

Wpływ deniwelacji terenu na niejednorodność skali zdjęcia lotniczego (kartometryczność zdjęcia)

Cel:

Zapoznanie z problematyką kartometryczności zdjęcia. Opanowanie pojęć: zdjęcie ściśle pionowe, zdjęcie prawie pionowe (nachylone), przesunięcia radialne punktów na zdjęciu, promień radialny, maksymalne prognozowane przesunięcia radialne, średnia płaszczyzna odniesienia, dokładność fotomapy (ortofotomapy), piksel terenowy, piksel skanowania.

Materiały i narzędzia do wykonania ćwiczenia:

Zdjęcie lotnicze w postaci cyfrowej terenu rejonu Beskidu Sądeckiego (Wola Łużańska): format 23 x 23 cm, piksel skanowania 25 μm , stała kamery 153.17 mm (**Beskid.tif**).

Zdjęcie lotnicze w postaci cyfrowej rejonu Nowa Huta: format 23 x 23 cm, piksel skanowania 25 μm , stała kamery 152.40 mm (**Krakow.tif**).

Mapa topograficzna rejonu Beskidu Sądeckiego w skali 1:10 000

Mapa topograficzna rejonu Nowa Huta w skali 1:10 000

Mapy topograficzne terenów przedstawionych na zdjęciach w postaci cyfrowej (**BESKID_map.tif** i **KRAKOW_map.tif**) o pikselu skanowania 70 μm .

Zdjęcie lotnicze w formie źródłowej lub wstępnie przetworzonej, zarówno w postaci odbitki stykowej jak i zeskanowanego negatywu, może dostarczyć wielu informacji o geometrii obiektów na nim odwzorowanych. Może służyć na przykład do aktualizacji mapy topograficznej, do prac związanych z projektowaniem inwestycyjnym, kartowaniem wyników interpretacji i odczytania zdjęć, itd.

Dla świadomego korzystania z pomiarów na zdjęciach lotniczych należy, zdawać sobie sprawę z dokładności naszych pomiarów, czyli **kartometryczności zdjęcia** które używamy. Przez kartometryczność zdjęcia zatem będziemy uważać dokładność z jaką odwzorowane na zdjęciu punkty odpowiadają położeniu na mapie w takiej samej skali jak zdjęcie. Inaczej mówiąc z jaką dokładnością punkty odwzorowane na zdjęciu w rzucie środkowym odpowiadają mapie w rzucie prostokątnym (ortogonalnym). Wiadomo, że warunek taki jest spełniony tylko wtedy, gdy teren jest płaski i poziomy, a zdjęcie ściśle pionowe (płaszczyzna zdjęcia równoległa do terenu). W każdym innym przypadku (a z takimi zazwyczaj mamy do czynienia) położenie punktu na zdjęciu od położenia punktu na mapie będzie się różnić o tzw. **przesunięcie radialne Δr** (Rys.1). Przesunięcia takie spowodowane są niepłaskością terenu (deniwelacjami terenu) oraz nachyleniem zdjęcia (niepionowością osi kamery). Nachylenie zdjęcia można stosunkowo prosto wyeliminować poprzez przekształcenie zdjęcia metodą transformacji rzutowej (przekształcenie rzutowe). W tym celu należy znać na zdjęciu i mapie cztery pary homologicznych punktów dostosowania. Po wykonaniu takiego przetworzenia, nowe, przetworzone zdjęcie możemy traktować jako ściśle pionowe i obarczone wpływem jedynie błędów deniwelacji terenu. W dalszych naszych rozważaniach przyjmijemy, że zdjęcia są już ściśle pionowe.

