samolot [H_{lotniska}] w celu określenia wysokości lotu ponad poziom lotniska.
W parametrach projektu lotu fotogrametrycznego, oprócz wysokości lotu ponad poziom lotniska, należy również określić wysokość lotu ponad poziom terenu [W] oraz bezwzględną wysokość lotu (ponad poziom morza) [W_0]. Przy czym należy pamiętać, że wysokość lotu [W] wynikająca z zaprojektowanej skali zdjęć i wybranego stożka kamery musi mieścić się w zakresie osiągalnego pułapu samolotu.
- **Interwał czasu pomiędzy wykonaniem kolejnych zdjęć oraz dopuszczalny czas otwarcia migawki kamery** (dla kamer analogowych niewyposażonych w system FMC).
Interwał czasu fotografowania jest to czas, jaki upływa między wyzwalaniem migawki kamery wykonującej kolejne zdjęcia. Wynika z przyjętego pokrycia podłużnego zdjęć i założonej prędkości lotu. Dla kamer analogowych niewyposażonych w system zapobiegania rozmazaniu zdjęć (FMC) należy również wyznaczyć dopuszczalny czas otwarcia migawki kamery, czyli czas otwarcia migawki, powyżej którego wystąpi przekroczenie założonego rozmazania obrazu Δs , spowodowanego ruchem samolotu.

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

Musi się on mieścić w zakresie pracy migawki kamery i w zakresie przewidywanych warunków ekspozycji.

Współcześnie prawie wszystkie kamery analogowe i wszystkie kamery cyfrowe posiadają system zapobiegania rozmazaniu zdjęć (FMC). Jeżeli kamera posiada ten system czas naświetlania może być dłuższy od obliczonego wg. powyższego wzoru dopuszczalnego czasu otwarcia migawki.

- **Dokładność opracowania fotogrametrycznego zdjęć (metoda dwuobrazowa)**

Dokładność sytuacyjna pomiaru zdjęć (terenowa) $m_{X,Y}$ zależy od skali zdjęć i od dokładności pomiaru na zdjęciu $m_{x,y}$. Wyraża ją zależność:

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

Natomiast dokładność wysokościowa m_Z dodatkowo zależy od kątów przecięć promieni jednoimiennych. Im szerszy kąt rozwarcia obiektywu (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. Dokładność w kierunku osi Z określa zależność:

$$m_Z = k \cdot m_{X,Y} = k \cdot m_{x,y} \cdot M_z$$

Projektu lotu dla celowanych zdjęć lotniczych wykonanych kamerą cyfrową:

Dane wejściowe do projektu lotu :

- Terenowy rozmiar piksela (P_T).
- Obszar opracowania (na podkładzie z mapy topograficznej).
- Przeznaczenie wykonywanych zdjęć.

W pierwszym rzędzie należy:

- Przeanalizować obszar opracowania, pod kątem rodzaju zabudowy i deniwelacji terenu oraz na podstawie odczytanych ekstremalnych wysokości terenu ($H_{\max}$ i $H_{\min}$) określić średni poziom terenu $H_{\text{śr}}$.
- Wybrać kamerę cyfrową odpowiednią dla danego obszaru opracowania (c_k , kąt rozwarcia, rozmiar matrycy, rozmiar detektora).
- Wybrać samolot do przenoszenia kamery oraz jego prędkość $[v]$ w trakcie wykonywania zdjęć. (W tabeli z wykazem samolotów podano prędkość maksymalną, podróżną i minimalną. Planowana prędkość samolotu powinna być zbliżona do prędkości podróżnej).
- Wybrać lotnisko, z którego będzie startował samolot.

W wyniku obliczeń określa się:

- Mianownik skali zdjęć: $M_z = (\text{terenowy_rozmiar_piksela}) / (\text{rozmiar_detektora_matrycy}) = P_T / P_m$
- Wysokość lotu ponad poziom terenu: $W = c_k \cdot M_z$
- Bezwzględna wysokość lotu (ponad poziom morza): $W_0 = W + H_{\text{śr terenu}}$
- Wysokość lotu ponad poziom lotniska: $W_{\text{lot}} = W_0 - H_{\text{Lotniska}}$
- Pokrycie podłużne i poprzeczne zdjęć (p , q). Pokrycie należy obliczyć z uwzględnieniem deniwelacji terenu $\Delta h = (H_{\max} - H_{\min})/2$. Obliczoną wielkość pokrycia należy zaokrąglić do 0.5%
- Terenowy zasięg zdjęcia:
 - o w kierunku lotu: $L_{pd} = (\text{liczba pikseli w kierunku lotu}) \cdot P_T$
 - o poprzecznie do kierunku lotu: $L_{pp} = (\text{liczba pikseli poprzecznie do kierunku lotu}) \cdot P_T$
- Długość bazy fotografowania: $B_x = L_{pd} \cdot (100\% - p)$

