



Źródło: MGGAERO

Projekt nalotu Fotogrametrycznego

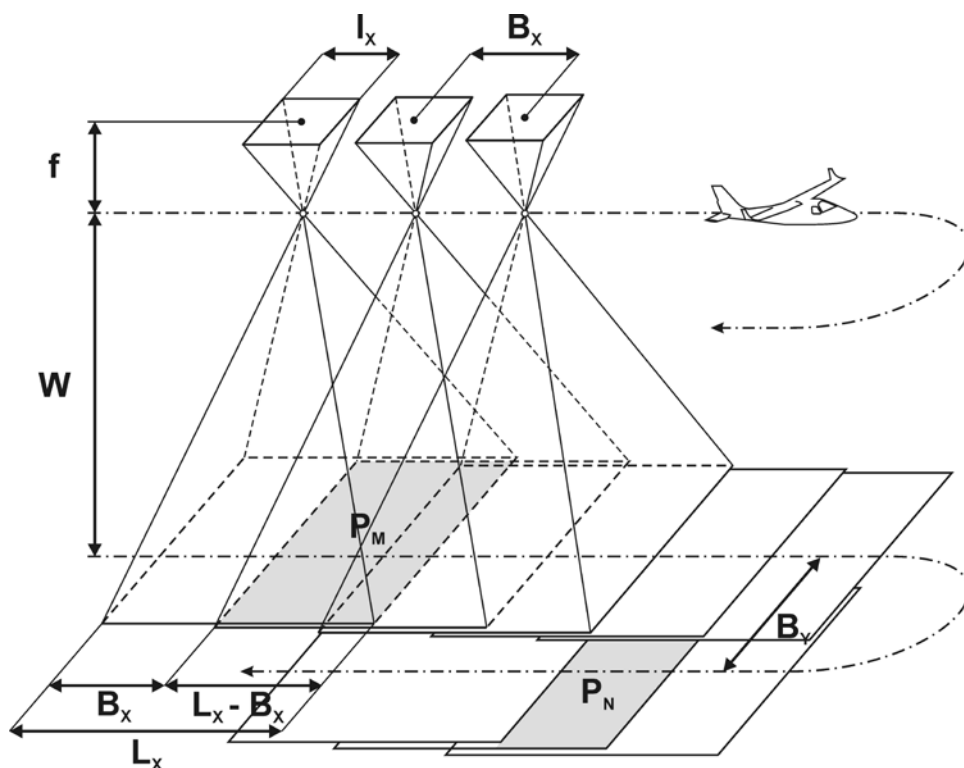
W CELU WYKONANIA ORTOFOTOMAPY

Opracowanie: W. Ostrowski
ZFTiSIP GiK PW

Przedmiotem ćwiczenia jest wykonanie części obliczeniowej i graficznej projektu nalotu fotogrametrycznego – misji fotolotniczej. Celem projektowanego nalotu jest wykonanie zdjęć, które posłużą do produkcji cyfrowej ortofotomapy o zadanej wielkości piksela dla obszaru gminy. Takie opracowania przygotowywane są w podziale na arkusze układu 1992 w skali 1:5000.

W poniższym ćwiczeniu pomija się kwestię NMT, który jest niezbędny do wykonania ortofotomapy.

Podstawowe wzory i nazewnictwo:



f – ogniskowa

W – wysokość fotografowania

GSD – terenowy rozmiar piksela $GSD = \frac{px \cdot W}{f}$

m – skala zdjęcia $m = \frac{f}{W}$

l_x – rozmiar matrycy wzdłuż kierunku lotu

l_y – rozmiar matrycy w poprzek kierunku lotu

L_x – terenowy zasięg zdjęcia wzdłuż kierunku lotu $L_x = l_x \cdot GSD$

L_y – terenowy zasięg zdjęcia w poprzek kierunku lotu $L_y = l_y \cdot GSD$

p – pokrycie podłużne

q – pokrycie poprzeczne

B_x – baza podłużna $B_x = L_x \cdot \frac{100-p}{100}$

B_y – baza poprzeczna $B_y = L_y \cdot \frac{100-q}{100}$

P_Z – terenowa powierzchnia zdjęcia $P_z = L_x \cdot L_y$

P_M – terenowa powierzchnia modelu stereoskopowego $P_M = (L_x - B_x) \cdot L_y$

P_N – powierzchnia użyteczna ("nowa") modelu $P_N = B_x \cdot B_y$

D_x – długość obszaru opracowania wzdłuż kierunku lotu

D_y – długość obszaru opracowania w poprzek kierunku lotu

N_y – Liczba szeregów $N_y = \frac{D_y}{B_y}$

N_x – Liczba zdjęć w szeregu $N_x = \frac{D_x}{B_x} + 4$

Pierwszym etapem ćwiczenia jest wyznaczenie obszaru opracowania tj. ile arkuszy będzie składało się na opracowanie. Na tym etapie należy podjąć również decyzję o kierunku wykonywania nalotów, które na ogół wykonuje się wzdłuż linii północ-południe lub wschód-zachód.