Wpływ deniwelacji terenu na przemieszczenie punktów na zdjęciu w stosunku do rzutu środkowego odpowiadającego ich poprawnemu położeniu na płaszczyźnie odniesienia (Rys.1) wyraża się wzorem (1):

$$\Delta r = \frac{\Delta h \cdot r}{W} \quad (1)$$

gdzie:

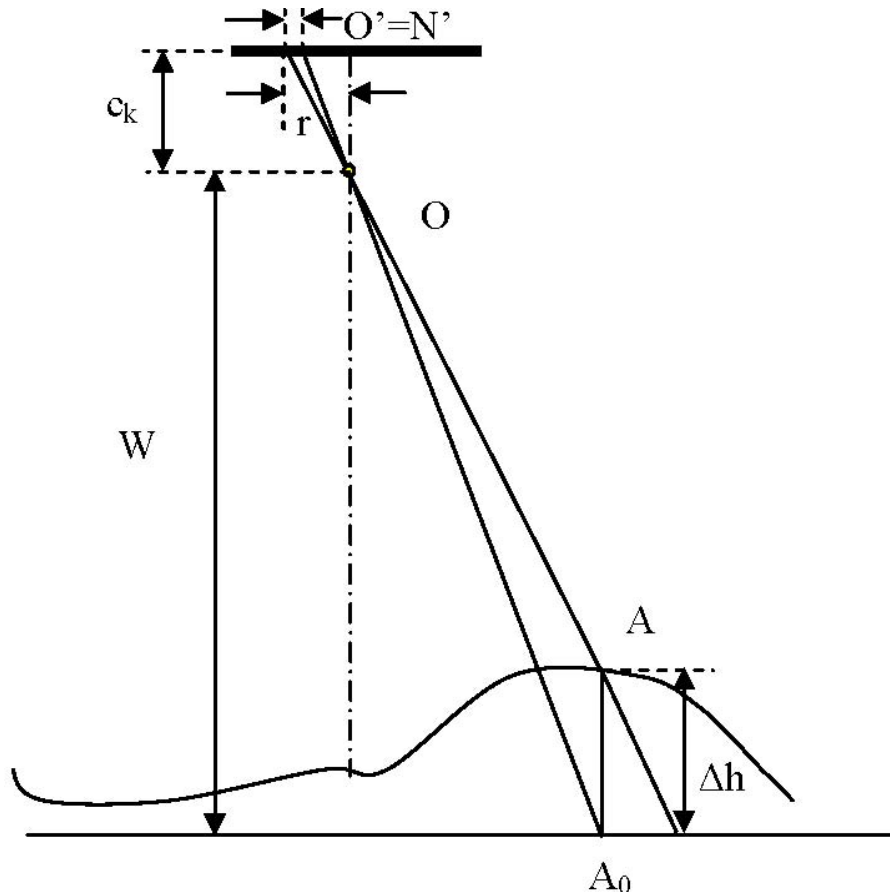
Δr – przesunięcie radialne względem punktu nadirowego (dla zdjęć ściśle pionowych punkt nadirowi pokrywa się z punktem głównym zdjęcia),

Δh – wysokościowe położenie punktu ponad płaszczyznę odniesienia,

r – promień radialny punktu, czyli długość odcinka między punktem nadirowym (punktem głównym zdjęcia) a rozpatrywanym punktem na zdjęciu,

W – wysokość lotu ponad płaszczyznę odniesienia.

Jeśli chcemy wykorzystać zdjęcie jako materiał kartometryczny (czyli fotomapę), musimy sobie zdawać sprawę z odstępstw jego punktów od ich położenia w rzucie ortogonalnym. Jeśli maksymalne przesunięcie radialne Δr_{max} na zdjęciu będzie mniejsze lub równe maksymalnej dopuszczalnej odchyłce σ_{max} dla fotomapy to takie zdjęcie możemy uznać za fotomapę o skali równej skali zdjęcia. Jak widać ze wzoru (1) przesunięcia radialne są wprost proporcjonalne do różnic wysokości i wielkości promienia radialnego, a odwrotnie proporcjonalne do wysokości lotu. Wynika z tego, że największe błędy występują na skraju zdjęcia (r_{max}) i dla punktów o ekstremalnych wysokościach w terenie (H_{max} i H_{min}). W pobliżu środka zdjęcia błędy są najmniejsze. Na dokładność zdjęcia ma również wpływ jego skala. Im jest ona mniejsza (W – większe) tym dokładność odwzorowania punktów na zdjęciu większa (Δr mniejsze).



