

Wykład 2

- Aerotriangulacja:
metody aerotriangulacji
osnowa fotogrametryczna
- Tworzenie NMT

Etapy projektu fotogrametrycznego:

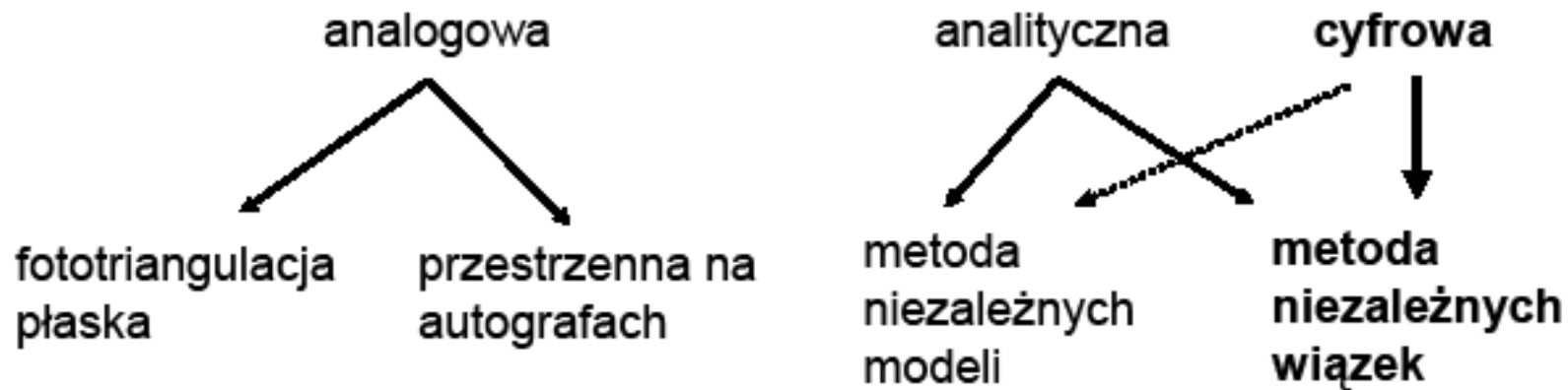
- Sformułowanie zadań i celów
- Zdefiniowanie wymagań i parametrów technicznych, katalog obiektów, układ współrzędnych, wybór oprogramowania
- Projekt lotu, projekt terenowej, sygnalizowanej osnowy fotogrametrycznej
- Wykonanie zdjęć, skanowanie zdjęć
- Inwentaryzacja zdjęć, sprawdzenie pokrycia, projekt terenowej, naturalnej osnowy fotogrametrycznej
- Pomiar terenowej osnowy fotogrametrycznej
- Aerotriangulacja
- Opracowanie:
 - DTM
 - ortofotomapa
 - mapa wektorowa

Kontrola jakości

Wykłady TiF II -2010/11

Regina Tokarczyk

AEROTRIANGULACJA



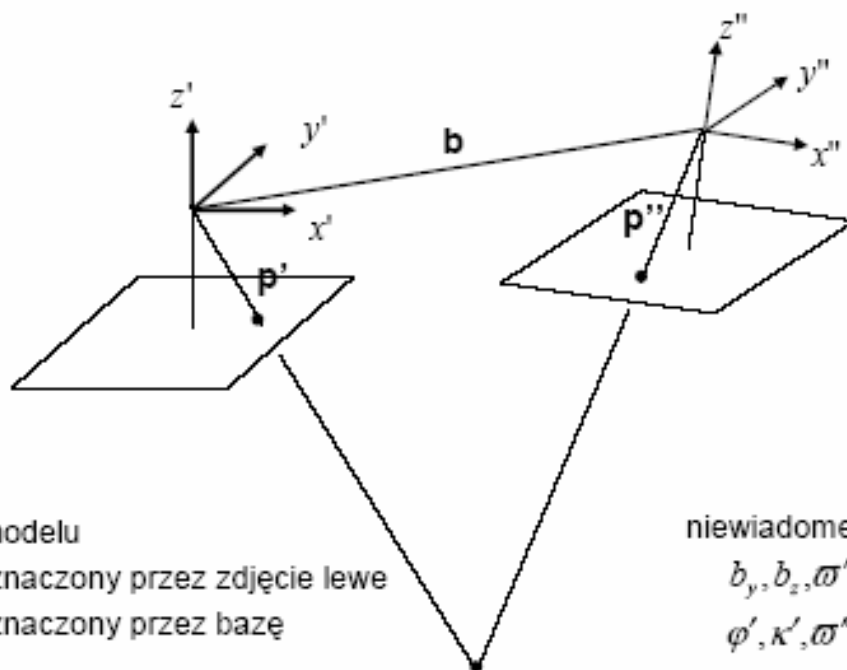
Aerotriangulacja - wstęp

orientacja wzajemna pary zdjęć

rekonstrukcja wzajemnego położenia zdjęć

promienie homologiczne przecinają się tworząc fotogrametryczny model rzeczywistości

model nie posiada georeferencji



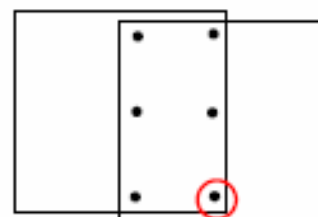
Układ modelu

1. wyznaczony przez zdjęcie lewe
2. wyznaczony przez bazę

niewiadome

$$b_y, b_z, \varpi'', \varphi'', \kappa''$$
$$\varphi', \kappa', \varpi'', \varphi'', \kappa''$$

Do wyznaczenia orientacji wzajemnej potrzebny jest pomiar **wsp. tłowych** dla 5 par punktów homologicznych położonych w rejonach Grubera



Aerotriangulacja - wstęp

orientacja

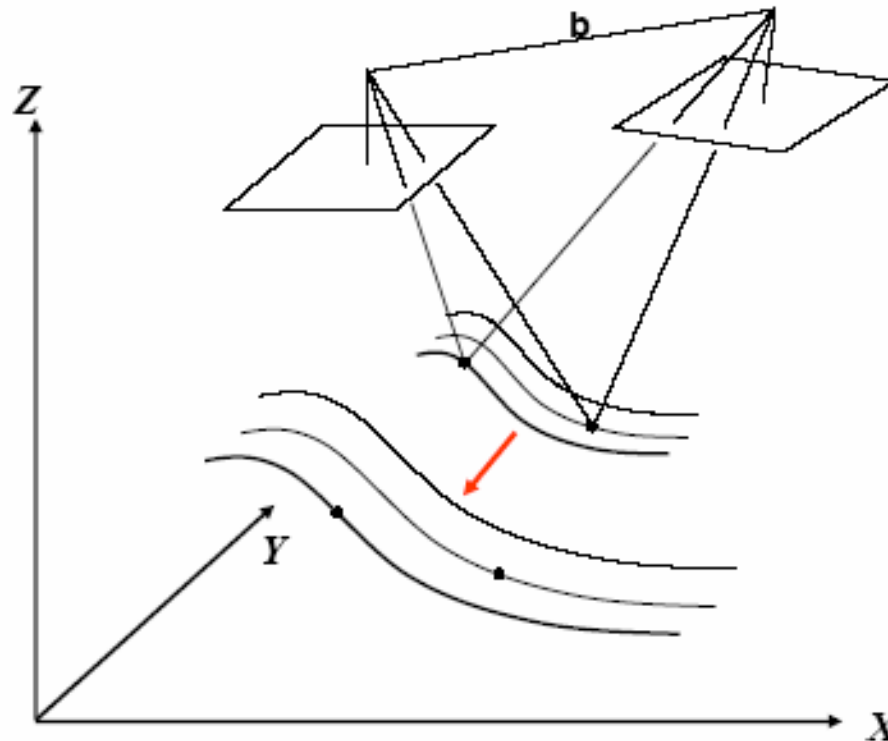
bezwzględna modelu

nadanie modelowi georeferencji

przestrzenny obrót i
przeskalowanie – tak aby model
był umiejscowiony w terenowym
układzie wsp.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X_0 \\ \Delta Y_0 \\ \Delta Z_0 \end{bmatrix} + s \mathbf{R}_m \begin{bmatrix} \bar{x}_m \\ \bar{y}_m \\ \bar{z}_m \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{R}_m(\Omega, \Phi, K)$$

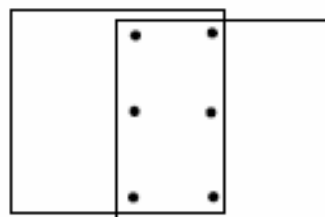


Do wyznaczenia orientacji bezwzględnej modelu
potrzebne są 3 fotopunkty

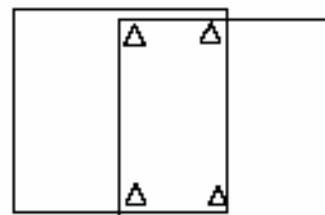
$$3 \times \{ \bar{x}_m, \bar{y}_m, \bar{z}_m, X, Y, Z \}$$

Aerotriangulacja

wzajemna



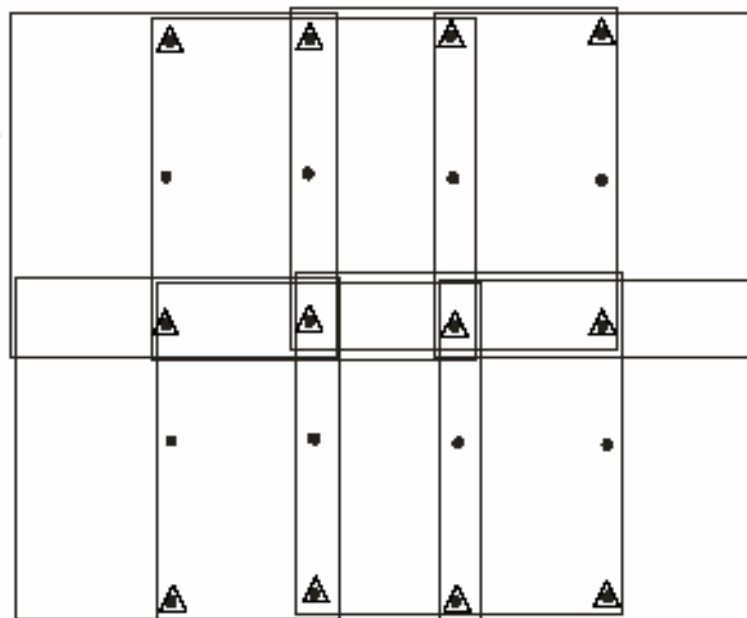
bezwzględna



- punkt wiążący (zdjęcia) , tylko pomiar wsp. tlowych (fotogrametryczna osnowa kameralna)
- △ fotopunkt – pomiar wsp. terenowych i tlowych (fotogrametryczna osnowa polowa)

Ile fotopunktów ...