Przyjmuje się, że kierunek nalotu powinien równoległy do dłuższej krawędzi obszaru opracowania, podczas projektowania nalotu należy mieć na uwadze względy ekonomiczne – ważne jest by sumaryczny czas pracy samolotu był jak najkrótszy.

Projektując misję fotolotniczą dla konkretnego obszaru należy uwzględnić następujące parametry zdjęć:

1. Projektowany GSD (ang. Ground Sampling Distance);
2. Wysokość fotografowania;
3. Pokrycie zdjęć.

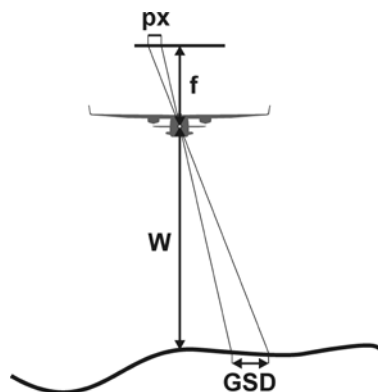
W pierwszej kolejności należy określić minimalną dopuszczalną odległość próbkowania na terenie, czyli GSD, innymi słowy będzie to wielkość terenowa odpowiadająca pojedynczemu pikselowi na zdjęciu. Jest to kluczowy parametr charakteryzujący jakość zdjęć cyfrowych. Przy produkcji cyfrowej ortofotomapy zakłada się, że wielkość GSD powinna być mniejsza lub równa wielkości piksela wyjściowej ortofotomapy.

Wielkość GSD jest bezpośrednio uzależniona od wysokością lotu (W), relacje pomiędzy tymi dwoma wielkościami opisuje następująca proporcja:

$$\frac{px}{f} = \frac{GSD}{W}$$

Gdzie:

px to wielkość piksela na matrycy kamery,
 f to ogniskowa kamery,
 W to wysokość lotu nad poziomem gruntu.



Rozmiar piksela na matrycy (px) i długość ogniskowej (f) są stałymi parametrami kamery fotogrametrycznej. Ich wartości (jak również ich wzajemny stosunek) są różne dla poszczególnych modeli cyfrowych kamer fotogrametrycznych. Dlatego też w stosunku do zdjęć cyfrowych nie korzysta się z pojęcia skali zdjęcia (m), zamiast skali jako parametr charakteryzujący zdjęcia podaje się ich GSD.

Po wyznaczeniu projektowanej wysokości lotu należy skontrolować czy wysokość absolutna lotu (W_{abs}) nie jest większa od pułapu maksymalnego samolotu:

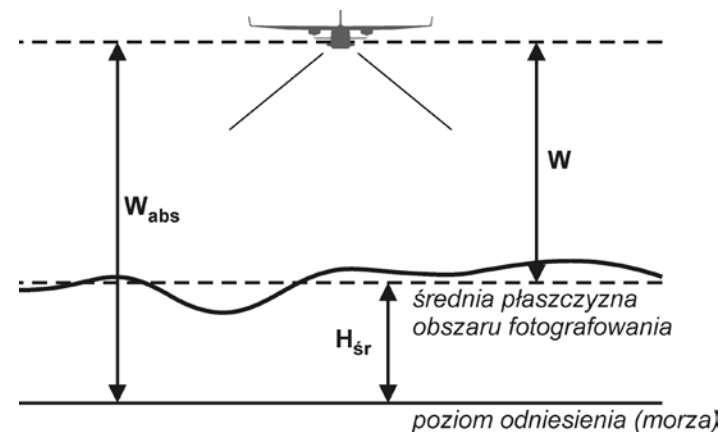
$$H_{abs} = W + H_{sr}$$

Gdzie: W to projektowana wysokość lotu,

H_{sr} to średnia wysokość terenu dla obszaru opracowania.