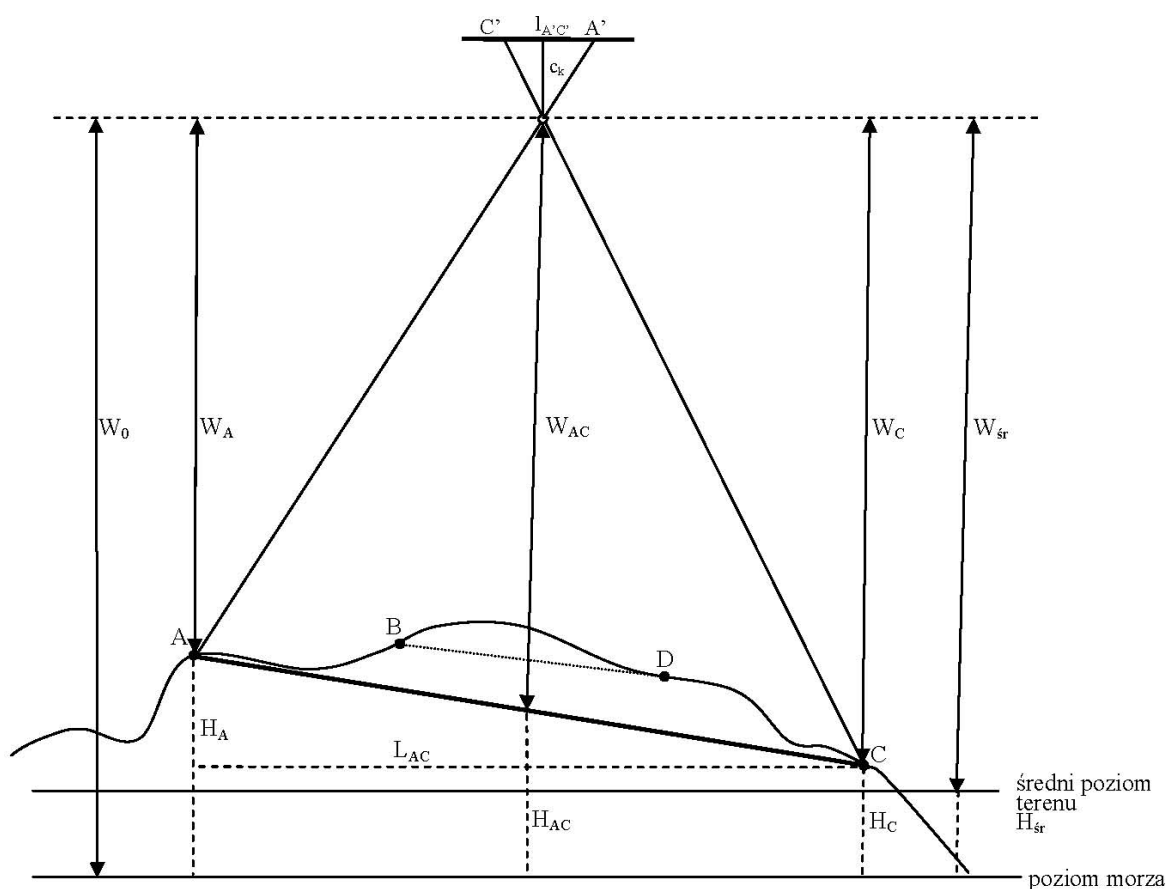
Rys. 1

Badanie kartometryczności obejmuje:

1. Wyznaczenie skali zdjęcia i wysokości lotu z wykorzystaniem mapy topograficznej (lub ortofotomapy).
2. Określenie przesunięć radialnych dla punktów o ekstremalnych wysokościach.
3. Określenie maksymalnych, prognozowanych przesunięć radialnych spowodowanych deniwelacjami terenu.
4. Określenie prognozowanej powierzchni zdjęcia odpowiadającej kryterium dokładności fotomapy.
5. Obliczenie wielkości dopuszczalnych deniwelacji terenu dla spełnienia warunku kartometryczności zdjęcia.