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

- Odstęp między szeregami zdjęć: $B_y = L_{pp} \cdot (100\% - q)$
- Liczba szeregów $N_Y = (D_Y/B_Y) + 1$

$$D_Y = [\text{szerokość obszaru opracowania (w poprzek kierunku osi szeregów)}] - 2 \cdot 25\% L_{pp}$$

Po wstępnym obliczeniu liczby szeregów należy dokonać optymalizacji ich przebiegu tzn. należy sprawdzić rozmieszczenie osi szeregów w stosunku do obszaru opracowania. Osie szeregów powinny być tak zaplanowane, żeby zewnętrzne granice skrajnych szeregów obejmowały obszar opracowania z zapasem co najmniej 25% poprzecznego zasięgu zdjęcia (L_{pp}). Jeżeli warunek ten nie jest spełniony należy zmienić pokrycie poprzeczne q (q nie może być jednak mniejsze niż odpowiednio 25% dla zdjęć z wysokości $> 1500 \text{ m}$ lub 30% dla zdjęć z wysokości $\leq 1500 \text{ m}$) czyli najczęściej należy zmniejszyć wartość B_Y powiększając tym samym wartość q .

W przypadku zmiany wielkości pokrycia poprzecznego oraz wielkości odstępu między szeregami należy podać nową wartość pokrycia poprzecznego $[q^N]$ i nową wielkość odstępu między szeregami $[B_Y^N]$.

- Wyznaczenie współrzędnych środków rzutów poszczególnych zdjęć. Zdjęcia należy tak zaprojektować, aby współrzędne (wzdłuż osi szeregu) środków rzutów sąsiadujących ze sobą zdjęć w sąsiednich szeregach były jednakowe. Przykładowo, jeżeli oś szeregu ma kierunek W – E to środek rzutów zdjęcia w szeregu pierwszym i sąsiadującego z nim zdjęcia w szeregu drugim powinny mieć taką samą współrzędną E. Celem tego zabiegu jest doprowadzenie do tego, aby obszary potrójnego pokrycia zdjęć w poszczególnych szeregach nakładały się z takimi samymi obszarami w szeregach sąsiednich.

W tym celu wybiera się najdłuższy szereg i projektuje w nim położenie środków rzutów. Punkt rozpoczęcia zdjęć (włączenia/wyłączenia kamery) projektuje się przed granicą obszaru opracowania w odległości $2 \cdot B_X$ od tej granicy, a kończy minimum $2 \cdot B_X$ za granicą (optymalizacja). Następnie wyznacza się współrzędne środków rzutów w pozostałych szeregach pamiętając o warunku nakładania się obszarów potrójnego pokrycia zdjęć w sąsiednich szeregach.

- Po wyznaczeniu współrzędnych środków rzutów wszystkich zdjęć należy obliczyć ogólną liczbę zdjęć N .

- Wyznaczenie powierzchni stereogramu $P_m = (L_{pd} - B_X) \cdot L_{pp}$

- Wyznaczenie powierzchni użytecznej stereogramu $P_u = B_X \cdot B_Y^N$

Powierzchnia użyteczna stereogramu to część powierzchni stereogramu ograniczona liniami przechodzącymi przez środki pasów pokrycia poprzecznego zdjęć oraz przez środki zakładów sąsiednich stereogramów (środki pasów potrójnego pokrycia zdjęć). 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. Musi być większy od minimalnego czasu rejestracji zdjęcia dla danej kamery. Jeżeli warunek ten nie jest spełniony należy: zmniejszyć prędkość samolotu lub wymienić kamerę lub wymienić samolot.