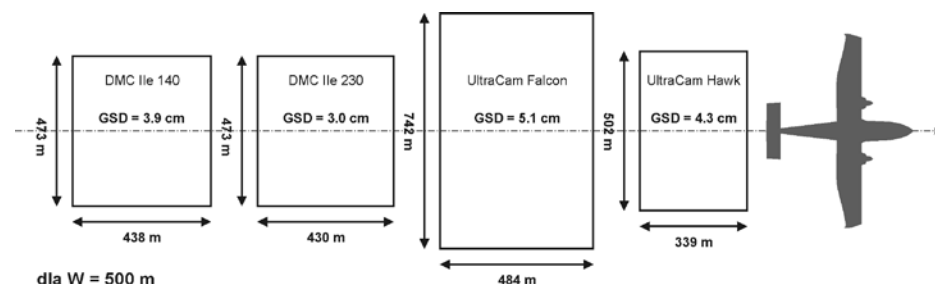
Jako średnią wysokość lotu należy przyjąć średnią z wysokości najniższej i najwyższej położonych punktów w obszarze opracowania:

$$H_{sr} = \frac{H_{min} + H_{max}}{2}$$



Gdzie: H_{min} to minimalna wysokość terenu na obszarze opracowania,
 H_{max} to maksymalna wysokość terenu na obszarze opracowania.

Znając wielkość GSD możemy określić zasięg terenowy zdjęcia. Zdjęcia lotnicze wykonane fotogrametrycznymi kamerami cyfrowymi nie zawsze są kwadratowe, tak jak miało to miejsce w przypadku zdjęć analogowych. Kamery zazwyczaj montuje się tak, by dłuższa krawędź zdjęcia była prostopadła do kierunku lotu. Poniżej przedstawiono zasięgi terenowe przykładowych kamer fotogrametrycznych (wraz z GSD) dla wysokości lotu (W) wynoszącej 500 m.



Dlatego też dla zdjęć cyfrowych wyróżniamy zasięg terenowy wzdłuż i w poprzek kierunku lotu, do ich wyznaczenia wykorzystuje się następujące zależności:

$$L_x = l_x \cdot \text{GSD}$$

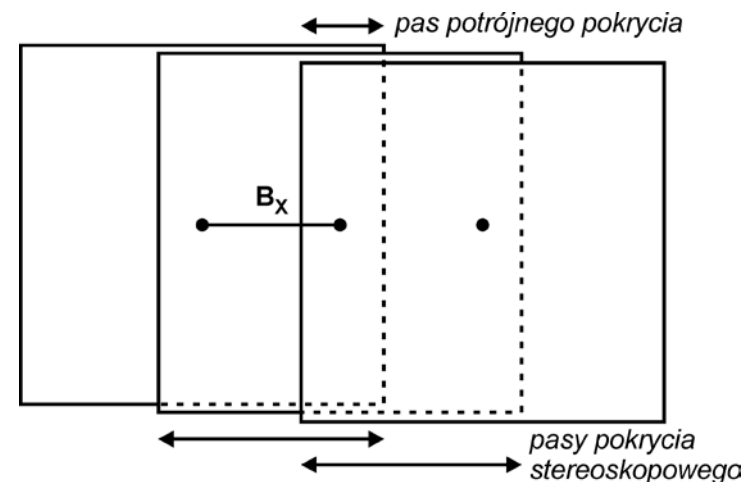
$$L_y = l_y \cdot \text{GSD}$$

Gdzie: L_x to terenowy zasięg zdjęcia wzdłuż kierunku lotu,
 L_y to terenowy zasięg zdjęcia w poprzek kierunku lotu,
 l_x, l_y to odpowiednio liczba pikseli na matrycy kamery wzdłuż i w poprzek kierunku lotu,
 GSD to wymiar terenowy piksela.

Kolejnym etapem jest określenie minimalnej bazy podłużnej (B_x) i poprzecznej (B_y). Baza podłużna jest odległością pomiędzy kolejnymi miejscami fotografowania (wykonania kolejnych zdjęć) w tym samym szeregu, baza poprzeczna jest natomiast odległością pomiędzy sąsiednimi szeregami. Wielkość bazy jest bezpośrednio powiązana z pokryciem pomiędzy zdjęciami.

O pokryciu pomiędzy zdjęciami mówimy wtedy, gdy ten sam obszar odwzorowany jest na dwóch, bądź większej liczbie zdjęć. W klasycznych opracowaniach fotogrametrycznych zakłada się, że każdy fragment opracowywanego obszaru musi zostać odwzorowany przynajmniej na dwóch zdjęciach. Teoretycznie minimalne pokrycie podłużne pozwalające na spełnienie tego warunku wynosi 50% jednakże ze względu na praktyczne czynniki (np. tolerancje nawigacyjne) podczas projektowania typowych misji fotolotniczych przyjmuje się, że pokrycie podłużne (p) nie powinno być mniejsze niż 60%.