Ad.1) Wyznaczenie skali zdjęcia:

- Dokonanie wyboru dwóch jak najdłuższych odcinków symetrycznych w stosunku do punktu głównego, możliwych do jednoznacznego rozpoznania na zdjęciu i mapie.
- Pomiar długości tych odcinków w układzie pikselowym na zdjęciu.
- Określenie długości terenowej tych odcinków z mapy topograficznej (ortofotomapy) lub ze współrzędnych.
- Obliczenie skali w jakiej każdy z odcinków odfotografował się na zdjęciu.
- Obliczenie wysokości lotu ponad średni poziom tych odcinków.
- Obliczenie średniej wysokości absolutnej lotu W_0 (ponad poziom morza).
- Obliczenie średniej wysokości terenu $H_{sr} = (H_{max} + H_{min})/2$
- Obliczenie wysokości lotu ponad średni poziom terenu $W_{sr} = W_0 - H_{sr}$
- Obliczenie średniej skali zdjęcia.
- Obliczenie maksymalnej i minimalnej skali zdjęcia.
- Obliczenie średniej, maksymalnej i minimalnej wielkości piksela terenowego.



Rys.2

Oznaczenia:

L_{AC} – terenowa odległość między punktami A i C z pomiaru na mapie

$l_{A'C'}$ – długość odcinka A'C' na zdjęciu

H_{AC} – średni poziom odcinka AC

W_{AC} – wysokość lotu ponad średni poziom odcinka AC

H_{sr} – średni poziom terenu określony na podstawie mapy $H_{sr} = (H_{max} + H_{min})/2$

W_{sr} – wysokość lotu ponad średni poziom terenu $W_{sr} = W_0 - H_{sr}$

$W_{A...D}$ – wysokość lotu ponad określony punkt A...D

$H_{A...D}$ – wysokość punktu A...D

Obliczenia:

1. Wyznaczenie skali zdjęcia dla średniego poziomu odcinka AC oraz BD:

$$m_{Z_{AC}} = \frac{L_{AC}}{l_{AC}} \quad m_{Z_{BD}} = \frac{L_{BD}}{l_{BD}} \quad (2)$$

2. Wyznaczenie wysokości lotu ponad średni poziom odcinka AC i BD:

$$W_{AC} = m_{Z_{AC}} \cdot c_k \quad W_{BD} = m_{Z_{BD}} \cdot c_k \quad (3)$$

3. Wyznaczenie wysokości absolutnej lotu:

$$W_0^{AC} = W_{AC} + H_{AC} \quad W_0^{BD} = W_{BD} + H_{BD} \quad (4)$$

$$W_0 = \frac{W_0^{AC} + W_0^{BD}}{2} \quad (5)$$

4. Wyznaczenie mianownika średniej skali zdjęcia:

$$m_{Z_{sr}} = \frac{W_0 - H_{sr}}{c_k} \quad (6)$$

5. Wyznaczenie średniego piksela terenowego zdjęcia:

$$p_{T_{sr}} = m_{z_{sr}} \cdot p_s \quad (7)$$

gdzie:

p_T – piksel terenowy

p_s – piksel zdjęcia (skanowania)

6. Wyznaczenia ekstremalnych mianowników skali zdjęcia:

$$m_{Z_{max}} = \frac{W_0 - H_{min}}{c_k} \quad (8)$$

$$m_{Z_{min}} = \frac{W_0 - H_{max}}{c_k} \quad (9)$$

7. Wyznaczenie ekstremalnych wielkości pikseli terenowych:

$$p_{T_{max}} = m_{z_{max}} \cdot p_s \quad (10)$$

$$p_{T_{min}} = m_{z_{min}} \cdot p_s \quad (11)$$

Jeżeli wykorzystamy do wyznaczenia skali dwa odcinki, to należy zdawać sobie sprawę z tego, że wysokości lotu ponad te odcinki mogą być różne (średnie wysokości odcinków mogą być inne), natomiast bezwzględna wysokość lotu (ponad poziom morza) powinna być taka sama. Jeśli uzyskamy różne wartości W_0 z dwóch odcinków, to błąd ten spowodowany może być małą dokładnością pomiaru odcinków lub najczęściej niesymetrycznym rozkładem końców odcinków wokół punktu głównego (nie usunięty do końca wpływ nachylenia zdjęcia). Niemniej jednak różnica ΔW_0 nie powinna przekraczać 0.5% wysokości lotu (w naszym przypadku kilkunastu metrów).