Fotogrametryczny (regularny) blok zdjęć to zespół zdjęć wykonanych z ustalonym pokryciem podłużnym w szeregach i pokryciem poprzecznym między szeregami



Aerotriangulacja

Pomiar 3(4) fotopunktów dla każdego modelu fotogrametrycznego w dużym bloku obniża efektywność technologii fotogrametrycznej (pomiar terenowy)

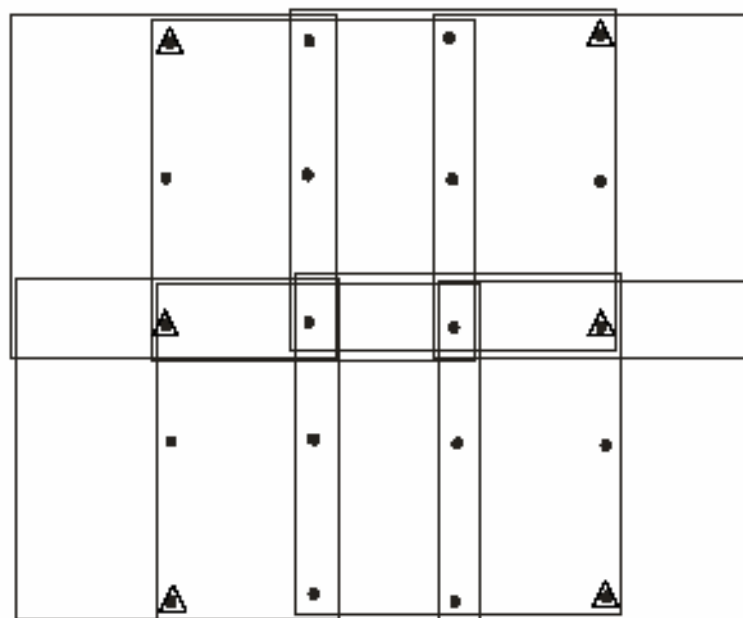
Aby zmniejszyć liczbę fotopunktów wybiera się je tylko na obrzeżach bloku i pomiędzy szeregami, „brakujące” wsp. terenowe pkt. wiążących są wyznaczane w procesie aerotriangulacji

Aerotriangulacja to wyrównanie sieci przestrzennej złożonej ze zbioru punktów wiążących i fotopunktów a celem jest uzgodnienie współrzędnych terenowych punktów wiążących i elementów orientacji zewnętrznej zdjęć

Ile fotopunktów ...

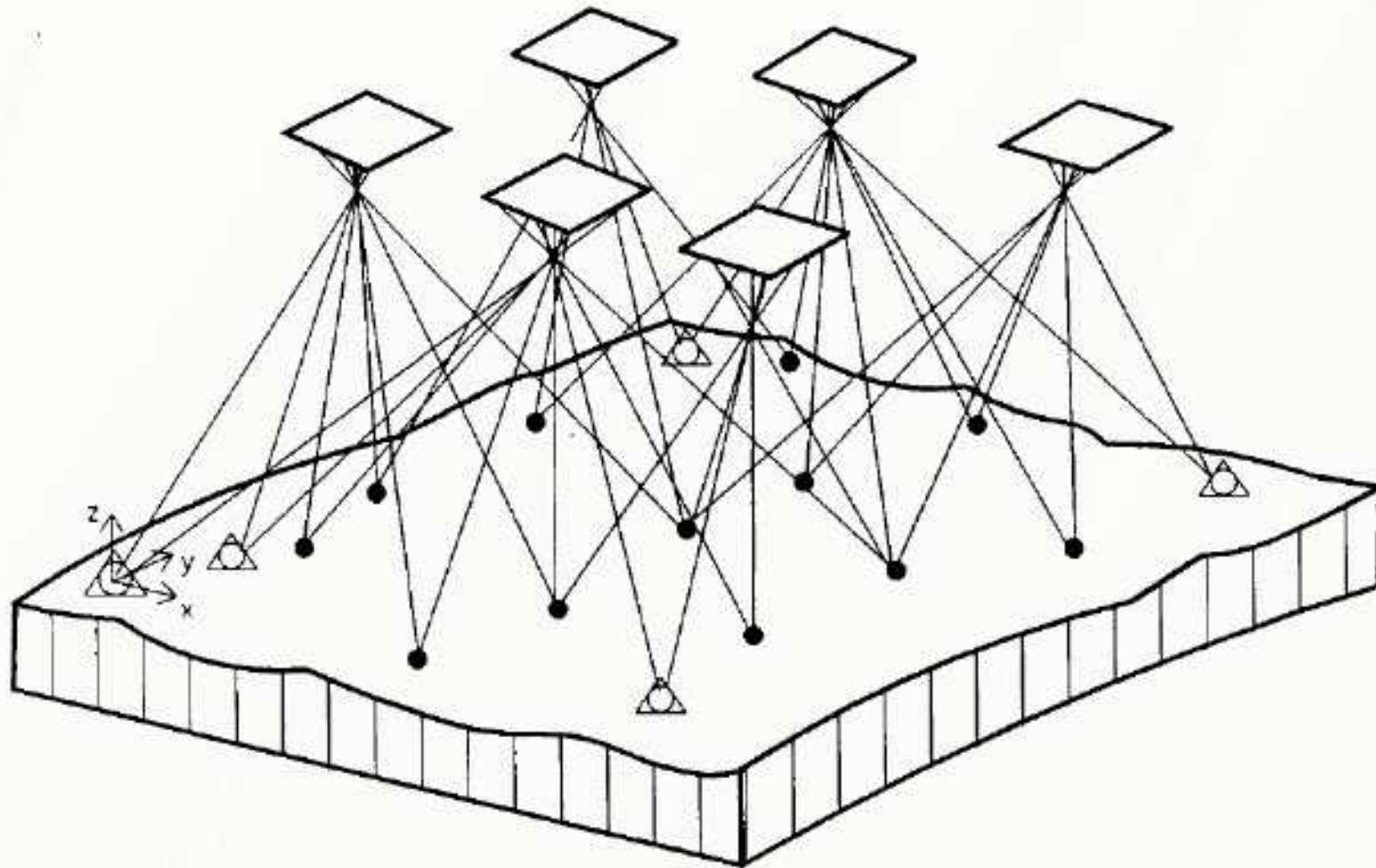
Dawniej stosowano aerotriangulację dwuetapową – w pierwszej budowa modeli, potem „związanie” ich w jedną sieć przestrzenną – metoda niezależnych modeli

Współcześnie stosuje się aerotriangulację w której traktuje się każde zdjęcie niezależnie – metoda niezależnych wiązek



Aerotriangulacja

Aerotriangulacja metodą niezależnych wiązek



Od strony numerycznej aerotriangulacja metodą niezależnych wiązek polega na zestawieniu równań obserwacyjnych dla punktów osnowy fotogrametrycznej; postać równania obserwacyjnego bazuje na równaniach kolinearności

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ -c \end{bmatrix} = \frac{1}{\lambda} \mathbf{A}^T \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix}$$

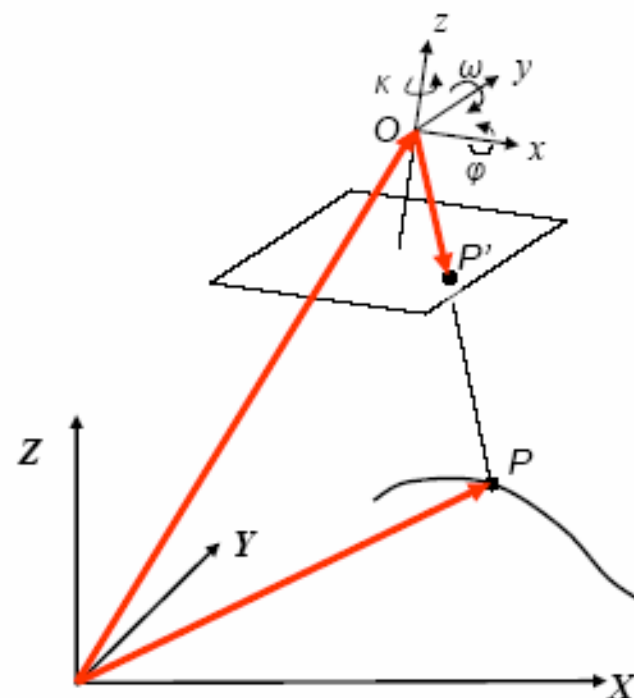
$$x = -c \frac{a_{11}(X - X_0) + a_{21}(Y - Y_0) + a_{31}(Z - Z_0)}{a_{13}(X - X_0) + a_{23}(Y - Y_0) + a_{33}(Z - Z_0)}$$

$$y = -c \frac{a_{12}(X - X_0) + a_{22}(Y - Y_0) + a_{32}(Z - Z_0)}{a_{13}(X - X_0) + a_{23}(Y - Y_0) + a_{33}(Z - Z_0)}$$

Każdy pomierzony punkt na zdjęciu pozwala ułożyć dwa równania obserwacyjne:

$$x + v_x = f_x(X_0, Y_0, Z_0, \varpi, \varphi, \kappa, X, Y, Z)$$

$$y + v_y = f_y(X_0, Y_0, Z_0, \varpi, \varphi, \kappa, X, Y, Z)$$



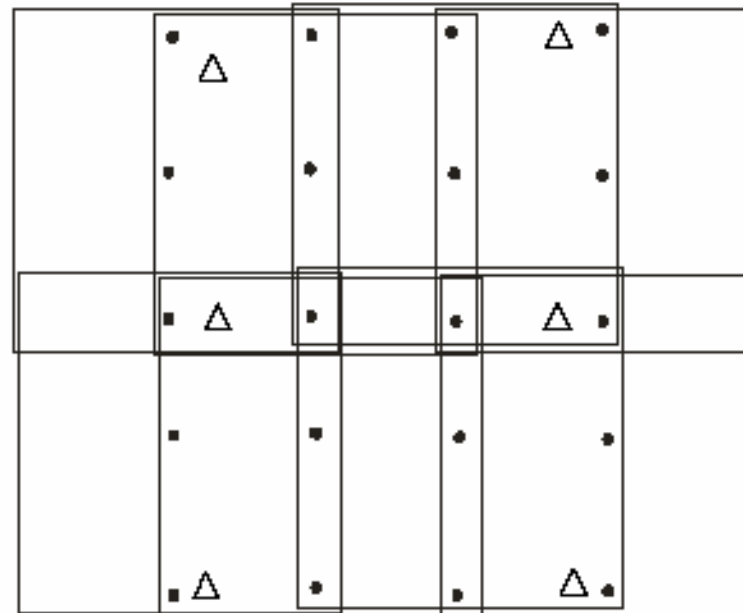
Aerotriangulacja

- Liczba zdjęć 8 liczba pkt. wiążących – 20, liczba fotopunktów - 6
- Liczba równań obserwacyjnych (równania kolinearności):
 - punkty wiążące: $2 \times (6+9+9+6) + 2 \times (6+9+9+6) = 2 \times 30 + 2 \times 30 = 120$
 - fotopunkty: $2 \times (2+2+2+2) + 2 \times (2+2+2+2) = 2 \times 8 + 2 \times 8 = 32$
 - Razem: 152
- Liczba niewiadomych:
 - Elementy orientacji zewnętrznej: $6 \times 8 = 48$;
 - Współrzędne XYZ pkt. wiążących: $20 \times 3 = 60$
 - Razem 108
- Liczba obserwacji nadliczbowych:
 $152 - 108 = 44$