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

- Niezbędnym załącznikiem do planu lotu jest wykaz współrzędnych (X,Y,Z) planowanych środków rzutów w poszczególnych szeregach (współrzędna Z środków rzutów to wysokość lotu ponad poziom lotniska). Wszystkie współrzędne podajemy z dokładnością do 1m. Numerację zdjęć w szeregach należy przyjąć tak, aby pierwsze cyfry numeru zdjęcia stanowiły numery szeregów, a pozostałe były kolejnymi numerami zdjęć. Numerację zdjęć w każdym szeregu rozpoczynamy od początku (od cyfry 1), np. 1-01, 1-02, ..., 4-01, 4-02, ..., 5-01, 5-02, itp.

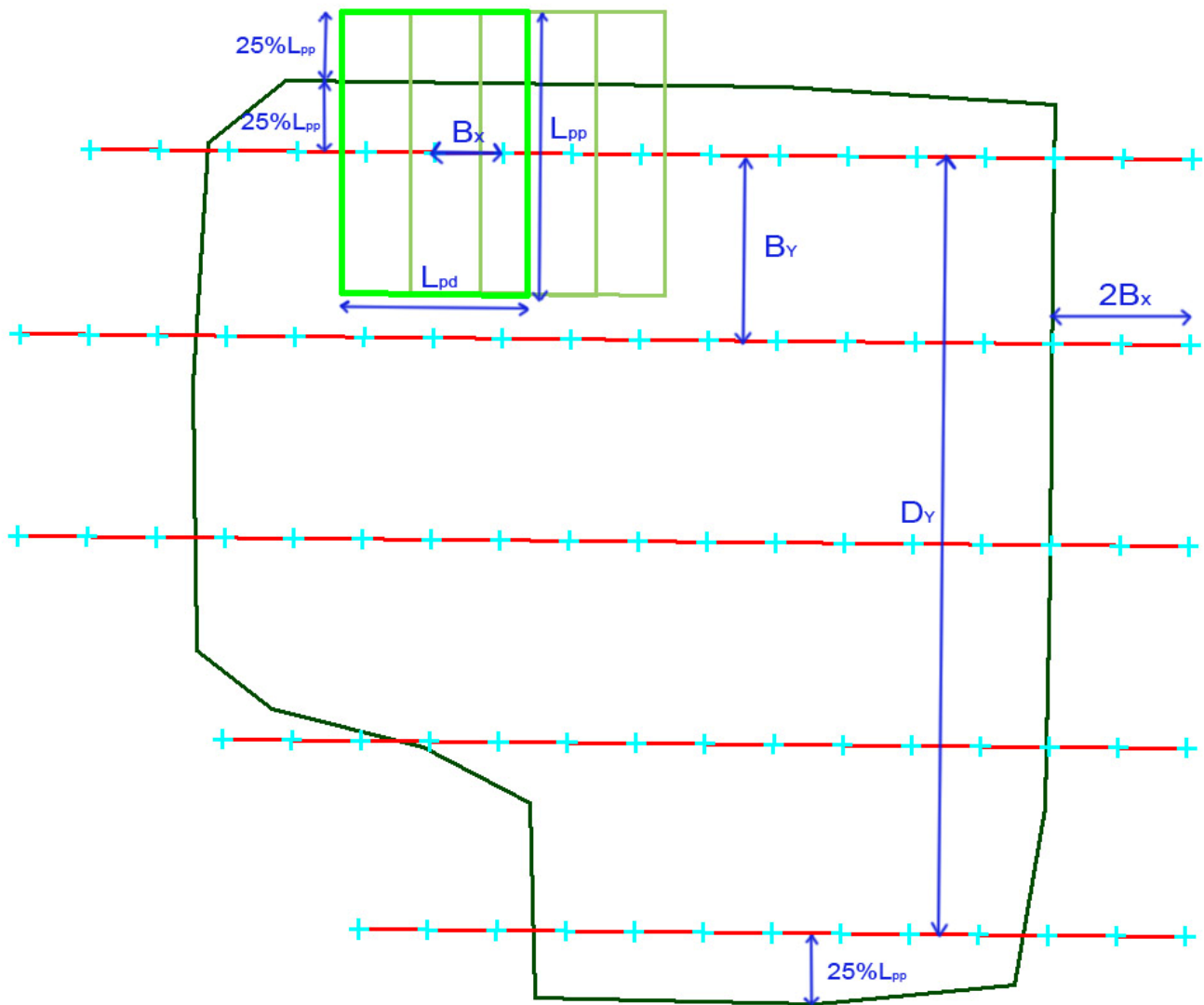
- **Analiza a priori dokładności opracowania dwuobrazowego:**

Należy przyjąć, że dokładność pomiaru na zdjęciu szczegółów terenowych wynosi 1 piksel.