Po wykonaniu wszystkich obliczeń należy przeanalizować wartości wysokości absolutnej lotu ($\Delta W_0 \leq 0.5\% W$), wartości skal zdjęcia dla różnych wysokości punktów i wysokości lotu oraz napisać wnioski pokazujące zależność pomiędzy wysokością lotu, wysokością punktów a skalą zdjęcia i wielkością piksela terenowego.

Ad.2) Określenie przesunięć radialnych dla punktów o ekstremalnych wysokościach:

Aby określić przesunięcia radialne punktu na zdjęciu powinniśmy znać różnicę wysokości tego punktu od poziomu odniesienia, wysokość lotu ponad poziom odniesienia oraz wielkość promienia radialnego tego punktu na zdjęciu. Dla określenia przesunięć radialnych punktów zdjęcia o ekstremalnych wysokościach H_{max} i H_{min} posiadamy już wszystkie te dane poza wielkością promieni radialnych do tych punktów.

Promień radialny to odcinek pomiędzy punktem nadirowym zdjęcia (w naszym przypadku punktem głównym) a obrazem danego punktu na zdjęciu. Wyznaczenie wielkości promieni radialnych należy przeprowadzić na obrazie cyfrowym zdjęcia w następujący sposób:

- a. Wyznaczyć położenie punktu głównego zdjęcia jako punktu przecięcia dwóch przekątniowych łącznic znaczków tłowych.
- b. Narysować wektory promieni radialnych zawarte pomiędzy punktem głównym a analizowanym ekstremalnym wysokościami punktem zdjęcia oraz zmierzyć długości poszczególnych promieni radialnych w pikselach.
- c. Przeliczyć wielkość promienia radialnego z pikseli na mm w skali zdjęcia z wykorzystaniem znajomości wielkości piksela skanowania.

Teraz należy wyliczyć wielkości przesunięć radialnych na zdjęciu dla punktów o ekstremalnych wysokościach i zastanowić się dlaczego pomimo takich samych różnic wysokości od płaszczyzny odniesienia mają one inne przesunięcia radialne i dlaczego różnią się od siebie znakiem.

Ad.3) Określenie maksymalnych, prognozowanych przesunięć radialnych spowodowanych deniwelacjami terenu:

Aby określić maksymalne prognozowane przesunięcia radialne punktów na zdjęciu powinniśmy znać maksymalną różnicę wysokości od poziomu odniesienia, wysokość lotu ponad poziom odniesienia oraz maksymalną wielkość promienia radialnego na zdjęciu.

Analogicznie do wzoru (1) można napisać, że $\pm \Delta r_{\max} = \frac{\pm \Delta h_{\max} \cdot r_{\max}}{W_{\text{śr}}}$ (12)

Dla określenia maksymalnych prognozowanych przesunięć radialnych punktów zdjęcia o ekstremalnych wysokościach terenowych H_{\max} i H_{\min} posiadamy już wszystkie te dane poza wielkością maksymalnego promienia radialnego na zdjęciu r_{\max} . Przyjmuje się go arbitralnie jako połowę przekątnej formatu zdjęcia (największy promień radialny).

Po obliczeniu maksymalnych prognozowanych przesunięć radialnych na zdjęciu należy pamiętać, że wyliczona wielkość jest wartością bezwzględną dlatego występujące na zdjęciu wartości przesunięć radialnych mogą przyjmować wartości z przedziału od $+\Delta r_{\max}$ do $-\Delta r_{\max}$. Teraz należy porównać obliczony przedział wielkości $\pm \Delta r_{\max}$ z obliczonymi wcześniej wielkościami Δr dla punktów o ekstremalnych wysokościach i skomentować ich wzajemną zależność.