Terminologia ang.:

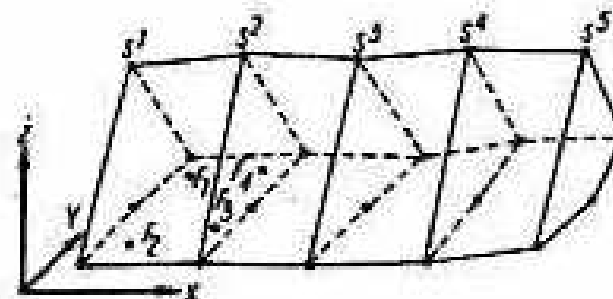
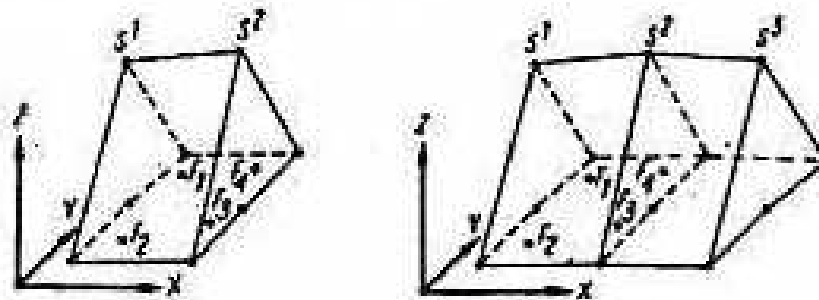
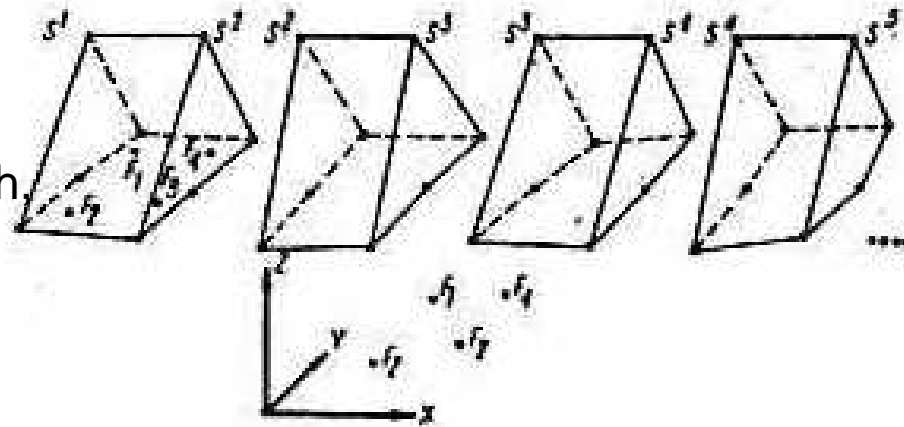
Tie points – punkty wiążące szeregi
pomiędzy sobą

Pass points – punkty wiążące zdjęcia
w szeregach

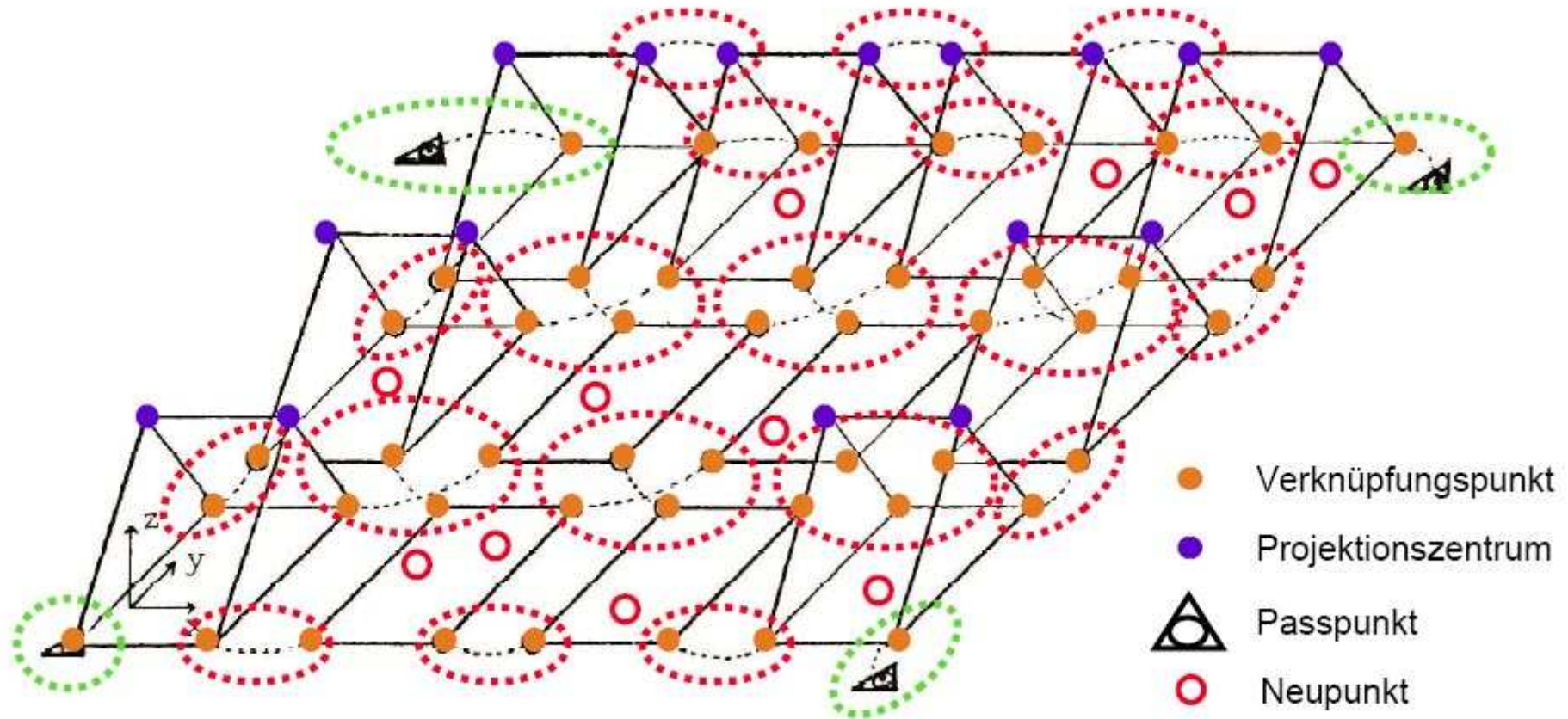


Aerotriangulacja

Metoda niezależnych modeli
Wywodzi się z metod analogowych
gdzie model przestrzenny
budowany był na autografie
analogowym drogą orientacji
wzajemnej w dowolnej skali.



Aerotriangulacja



© Dümmler, 1990, Abbildung entnommen K. Krauss: „Photogrammetrie“, Dümmler-Verlag, 1990

Aerotriangulacja

$$\begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{pmatrix}_{ij} = \begin{pmatrix} 0 & -z & y & -x \\ z & 0 & -x & -y \\ -y & x & 0 & -z \end{pmatrix}_{ij} \cdot \begin{pmatrix} d\omega \\ d\phi \\ d\kappa \\ d\lambda \end{pmatrix}_j - \begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{pmatrix}_j + \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_i - \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}_{ij}$$

W metodzie niezależnych modeli oblicza się wyrównane współrzędne szukanej osnowy X, Y, Z i-tego punktu, orientację modelu : współczynnik skali λ , początek układu modelu X_0, Y_0, Z_0 , orientację kątową modelu $d\omega, d\phi, d\kappa$. Obserwacjami są współrzędne modelu wyznaczanych punktów oraz współrzędne modelu i w terenowym układzie dostosowania punktów osnowy terenowej

Aerotriangulacja

Osnowa fotogrametryczna

Osnowa foto. składa się z wszystkich punktów biorących udział w aerotriangulacji, dzieli się na polową i kameralną.

Polowa osnowa fotogrametryczna (fotopunkty) to zbiór punktów które mają określone współrzędne z odpowiednią dokładnością i są jednoznacznie identyfikowane w terenie i na zdjęciach.

Kameralna osnowa to zbiór punktów które są identyfikowane na zdjęciach a ich współrzędne terenowe są wyznaczone podczas aerotriangulacji. Osnowę kameralną tworzą punkty wiążące zdjęcia i szeregi (lub punkty wyznaczane dla innych celów)

Podziały fotopunktów:

1. Sygnalizowane sztucznie oraz tzw. naturalne (szczegóły terenowe)

2. wg liczby określonych współrzędnych

„pełne”, F-punkty, znane XYZ

„płaskie”, P-punkty, znane XY

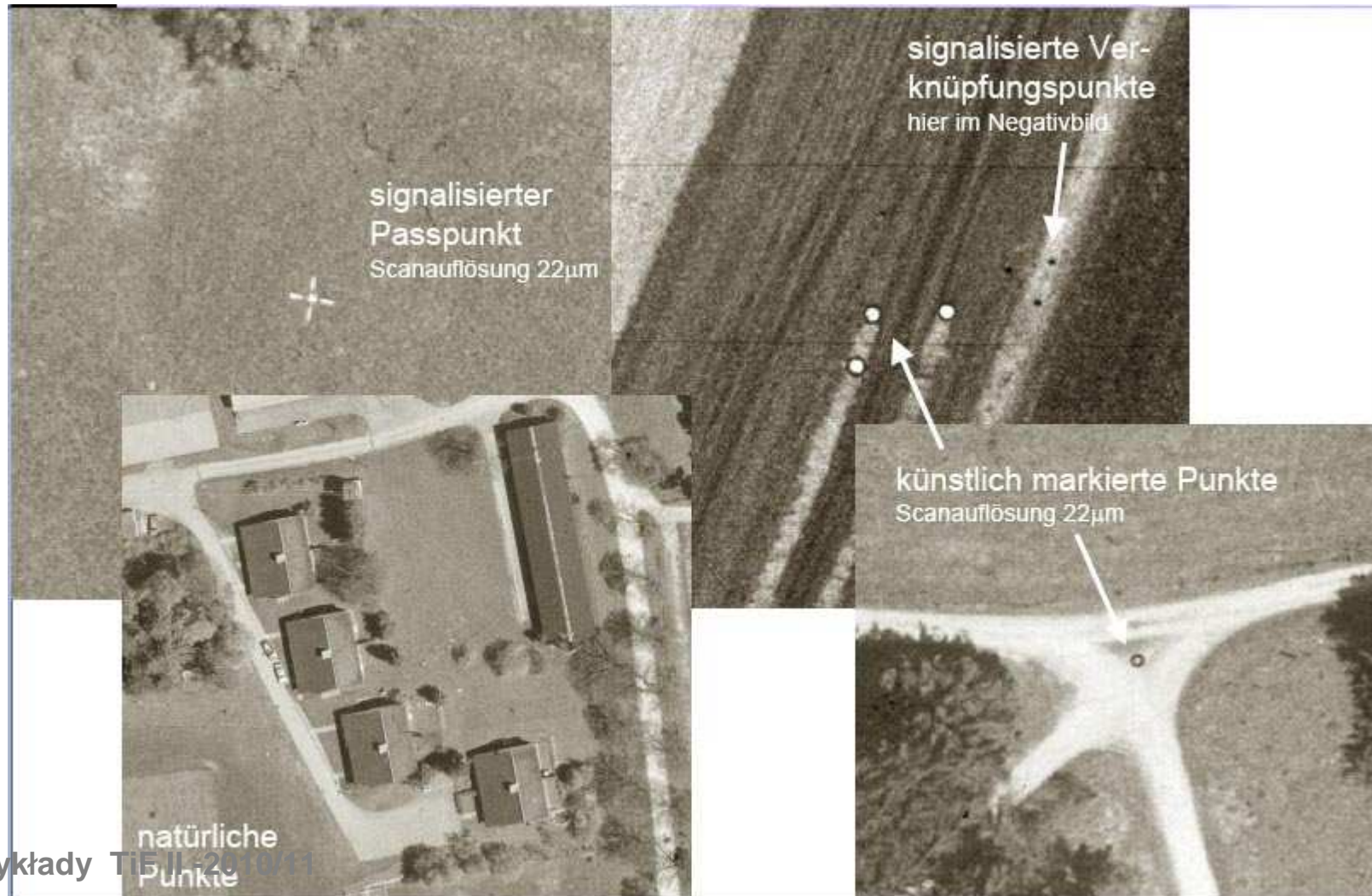
„wysokościowe”, Z-punkty, znane Z

3. Wg funkcji w aerotriangulacji

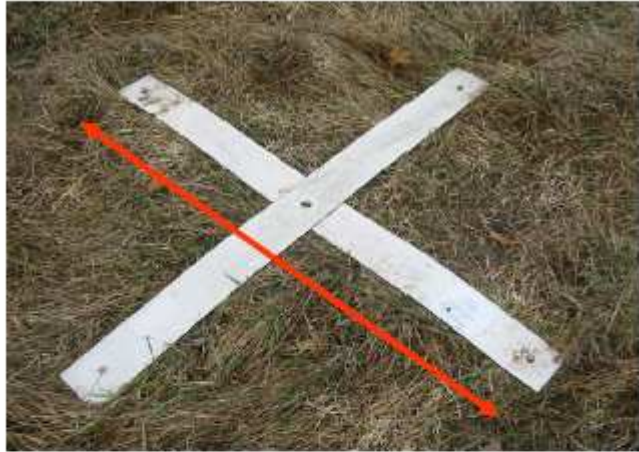
podstawowe, właściwe – biorące udział w wyrównaniu

kontrolne – przeznaczone do sprawdzenia dokładności wyrównania aerotriangulacji

Aerotriangulacja-przykłady sposobów sygnalizacji punktów aerotriangulacyjnych



Aerotriangulacja-przykłady sposobów sygnalizacji punktów aerotriangulacyjnych



Fotopunkty sygnalizowane

Fotopunkty sygnalizowane

$Mz/600 < D[cm] < Mz/300$

D – „średnica: sygnału

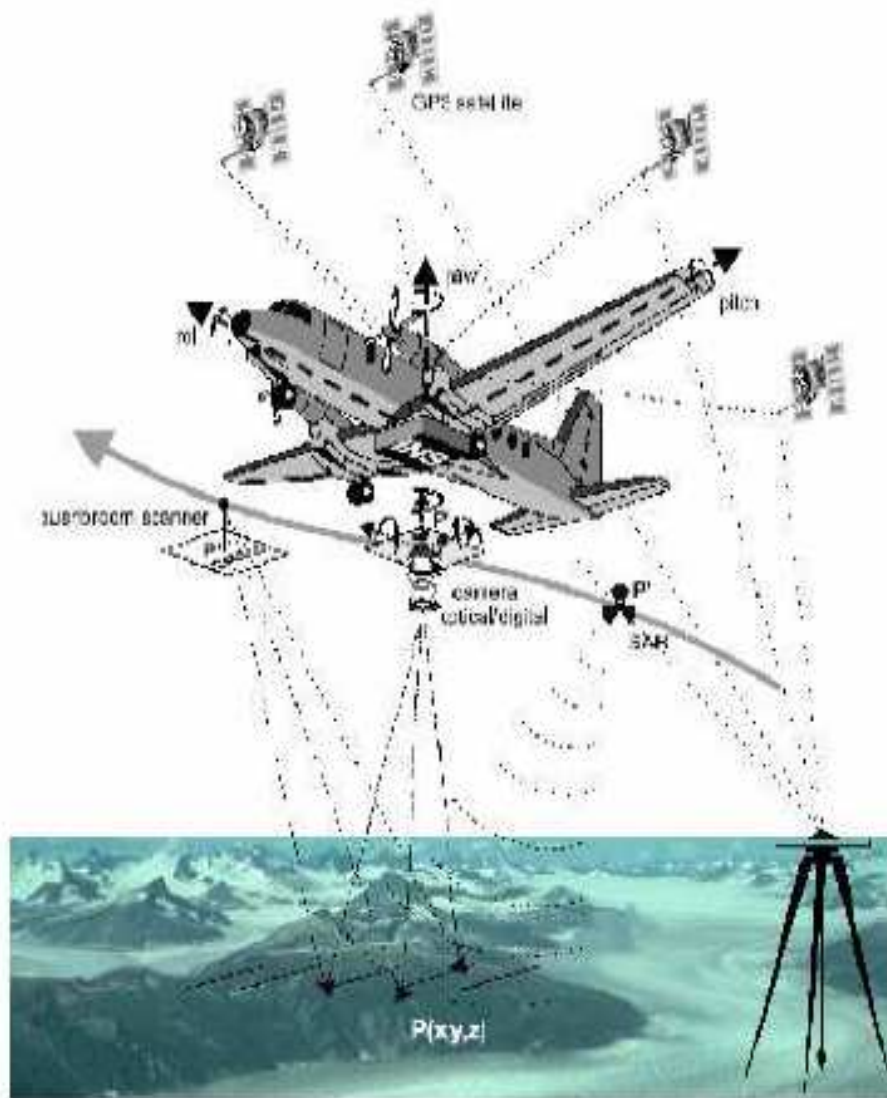
Mz - mianownik skali zdjęcia

$L \geq 3 D$

Zdjęcia cyfrowe: $D = 3 \text{ GSD}$

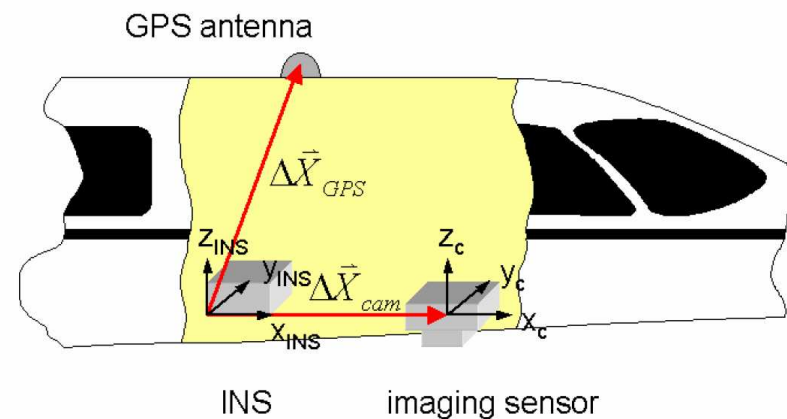


Aerotriangulacja z GPS i INS

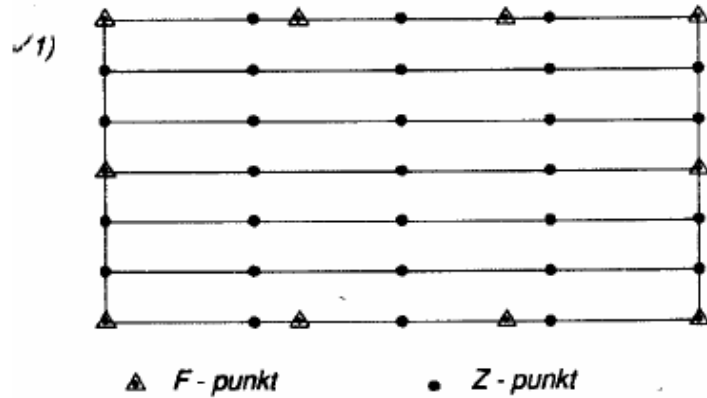


Niewiadome:

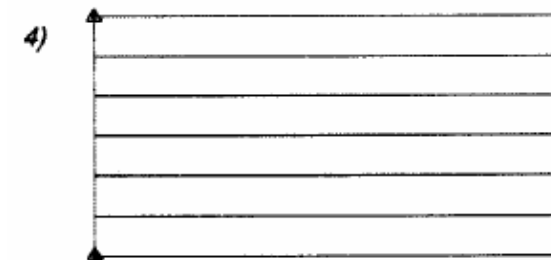
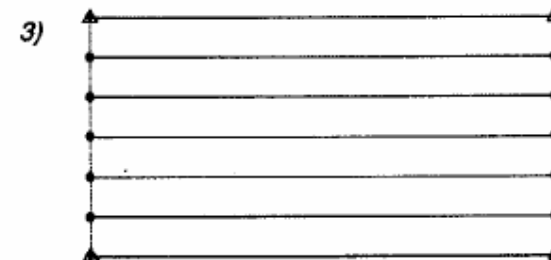
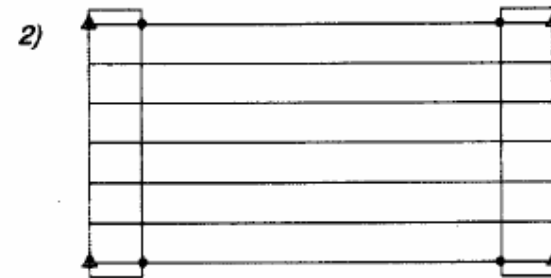
- elementy orientacji zewnętrznej:
- współrzędne XYZ pkt. wiązanych
- wyrównane wsp. fotopunktów
- korekcja błędów systematycznych środków rzutów (shift)
- korekcja błędów systematycznych kątów HPR (dryft)