Wobec tego podane wcześniej wzory przyjmą teraz postać:

$$m_{XY} = P_T$$

$$m_Z = k \cdot m_{XY} = (W/B) \cdot m_{XY} = (c_k/b) m_{XY}$$



Rys. 3 Przedstawienie graficzne wyznaczanych wielkości

Część graficzna projektu:

W części graficznej projektu lotu na mapę topograficzną wnosi się:

- granice obiektu terenowego linią zieloną ciągłą grubości 1mm, przy czym jeśli obrys obiektu jest nieregularny, należy dokonać generalizacji,
- osie szeregów linią ciągłą koloru czerwonego o grubości 0.3 mm,
- znaki włączenia i wyłączenia kamery, kolorem niebieskim, linią ciągłą grubości 1mm, 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.

Założenia do wykonywanego ćwiczenia:

- 1 Wykonanie zdjęć fotogrametrycznych dla opracowania ortofotomapy terenu przeznaczonego pod inwestycję. Terenowy rozmiar piksela zawarty w granicach $4 \div 7$ cm przydziela prowadzący.
- 2 Zdjęcia powinny być wykonane jako szeregowy, z pokryciem podłużnym 60% (z uwzględnieniem podpunktu 3 punktu 2 rozdziału 1 działu 1 załącznika nr 2 do rozporządzenia MSWiA) i poprzecznym zgodnym z rozporządzeniem MSWiA i wytycznymi technicznymi K-2.7.
- 3 Zdjęcia mają być wykonane jedną z kamer umieszczonych w załączonej tabeli 2, wyposażoną w stożek o kącie rozwarcia dobranym do terenu objętego nalotem i rodzaju opracowania fotogrametrycznego (tabela 3). Kamera zamontowana ma być na pokładzie jednego z podanych w tabeli 1 samolotów fotogrametrycznych.
- 4 Samolot wystartuje z lotniska w Krakowie-Balicach. Wysokość lotniska 200 m n.p.m.
- 5 Wyznaczone wysokości lotu oraz współrzędne środków rzutów należy podać z dokładnością do metra.
- 6 Nie należy wносить na projekcie graficznym kierunków lotu oraz linii zawracania samolotu. Nie należy również wносить siatki układu sekcijnego.
- 7 Należy zoptymalizować odległości pomiędzy osiami szeregów.
- 8 Na projekcie graficznym należy wnieść położenia sytuacyjne środków rzutów (środków zdjęć) zgodne z wykazem współrzędnych środków rzutów.
- 9 Sprawozdanie w formacie „PDF” powinno zawierać część obliczeniową oraz część graficzną projektu lotu wklejoną do sprawozdania jako zrzut z ekranu (przykład części graficznej pokazany jest na rys.3) Ponadto do sprawozdania należy dołączyć część graficzną projektu w postaci pliku „DWG” lub „DGN”.

Materiały do wykonania projektu:

- 1 Plik *.dgn i *.dwg zawierają obrys obszaru opracowania z podłączonym zeskanowanym obrazem arkusza mapy topograficznej.
- 2 Plik *.tif. zawierający zeskanowany obraz arkusza mapy topograficznej w skali 1:10 000.