Pokrycie poprzeczne (pomiędzy szeregami) służy powiązaniu ze sobą kolejnych szeregów, podczas aerotriangulacji w jeden spójny blok, na ogół przyjmuje się, że pokrycie poprzeczne (q) nie powinno być mniejsze niż 30%.



By wyznaczyć terenowy wymiar baz fotografowania należy skorzystać z poniższych zależności:

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

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

Gdzie: **B_x** to wymiar terenowy bazy podłużnej,
B_y to wymiar terenowy bazy poprzecznej,
L_x to terenowy zasięg zdjęcia wzdłuż kierunku lotu,
L_y to terenowy zasięg zdjęcia w poprzek kierunku lotu,
p to pokrycie podłużne,
q to pokrycie poprzeczne.

Znając wymiar bazy fotografowania oraz obszaru opracowania możemy wyznaczyć liczbę szeregów (**N_y**), która jest wprost zależna od wymiaru bazy poprzecznej (równej odległości pomiędzy szeregami). Drugą z wielkości, którą można określić znając bazę podłużną jest liczba zdjęć w pojedynczym szeregu (**N_x**), która musi uwzględniać to, że pierwsze i ostatnie zdjęcie powinny zostać wykonane w odległości 1.5 bazy podłużnej od granicy obszaru opracowania.

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

$$N_x = \frac{D_x}{B_x} + 4$$

Gdzie: **N_y** to liczba szeregów,
N_x to liczba zdjęć w pojedynczym szeregu,
D_y to zasięg obszaru opracowania w poprzek kierunku lotu,
B_y to wymiar terenowy bazy poprzecznej,
D_x to zasięg obszaru opracowania wzdłuż kierunku lotu,
B_x to wymiar terenowy bazy podłużnej.

Otrzymane z powyższych wzorów wartości **N_y** i **N_x** na ogół nie będą liczbami całkowitymi, należy je więc zaokrąglić w górę i tak zmodyfikować parametry nalotu by nie zwiększyć obszaru opracowania. Można to uczynić na dwa podstawowe sposoby:

- Zmniejszając GSD przy zachowaniu tych samych parametrów pokrycia podłużnego i poprzecznego.
- Zwiększając projektowane pokrycie podłużne i poprzeczne, zachowując wielkość GSD.

Znając ostateczne parametry lotu należy jeszcze skontrolować, czy interwał czasu pomiędzy ekspozycjami (**Δt**) nie jest mniejszy od cyklu pracy kamery:

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

Gdzie: **Δt** to interwał czasu pomiędzy ekspozycjami,
B_x to wymiar terenowy bazy podłużnej,
V to prędkość samolotu.

Ostateczną liczbę zdjęć (**N**) w projekcie, dla prostokątnego bloku obliczamy według wzoru:

$$N = N_x \cdot N_y$$

Gdzie: **N** to liczba zdjęć w bloku,
N_y to liczba szeregów,
N_x to liczba zdjęć w szeregu.

Jeżeli zaprojektowany blok nie jest prostokątny należy zsumować liczby zdjęć w poszczególnych szeregach.

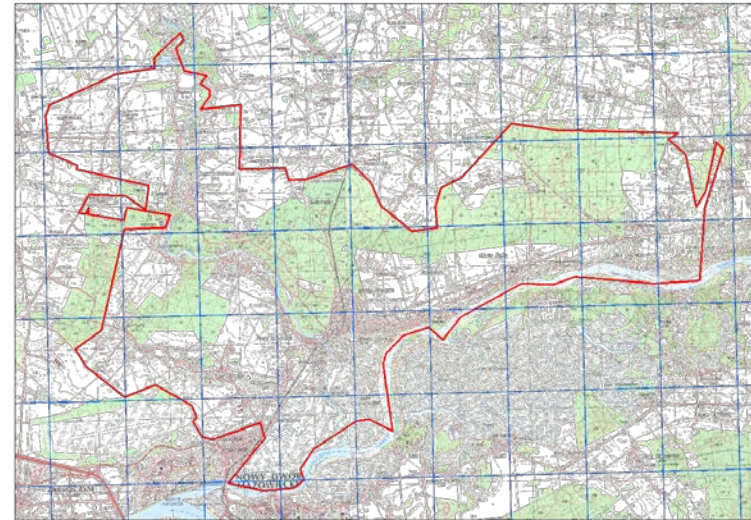
Otrzymaną wielkość należy porównać ze wzorem empirycznym:

$$N = K \cdot \frac{P_{ob}}{P_n}$$

Gdzie: **N** to liczba zdjęć w bloku,
P_{ob} to powierzchnia obszaru opracowania,
P_n to powierzchnia użyteczna modelu,
K to współczynnik empiryczny, który w zależności od regularności i wielkości obszaru przyjmuje wartości z zakresu: 1.10 ÷ 1.25.