Aerotriangulacja z GPS i INS

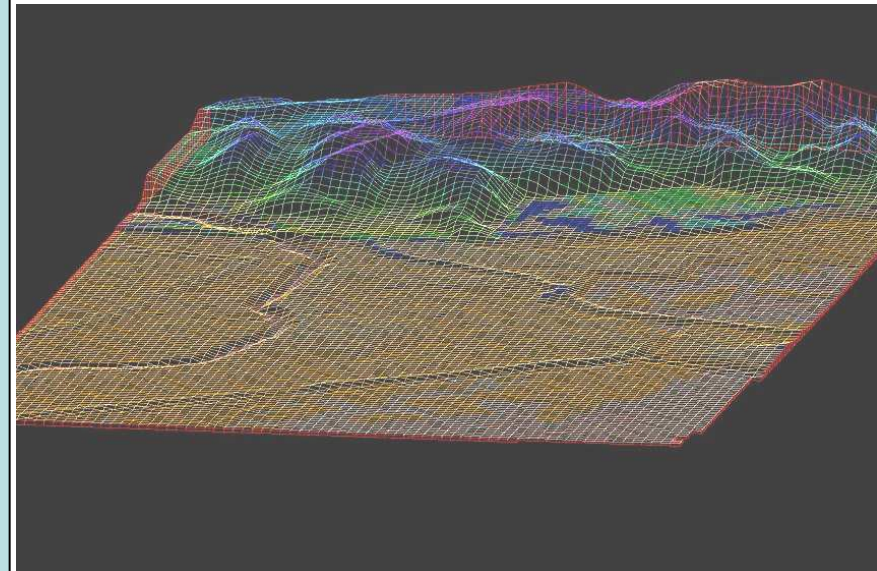


1) Przypadek klasyczny (bez pomiaru środków rzutów w locie)



Numeryczny Model Terenu (Digital Terrain Model)

Y [m] X [m]	20	25	30	35	40	45
50	112.51	112.80	113.00	114.22	114.56	114.00
55	112.23	112.85	112.99	113.86	114.02	113.98
60	111.50	112.05	112.47	113.82	113.79	113.50
65	111.34	112.00	112.30	113.82	113.98	114.12
70	111.74	112.49	112.90	113.73	114.05	114.27



Pod pojęciem numerycznego modelu terenu należy rozumieć zbiór odpowiednio zebranych punktów (określonych współrzędnymi X,Y,Z) powierzchni terenu wraz z algorytmem interpolującym, pozwalającym na określenie kształtu tej powierzchni bądź wysokości pojedynczych punktów. Najczęściej NMT tworzony jest w postaci regularnej siatki kwadratów (GRID) lub w postaci nieregularnej siatki trójkątów (TIN)

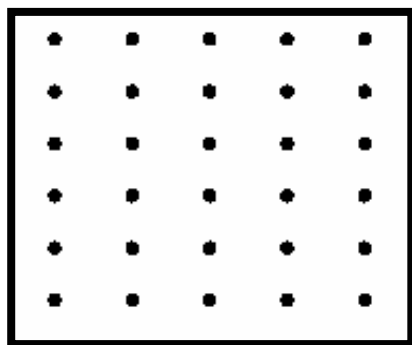
NMT (DTM-Digital Terrain Model) aproksymuje w postaci dyskretnej sieć punktów pomiarowych o znanych współrzędnych przestrzennych X, Y, Z funkcję ciągłą, jaką jest powierzchnia topograficzna terenu.

W przypadku generowania z NMT warstw, oprócz punktów pomiarowych nanosi się:

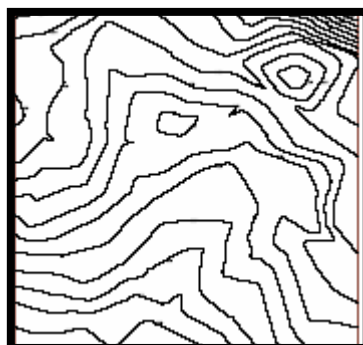
- Linie szkieletowe,
- Linie nieciągłości terenu,
- Granice obszarów wydzielonych,
- Pikiety wysokościowe usytuowane na punktach charakterystycznych terenu

Struktura NMT

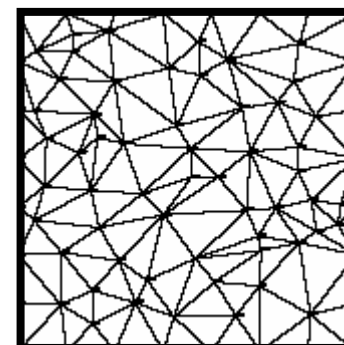
- **regularna siatka punktów** (macierz punktów wysokościowych) (ang. GRID - *Regular Raster Grid*) – jest to najczęściej stosowany w GIS model. Zazwyczaj zapisywany jest on w postaci rastra. Każdy punkt (element macierzy) zawiera średnią wartość rzędnej wysokościowej pola podstawowego o rozmiarze zależnym od dobranej rozdzielczości przestrzennej modelu.
- **model triangulacyjny** (nieregularna siatka trójkątów) (ang. TIN – *Triangular Irregular Network*) – model ten zapisuje się w postaci wektorowej. Powierzchnia terenu dzielona jest na trójkąty, których wierzchołki stanowią punkty wysokościowe.
- **model poziomicowy** – (ang. DGL – *Digital Line Graph*) – przedstawia kształt danej powierzchni przy użyciu izohips (linii łączących punkty o jednakowej wysokości), zapisywanych w postaci obiektów wektorowych o współrzędnych X, Y, Z



Grid

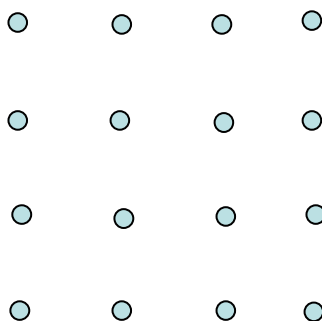
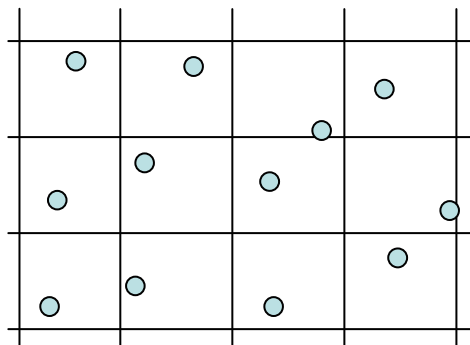


Izolinie



TIN

Węzły siatki mogą być oparte o punkty pomierzone na modelu fotograficznym, bezpośrednio w terenie, mogą też być interpolowane z punktów rozproszonych.



Jakość Numerycznych Modeli Terenu

- **Rozdzielczość** - określa stopień szczegółowości modelu.
Im lepsza rozdzielczość tym bliższe sobie obiekty reprezentowane będą na modelu jako odrębne obiekty, a nie jako jeden punkt
- **Dokładność** – stopień zgodności z jakim pionowe i poziome położenie obiektu w rzeczywistości reprezentowana jest w modelu

Źródła danych dla NMT

- Bezpośrednie pomiary terenowe
- Pomiar na zestrojonym modelu stereoskopowym utworzonym ze zdjęć lotniczych sposobem:
 - a) manualnym,
 - b) manualnym, wspomaganym automatycznym korelatorem obrazu oraz
 - c) automatycznym.
- Pomiar na mapach topograficznych drogą digitalizacji lub skanowania i wektoryzacji warstwic,
- Lotniczy skaning laserowy
- Interferometria radarowa

Źródła danych – pomiary bezpośrednie

Bezpośrednie pomiary terenowe

- Tradycyjne pomiary geodezyjne
- Pomiary GPS referencyjnym
- Naziemny skanning laserowy

Zalety - bardzo duża dokładność i swobodny dobór rozdzielczości

Wady - czasochłonność i wysoki koszt pomiaru

Zastosowanie - niewielkie obszary dla których istotna jest wysoka dokładność danych np.: ocena dynamiki erozji gleb, pomiary niewielkich form terenu, modele budynków itp.



Źródła danych – materiały kartograficzne

Materiały kartograficzne

- Zalety - dobra dostępność materiałów źródłowych
- pokrycie całego kraju, wysoka dokładność, najlepszy stosunek ceny do dokładności; prostota tworzenia; otrzymujemy model rzeźby terenu (bez budynków, lasów itp.)
- Wady - zróżnicowana jakość materiałów źródłowych; duża pracochłonność
- Zastosowanie – średniopowierzchniowe obszary wymagające stosunkowo wysokiej dokładności

Źródła danych – metody teledetekcyjne

Fotogrametria analogowa i cyfrowa

- Zalety - wysoka dokładność, wysoka efektywność, łatwa powtarzalność
- Wady – wysoka cena, brak penetracji pokrywy roślinnej, zależność od warunków pogodowych, drogie oprogramowanie/sprzęt
- Zastosowanie – tam gdzie liczy się dokładność i powtarzalność pomiaru np.: rejestracja zmian rzeźby kopalni odkrywkowych

LIDAR – light detection and ranging (powietrzny)

- Zalety – wysoka dokładność; bardzo krótki cykl produkcji; sensor aktywny – niezależność od warunków pogodowych; rejestracja wielokrotnego odbicia = penetracja pokrywy roślinnej
- Wady – bardzo wysoki koszt, wymagany specjalistyczny sprzęt
- Zastosowanie – tam gdzie wymagana jest wysoka dokładność i szybkość uzyskania modelu np. ocena skutków zdarzeń katastrofalnych

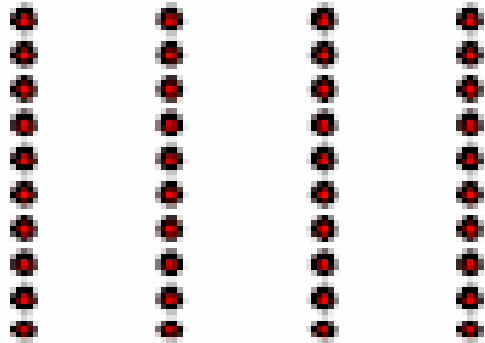
Obrazy radarowe

Zalety – system aktywny (niezależność od warunków pogodowych), zdolność częściowej penetracji pokrycia terenu oraz wody

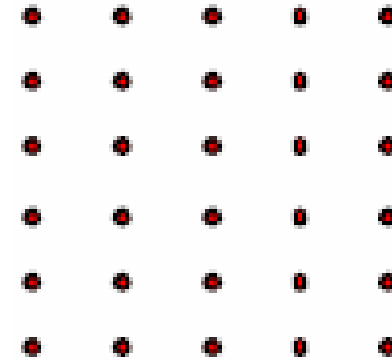
Wady – wysoki koszt, zróżnicowana dokładność (samolot 1-5m, satelita 5-50m)

Zastosowanie – modelowanie terenów pokrytych bujną roślinnością, śniegiem, lodem, monitorowanie rozwoju linii brzegowych