Tabela 1. Zestawienie typów samolotów

Producent	Typ	Moc silników [KM]	Typ skrzydeł	Pułap [m]	Prędkość maksym. [km/h]	Prędkość podróżna [km/h]	Prędkość minim. [km/h]	Długość lotu [h:min]
1	2	3	4	5		6		7
Antonow	AN-2	1x1 000	Dwupłat	5 200	258	185	90	05:10
Antonow	AN-30	2x2 280	Górnopłat	8 400	540	430	165	06:10
Beechcraft	Baron	2x285	Dolnopłat	6 300	386	294	139	05:30
Britten-Norman	BN 2 Islander	2x260	Górnopłat	5 200	273	244	72	05:00
Cessna	C 189/185	1x300	Górnopłat	5 500	287	272	91	06:00
Cessna	C 206	1x300	Górnopłat	4 500	280	263	100	07:00
Cessna	C 210	1x310	Górnopłat	5 300	378	358	108	04:00
Cessna	C 310/320	2x285	dolnopłat	6 000	350	330	105	06:00
Cessna	C 402/404	2x325	Górnopłat	7 600	426	359	132	04:00
Dornier	DO 28	2x380	Górnopłat	7 700	290	242	70	03:30
Partenavia	P 68	2x200	Górnopłat	6 100	322	296	106	05:00
Piper	PA 32Cherokee	1x300	dolnopłat	5 200	280	274	100	05:00
Piper	PA23Aztec	2x250	dolnopłat	5 400	346	278	109	05:00
Piper	PA34Seneca	2x200	dolnopłat	7 600	378	348	113	05:00
Piper	PA31Navajo	2x350	dolnopłat	7 600	420	383	118	05:00

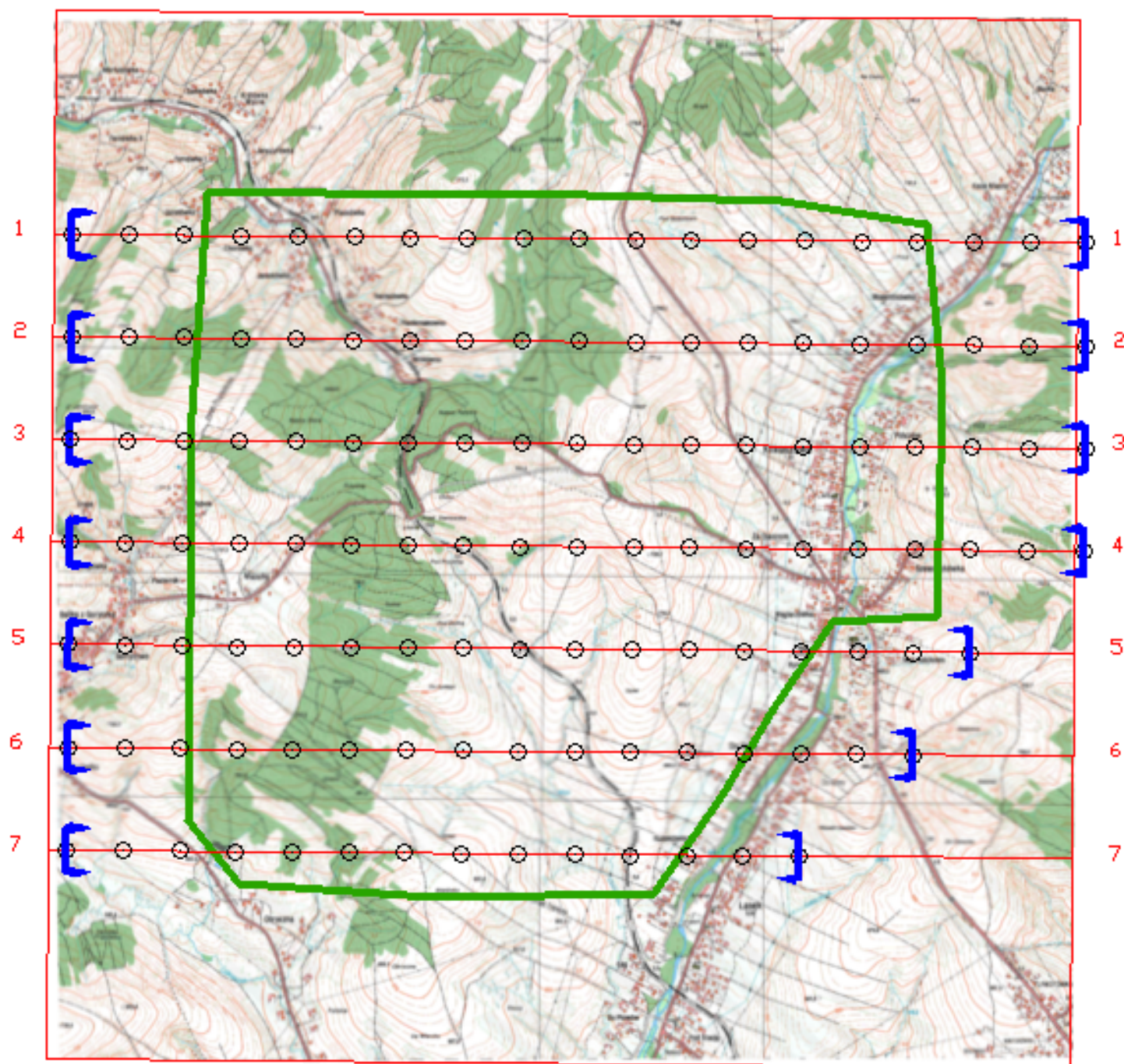
Tabela 2. Zestawienie kamer cyfrowych (wszystkie kamery posiadają system FMC)