Drugim ważnym parametrem jest czas, jaki samolot ma spędzić w powietrzu (powinien być on jak najkrótszy – względy ekonomiczne), podczas jego obliczania należy przyjąć, że pojedynczy nawrót trwa około 140 sekund i uwzględnić czas dolotu do obszaru fotografowania od najbliższego lotniska i powrotu na nie.

Część obliczeniowa – przykładowe opracowanie



Przedstawiona powyżej gmina (Pomiechówek), swoim zakresem obejmuje prostokątny obszar o wymiarach 7 (północ-południe) na 9 (wschód-zachód) arkuszy 1 : 5 000 w układzie 1992. Nalot będzie więc wykonywany ze wschodu na zachód, a wymiary obszaru opracowania wynoszą odpowiednio:

$$D_x = 19\,090\text{ m}$$

$$D_y = 17\,219\text{ m}$$

Nalot należy zaplanować pod wykonanie ortofotomapy o pikselu równym 25 cm, z wykorzystaniem kamery DMC IIe 230 i samolotu Tencam MMA.

Minimalna wielkość GSD i wysokość lotu wyniosą więc:

$$\text{GSD} = 25\text{ cm}$$

$$W = 4107\text{ m}$$

Przy przeciętnej wysokości terenu (H_{sr}) nieprzekraczającej 150 m wysokość absolutna lotu (W_{abs}) będzie mniejsza niż maksymalny pułap lotu samolotu Tencam MMA, wynoszący 4572 m n.p.m.

Dla takiej wysokości lotu uzyskamy następujące zasięgi terenowe zdjęć:

$$L_X = 3536 \text{ m}$$

$$L_Y = 3888 \text{ m}$$

Zakładając minimalne pokrycia $p = 60\%$ i $q = 30\%$, bazy wyniosą:

$$B_X = 1414 \text{ m}$$

$$B_Y = 2722 \text{ m}$$

Otrzymana liczba szeregów wynosi 6.3, a liczba zdjęć w szeregu 17.5 należy więc tak przeprojektować nalot by składał się on z 7 szeregów po 18 zdjęć.

Można to uzyskać zmniejszając bazy do:

$$B_X = 1363 \text{ m}$$

$$B_Y = 2460 \text{ m}$$

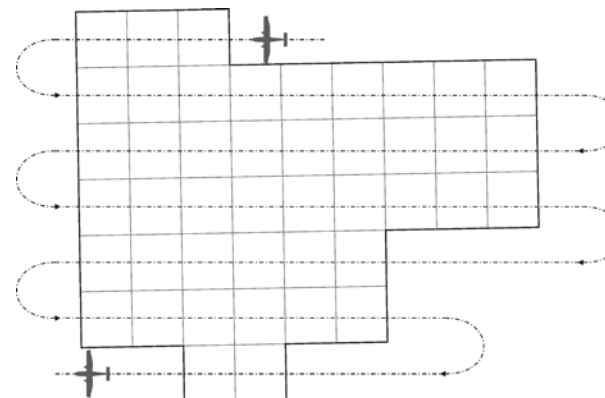
Spowoduje to zwiększenie pokryć do:

$$p = 61.5\%$$

$$q = 36.7\%$$

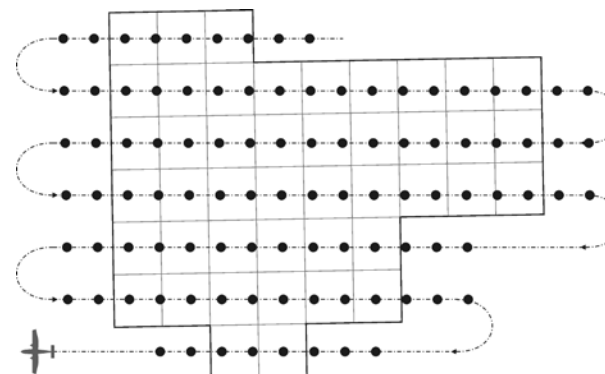
Samolot Tencam MMA, pokona odległość dzielącą dwa kolejne zdjęcia w szeregu (B_X) w czasie od 18.4 do 40.9 sekund, wynosi więc ona więcej niż cykl pracy kamery (1.8 s).