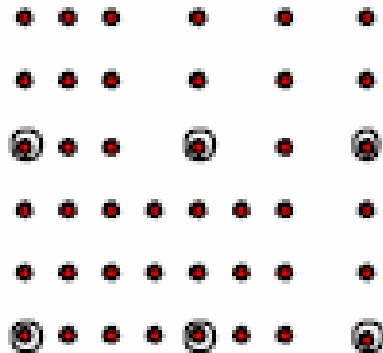
Postaci danych do NMT pozyskiwanych metodą fotogrametryczną



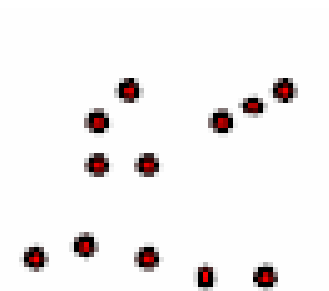
Profile



Siatka



Siatka progresywna



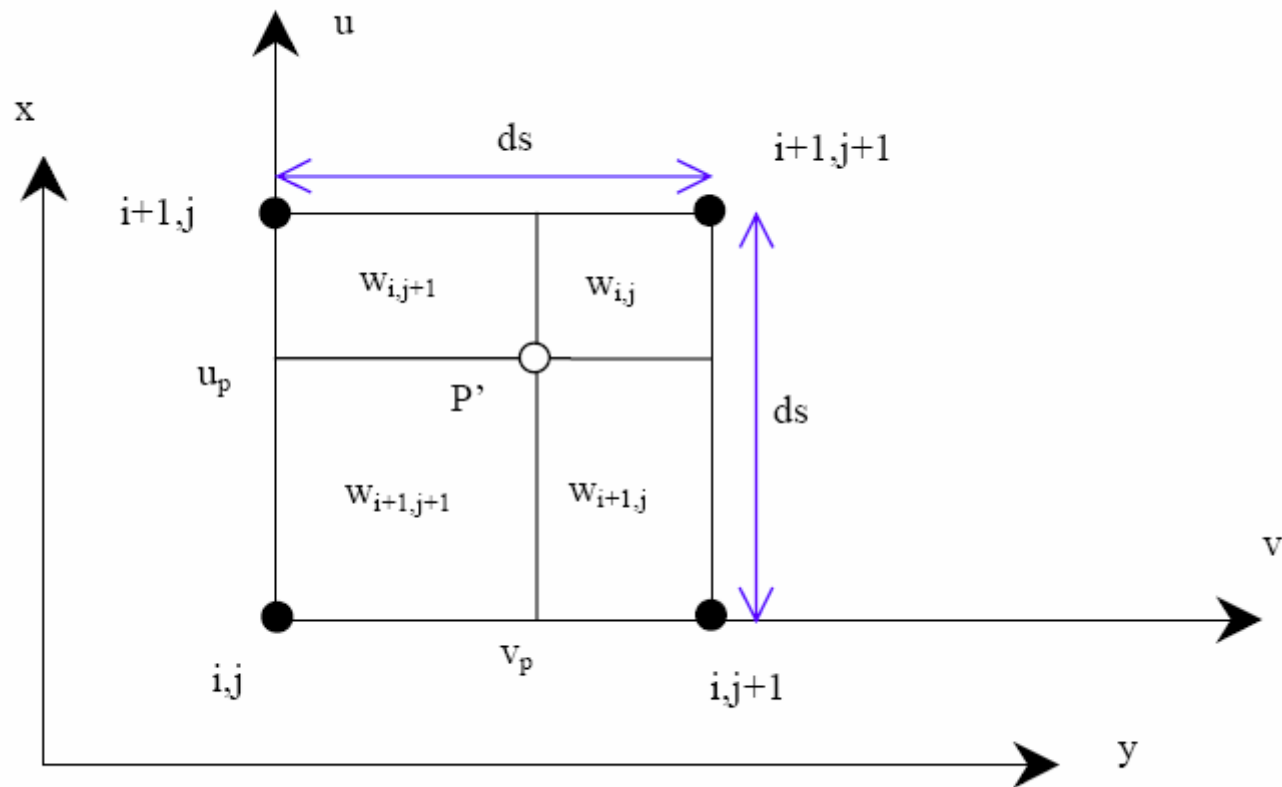
Punkty rozmieszczone selektywnie

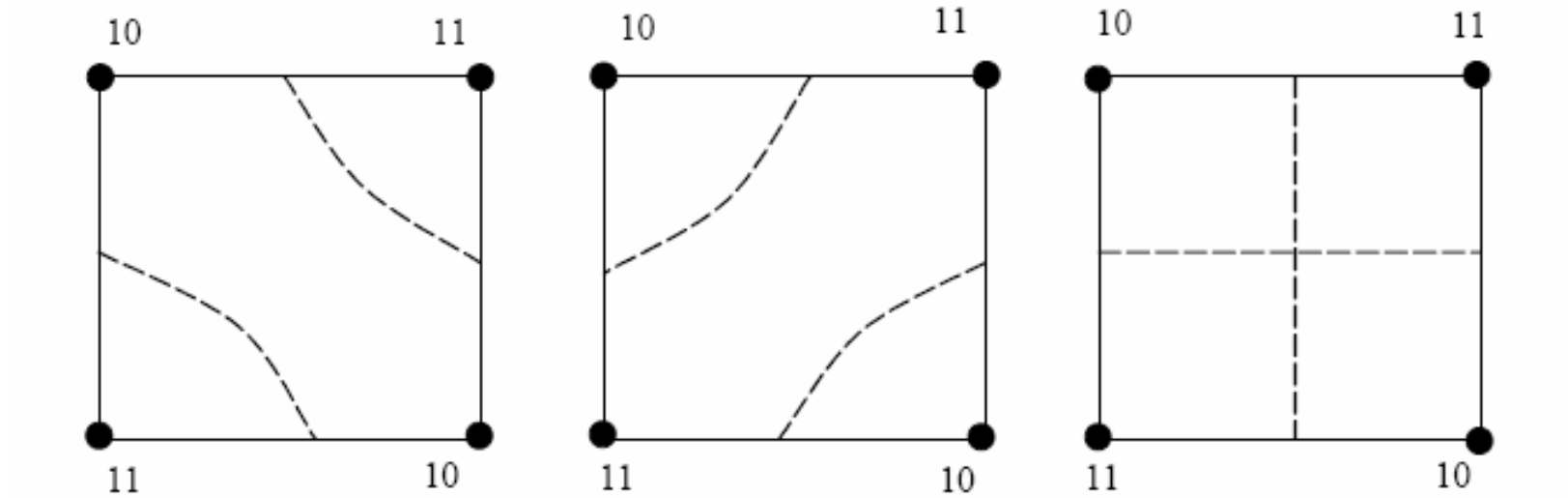
Interpolacja w modelu Grid

$$X = X_0 + i \cdot ds$$

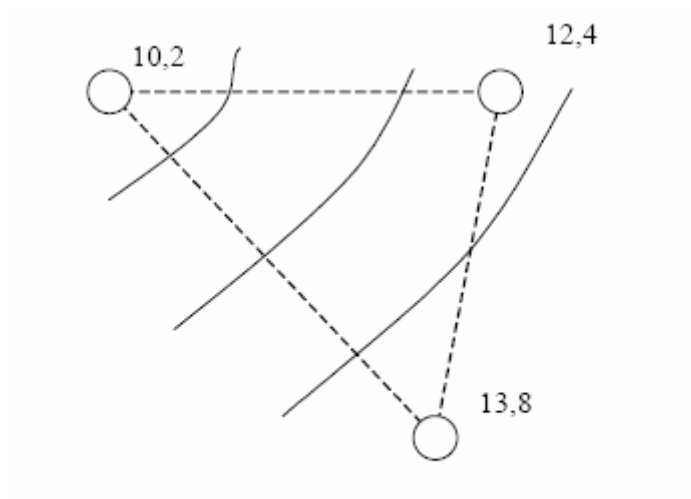
$$Y = Y_0 + j \cdot ds$$

$$Z_P = \frac{Z_{i,j} w_{i,j} + Z_{i+1,j} w_{i+1,j} + Z_{i,j+1} w_{i,j+1} + Z_{i+1,j+1} w_{i+1,j+1}}{w_{i,j} + w_{i+1,j} + w_{i,j+1} + w_{i+1,j+1}}$$

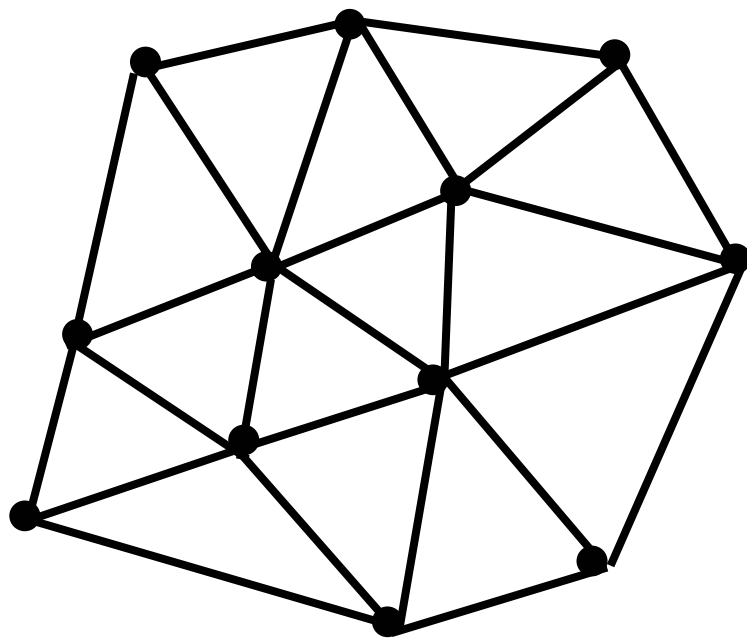




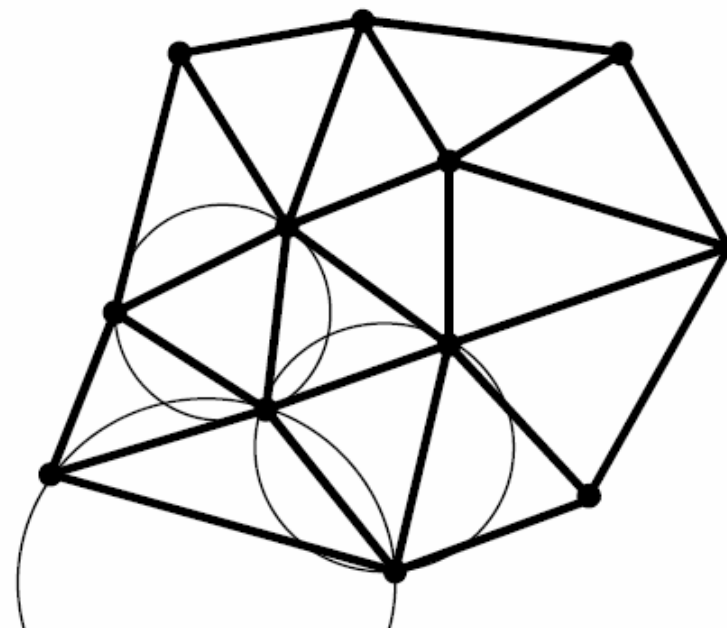
Ilustracja możliwych niejednoznaczności przebiegu warstw w siatce regularnej