Ad.4) Określenie prognozowanej powierzchni zdjęcia odpowiadającej kryterium dokładności fotomapy:

Zgodnie z Wytycznymi Technicznymi: ZASADY WYKONYWANIA ORTOFOTOMAP W SKALI 1:10 000, jako maksymalną wartość odchyłki na ortofotomapie pomiędzy punktem na fotomapie a jego prawdziwymi współrzędnymi terenowymi przyjmuje się wielkość $\sigma = 0.6\text{mm}$ w skali fotomapy. Jeśli przyjmiemy tę wielkość jako kryterium kartometryczności zdjęcia $\sigma = \Delta r$ to możemy po przekształceniu wzoru (1) wyliczyć promień radialny opisujący na zdjęciu koło, w którym zawarte punkty zdjęcia spełniać będą kryterium kartometryczności. Promień taki obliczamy tylko wtedy, jeśli σ jest mniejsza od Δr_{\max} w innym razie całe zdjęcie możemy traktować jako fotomapę o skali równej skali zdjęcia. Przy założeniu $\sigma = \Delta r$, obliczamy:

$$R_{\max} = \frac{\sigma \cdot W_{\text{śr}}}{\Delta h_{\max}} \quad (13)$$

Po wyznaczeniu wielkości promienia należy obliczyć teraz powierzchnię zdjęcia, która możemy traktować jako fotomapę i porównać ją do całkowitej powierzchni zdjęcia. Należy podać w procentach jaką część zdjęcia spełnia kryterium kartometryczności σ , czyli inaczej jaką część zdjęcia możemy uznać za fotomapę.

Ad.5) Obliczenie wielkości dopuszczalnych deniwelacji terenu dla spełnienia warunku kartometryczności zdjęcia:

Wykonane wcześniej badanie kartometryczności odpowiada na pytanie jaka część analizowanego zdjęcia lotniczego może być traktowana jako mapa fotograficzna w skali zdjęcia o dokładności $\pm\sigma$. Przeprowadzona analiza dotyczy zdjęcia w określonej skali, wykonanego kamerą o znanym stożku, na którym odfotografowany został teren o znanej rzeźbie. Spróbujemy odpowiedzieć na pytanie kiedy dla zdjęć o tych samych parametrach skali i ogniskowej obiektywu całe zdjęcie będziemy mogli nazwać fotomapą. Oczywiście zależęć to będzie od deniwelacji terenu odfotografowanego na tym zdjęciu. Jeśli przekształcimy wzór (2) w taki sposób, że za wielkość $\pm\Delta r_{max}$ przyjmiemy σ , to możemy wyznaczyć maksymalną deniwelację terenową $\pm\Delta H_{max}$ odpowiadającą za spełnienie warunku kartometryczności. Po przekształceniu wzór (2) przybierz postać:

$$\pm \Delta H_{max} = \frac{\pm \sigma \cdot W_{sr}}{r_{max}} \quad (14)$$

Po wykonaniu obliczenia należy w sprawozdaniu sformułować poprawny wniosek wiążący obliczoną wielkość deniwelacji z geometrią zdjęcia.

Realizacja tematu: Ocena kartometryczności zdjęcia lotniczego

Temat jest tematem indywidualnym, wykonywanym w trakcie czterech godzin zajęć laboratoryjnych. Do dyspozycji każdego studenta są dwa zdjęcia cyfrowe i odpowiadające im mapy topograficzne w skali 1:10 000 w postaci cyfrowej. Do dyspozycji są również mapy w postaci cyfrowej udostępniane w Internecie na stronach Geoportalu.

Sprawozdanie z wykonania tematu obejmuje wyniki oceny kartometryczności dla obydwu zdjęć lotniczych oraz wnioski wynikające z tych badań.