Ze względu na nieregularny kształt obiektu, można spróbować zmniejszyć długość pierwszego (licząc od północy) i trzech ostatnich szeregów:



Na nieregularny blok będą się składały kolejno (licząc od północy):
jeden szereg z 9 zdjęciami,
trzy szeregi po 18 zdjęć,
dwa szeregi po 14 zdjęć,
jeden szereg z 8 zdjęciami.

Suma zdjęć wyniesie 96 o następującym rozłożeniu punktów nadirowych:



Gdybyśmy pozostali przy bloku o kształcie regularnym to składałby się on z 7 szeregów po 18 zdjęć, czyli 126 zdjęć.

W sprawozdaniu poza liczbą zdjęć (N) należy jeszcze policzyć i podać:

- Sumaryczny czas lotu samolotu.
- Współczynnik k obliczony na podstawie wzoru empirycznego (uwzględniającego stosunek powierzchni opracowania do powierzchni „nowej”) i wyznaczonej liczby zdjęć.

Cześć graficzna

Cześć graficzna powinna zostać wykonana na mapie topograficznej i zawierać następujące elementy:

1. Granice opracowywanego obiektu (zielony, ciągły gr. 1 mm)
2. Granice ortofotomapy wg. sekcji (niebieski, ciągły gr. 0.2mm)
3. Osie szeregów i punkty nadirowe (czerwony, ciągły, gr. 0.3 mm)
4. Numeracja szeregów (cyfry czerwone wys. 6 mm)
5. Miejsce włączenia i wyłączenia kamery – pierwsze i ostatnie zdjęcie (niebieski, ciągły, gr. 1 mm, prostopadle do linii nalogu, strzałki na krańcach linii, dł. 1 cm w kierunku lotu)
6. Kierunek północy

Cześć graficzna powinna zostać wykonana w formie elektronicznej i przesłana wraz z częścią obliczeniową, na adres mailowy prowadzącego, w postaci pdf.

Dane

Danymi wejściowymi do ćwiczenia są:

1. Granice zadanej gminy (plik dxf),
2. Podział na arkusze 1:5000 (plik dxf),
3. GSD ortofotomapy,
4. Minimalne pokrycie poprzeczne i podłużne,
5. Dostępne kamery i samoloty,
6. Mapa topograficzna

Parametry wybranych samolotów fotogrametrycznych:

Cessna 402



Źródło: MGGP Aero

Prędkość (km/h): 132-428
Pułap (m): 8200
Czas lotu (h): 5

Cessna T206H NAV III



Źródło: MGGP Aero

Prędkość (km/h): 100-280
Pułap (m): 4785
Czas lotu (h): 5

Vulcan Air P68 Obeserver 2



Źródło: OPEGIEKA Elbląg

Prędkość (km/h): 135-275
Pułap (m): 6100
Czas lotu (h): 6

Tencam MMA



Źródło: Airborne Technologies

Prędkość (km/h): 120-267
Pułap (m): 4572
Czas lotu (h): 6

Parametry wybranych kamer fotogrametrycznych:

Z/I DMC IIe 230



Wymiar matrycy (px): 15552×14144
Wymiar piksela (μm): 5.6
Kanały spektralne: R, G, B, NIR
Ogniskowa (mm): 92
Cykl pracy (s): 1.8
Waga (kg): 63

Leica DMC III



Wymiar matrycy (px): 25728×14592
Wymiar piksela (μm): 3.9
Kanały spektralne: R, G, B, NIR
Ogniskowa (mm): 92
Cykl pracy (s): 1.9
Waga (kg): 63

UltraCam Falcon M2 70



Wymiar matrycy (px): 17310×11310
Wymiar piksela (μm): 6.0
Kanały spektralne: R, G, B, NIR
Ogniskowa (mm): 70
Cykl pracy (s): 1.35
Waga (kg): 61

UltraCam Eagle M2 80



Wymiar matrycy (px): 23010×14790
Wymiar piksela (μm): 4.6
Kanały spektralne: R, G, B, NIR
Ogniskowa (mm): 80
Cykl pracy (s): 1.65
Waga (kg): 61