Nazwa kamery	ogniskowa [mm]	kąt rozwarcia przekątniowy [°]	liczba pikseli wzdłuż kierunku lotu	liczba pikseli w poprzek kierunku lotu	rozmiar detektora [μm]	L _{pd} [mm]	L _{pp} [mm]	czas zapisu zdjęcia [s]	migawka [s]	b (p=60%) [mm]	k
DMC II 140	92	65.6	11200	12096	7.2	80.64	87.09	2.2		32.3	2.9
DMC II 230	92	65.2	14140	15552	5.6	79.18	87.09	2.3		31.7	2.9
DMC II 250	92	67.3	14016	16768	5.6	78.49	93.90	2.3		31.4	2.9
UltraCam Eagle	80	75.7	13080	20010	5.2	68.01	104.052	1.8	1/500 – 1/32	27.2	2.9
UltraCam Eagle	210	33	13080	20010	5.2	68.01	104.052	1.8	1/500 – 1/32	27.2	7.7
UltraCam XP WA	70	83.1	11310	17310	6	67.86	103.86	2	1/500 – 1/32	27.1	2.6
UltraCam Xp	100	63.6	11310	17310	6	67.86	103.86	2	1/500 – 1/32	27.1	3.7

Tabela 3. Rekomendacje do wykorzystania kamer o określonych kątach rozwarcia.

[źródło: Wytyczne techniczne K 2.7 i Rozporządzenie MSWiA z dnia 3.11.2011 (Załącznik 2, dział 1, rozdział 1, punkt 3)]

Stożek obiektywowy – kąt widzenia	Rekomendacje
nadszerokokątny kąt rozwarcia $\approx 120^\circ$ (Dla kamer analogowych o formacie 23x23 cm f = 90 mm)	Zalecany: • opracowania wysokościowe o podwyższonej dokładności w płaskim, odkrytym terenie, • zdjęcia rekonesansowe z dużych wysokości o pożądanej • bardzo małej skali (duży zasięg zdjęcia). Niezalecany: We wszystkich przypadkach gdzie jest możliwe użycie innego (dłuższego) obiektywu, a szczególnie: • w terenie górzystym, • w terenie miejskim, • dla zdjęć fotointerpretacyjnych, • dla produkcji ortofotomap.
szerokokątny kąt rozwarcia $\approx 92^\circ$ (Dla kamer analogowych o formacie 23x23 cm f = 150 mm)	Zalecany: W większości przypadków, a szczególnie: • opracowania sytuacyjno-wysokościowe odkrytych terenów płaskich i pagórkowatych, • teren podmiejski i rekreacyjny. • dla opracowań dotyczących ortofotomap o średniej rozdzielczości na obszarach równinnych i pofałdowanych, Niezalecany: • w terenie miejskim z zabudową wielokondygnacyjną
półnormalnokątny kąt rozwarcia $\approx 74^\circ$ (Dla kamer analogowych o formacie 23x23 cm f = 210 mm) normalnokątny kąt rozwarcia $\approx 55^\circ$ (Dla kamer analogowych o formacie 23x23 cm f = 305 mm)	Zalecany: • teren miejski z zabudową wielokondygnacyjną, • zdjęcia dla produkcji ortofotomap, • zdjęcia dla aktualizacji treści sytuacyjnej opracowań mapowych, • zdjęcia fotointerpretacyjne. Niezalecany: • gdy zdjęcia nie zagwarantują założonej dokładności opracowania wysokościowego, • dla zdjęć drobnoskalowych (ze względu na wysokość fotografowania poza pułapem samolotu).



Rys. 4 Przykładowa część graficzna projektu lotu