Ilustracja interpolacji warstw w siatce trójkątnej



Model TIN

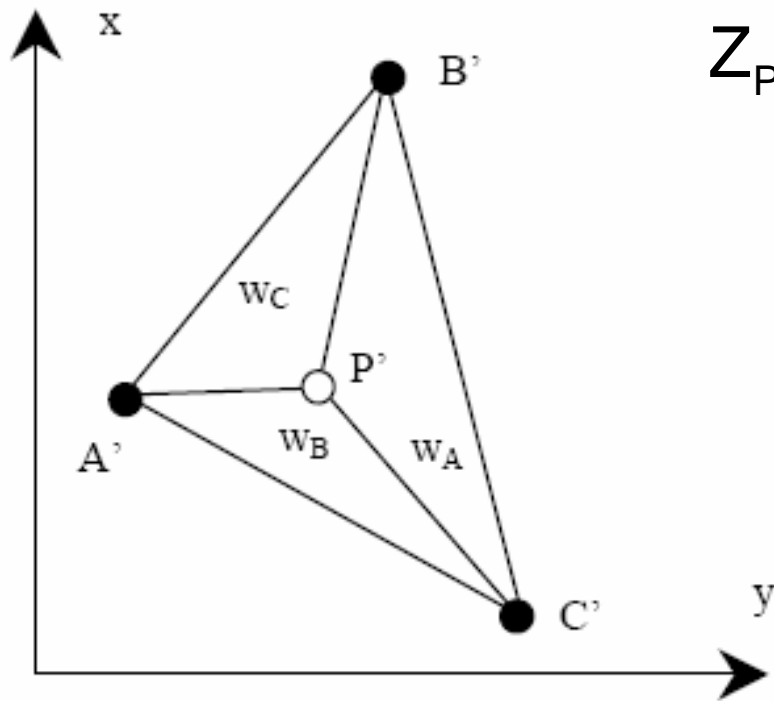


Ilustracja triangulacji Delaunay'a

Nieregularna sieć trójkątów powstaje głównie jako efekt bezpośrednich pomiarów w terenie lub na modelu fotogrametrycznym, gdzie cały zakres opracowania wypełnia się trójkątami opartymi o punkty pomiarowe. Ponieważ w tych modelach wykorzystywane są wszystkie punkty charakterystyczne model jest stosunkowo dokładny.

Do tworzenia siatki trójkątów najczęściej wykorzystywana jest triangulacja Delaunay'a. Trójkąty tworzone są w ten sposób, aby żaden z punktów nie należących do niego nie był położony wewnątrz okręgu opisanego na trójkącie.

Interpolacja w modelu TIN



$$Z_P = \frac{Z_A w_A + Z_B w_B + Z_C w_C}{w_A + w_B + w_C}$$

Automatyzacja pomiaru danych do NMT

Matching - dopasowanie: szukanie punktów odpowiadających sobie na różnych obrazach.

Metody:

Area Based Matching (np. korelacja krzyżowa)

Feature Based Matching (dopasowanie po cechach)

Relational Matching (porównuje cechy topologiczne)

Automatyzacja pomiaru danych do NMT

Przy generowaniu NMT metodą fotogrametryczną wykorzystuje się możliwość automatyzacji pomiaru na obrazach cyfrowych.

Metodą autokorelacji z zastosowaniem **korelacji krzyżowej** (cross correlation) mierzona jest bardzo duża ilość punktów na modelu stereoskopowym. Punkty służą do wykonania NMT.

g'_{ij} – jasność piksela wzorca (okno pierwotne)

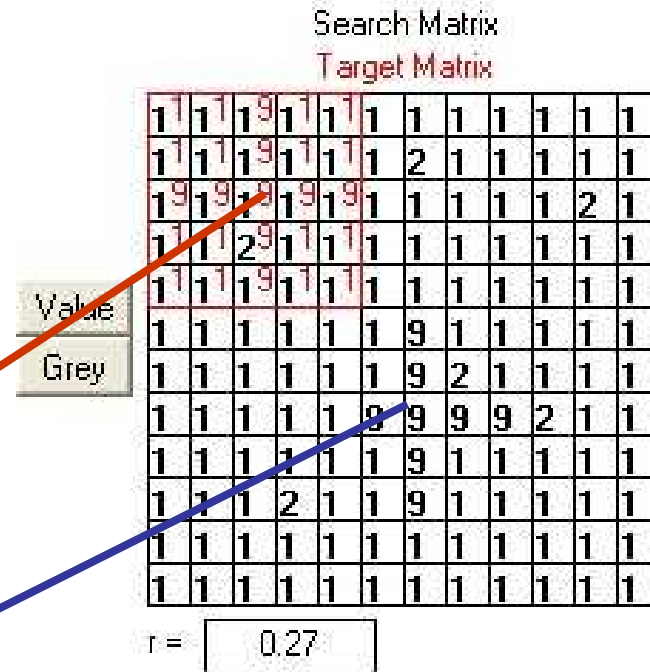
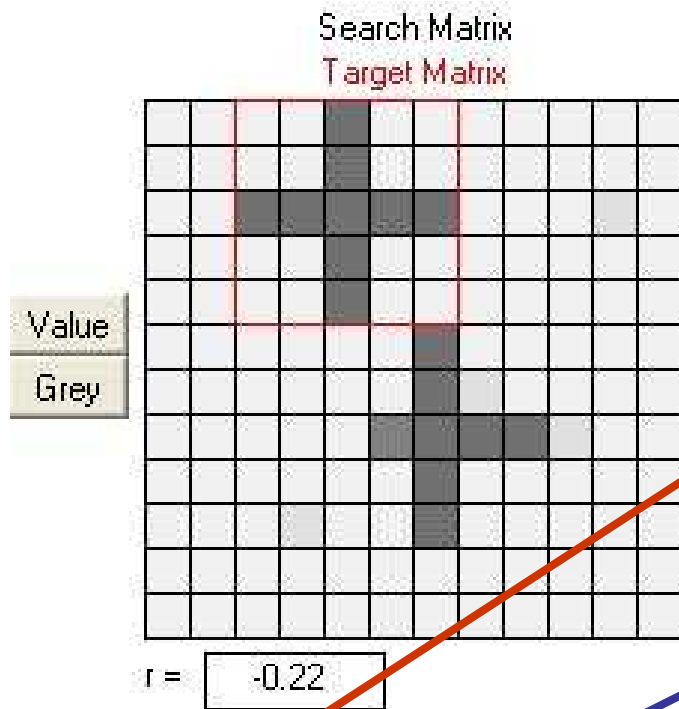
g''_{ij} – jasność piksela obrazu, na którym prowadzi się poszukiwania

Oblicza się współczynnik korelacji r

$$r = \frac{\sigma_{12}}{\sigma_1 \cdot \sigma_2} = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (g'_{i,j} - \bar{g}') \cdot (g''_{i,j} - \bar{g}'')}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (g'_{i,j} - \bar{g}')^2\right) \left(\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (g''_{i,j} - \bar{g}'')^2\right)}}$$

Maksymalna wartość współczynnika oznacza najlepsze wpasowanie

Automatyzacja pomiaru danych do NMT



g'_{ij} – jasność piksela wzorca (okno pierwotne)

g''_{ij} – jasność piksela obrazu, na którym prowadzi się poszukiwania

Oblicza się współczynnik korelacji r

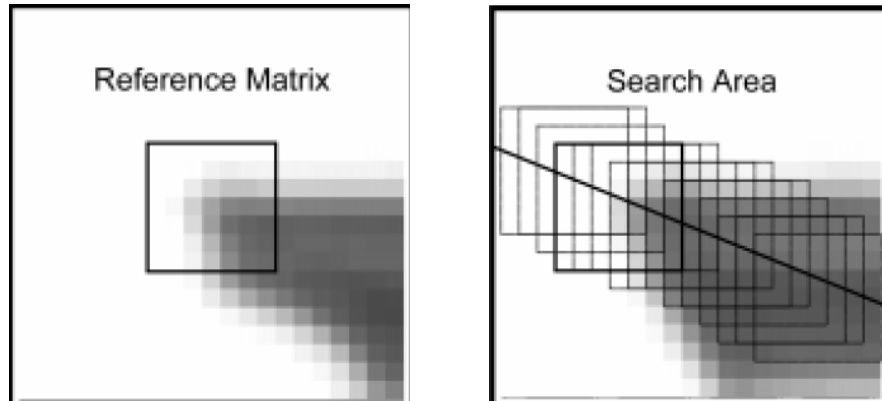
Automatyzacja pomiaru danych do NMT

Metodą korelacji krzyżowej dopasowuje się obrazy z dokładnością tylko jednego piksela. Do matchingu z większą dokładnością używa się metody wielomianowej lub metody najmniejszych kwadratów.

r_1	r_2	r_3
r_4	r_{\max}	r_6
r_7	r_8	r_9

Na wartościach współczynników korelacji można rozciągnąć funkcję 2-go stopnia lub wyznaczyć subpikselowe położenie metodą LSM:

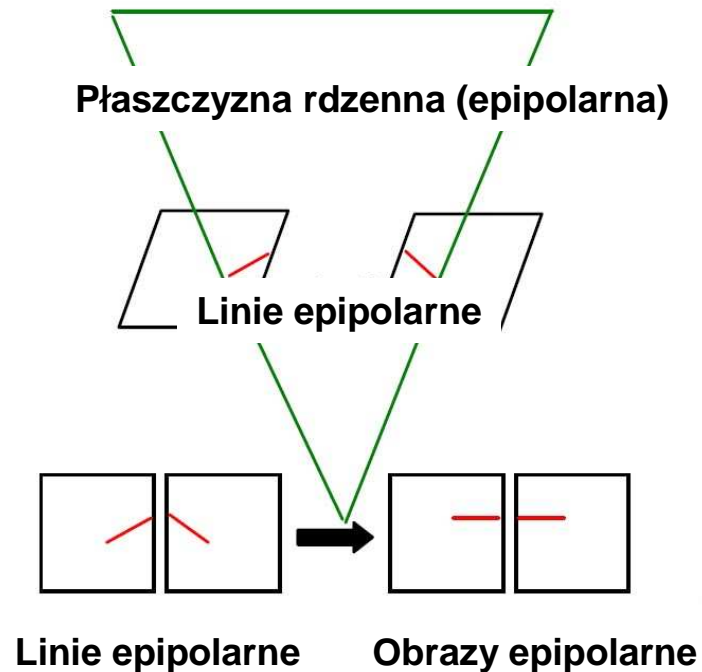
Automatyzacja pomiaru danych do NMT



Przeszukiwanie metodą korelacji krzyżowej ułatwia:

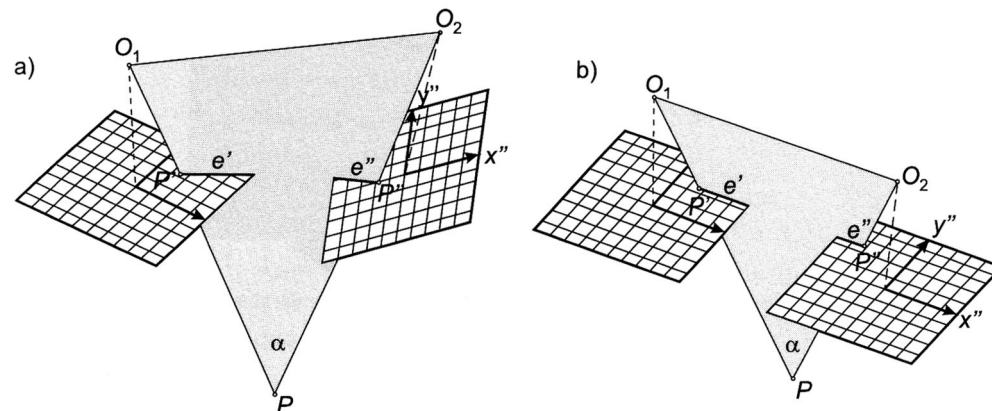
- **szukanie tylko po liniach epipolarnych,**
- utworzenie obrazów znormalizowanych (epipolarnych). Na nich wszystkie linie epipolarne są równoległe,
- wykorzystanie piramidy obrazów,
- VLL

Automatyzacja pomiaru danych do NMT

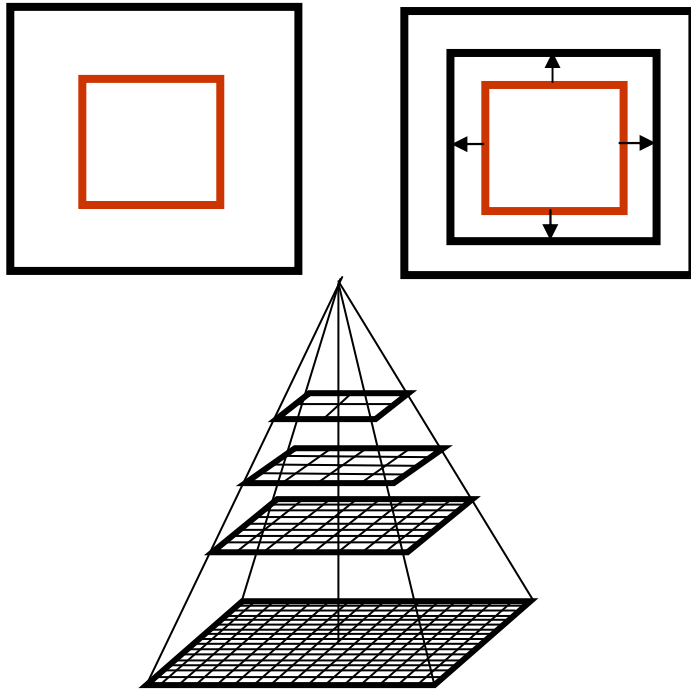


Przeszukiwanie metodą korelacji krzyżowej ułatwia:

- szukanie tylko po liniach epipolarnych,
- **utworzenie obrazów znormalizowanych (epipolarnych). Na nich wszystkie linie epipolarne są równoległe,**
- wykorzystanie piramidy obrazów,
- VLL



Automatyzacja pomiaru danych do NMT



Przeszukiwanie metodą korelacji krzyżowej ułatwia:

- szukanie tylko po liniach epipolarnych,
- utworzenie obrazów znormalizowanych (epipolarnych). Na nich wszystkie linie epipolarne są równoległe,
- **wykorzystanie piramidy obrazów,**
- VLL

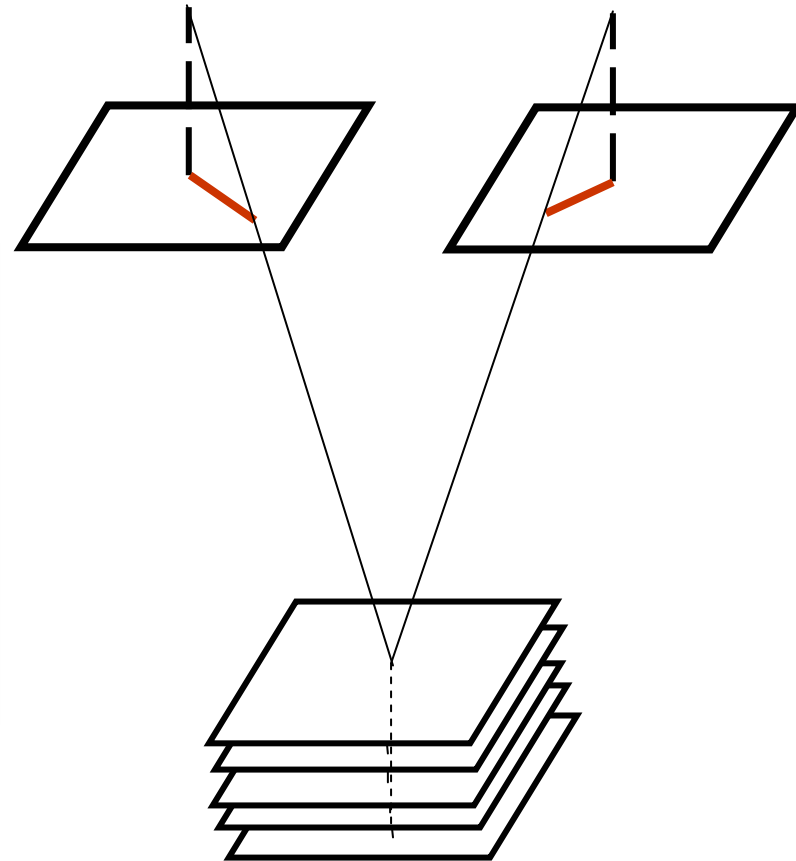
Piramidy obrazów – obrazy zredukowane. Różnią się rozdzielczością, na kolejnych poziomach rozdzielczość geometryczna jest redukowana dwukrotnie poprzez:

- eliminowanie co drugiego wiersza i kolumny,
- uśrednianie pikseli 2x2 w wyższym obrazie,
- resampling,
- inne przekształcenia

Automatyzacja pomiaru danych do NMT

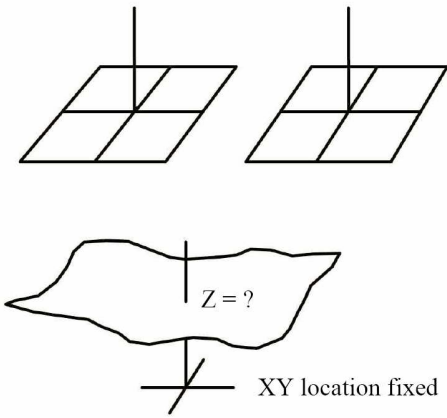
Przeszukiwanie metodą korelacji krzyżowej ułatwia:

- szukanie tylko po liniach epipolarnych,
- utworzenie obrazów znormalizowanych (epipolarnych). Na nich wszystkie linie epipolarne są równoległe,
- wykorzystanie piramidy obrazów,
- **VLL- Vertical Line Locus**

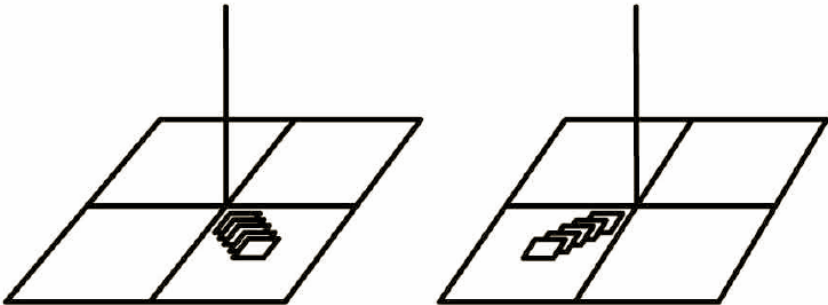
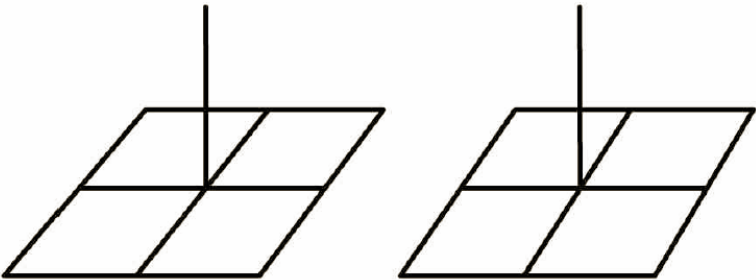


VLL- Vertical Line Locus – sprawdzanie korelacji dla elementów pionowych na ich przesunięciach (zakresach) radialnych

Automatyzacja pomiaru danych do NMT



Punkty znajdujące się na linii pionu są w rzucie środkowym na tym samym promieniu radialnym



Dokładność NMT określa średni błąd wyinterpolowanych z niego wysokości terenowych. Wielkość tego błędu zależy głównie od:

- Błędów danych źródłowych , dokładności, z jaką pomierzono pierwotne punkty siatki,
- Wielkości oczka siatki,
- Ukształtowania powierzchni terenu i stopnia jej pokrycia,
- Metody interpolacji.

$$m_{\text{NMT}}^2 = m_z^2 + (\alpha d)^2$$

gdzie: m_{NMT} – średni błąd wyinterpolowanej wysokości z NMT;

m_z – średni błąd określenia wysokości;

α - współczynnik opisujący charakter rzeźby terenu;

d – średnia odległość punktów pomiarowych

Przyjmuje się: $\alpha = 0,004 - 0,007$ dla terenów łatwych

$\alpha = 0,010 - 0,020$ dla terenów o średniej trudności

$\alpha = 0,022 - 0,044$ dla terenów trudnych (o nieregularnych i stromych

pow.)

Dokładność warstwic (karto...)

Instr. tech. K-2 MAPY TOPOGRAFICZNE DO CELÓW GOSPODARCZYCH

§ 21

... średnie błędy w położeniu wysokościowym warstwic względem punktów osnowy wysokościowej nie mogą przekraczać:

- dla terenów o nachyleniu do 2° - $1/3$ wielkości zasadniczego cięcia warstwicowego,
- dla terenów o nachyleniu 2° do 6° - $2/3$ wielkości zasadniczego cięcia ...,
- dla terenów o nachyleniu większym od 6° – (1) wielkości zasadniczego cięcia...

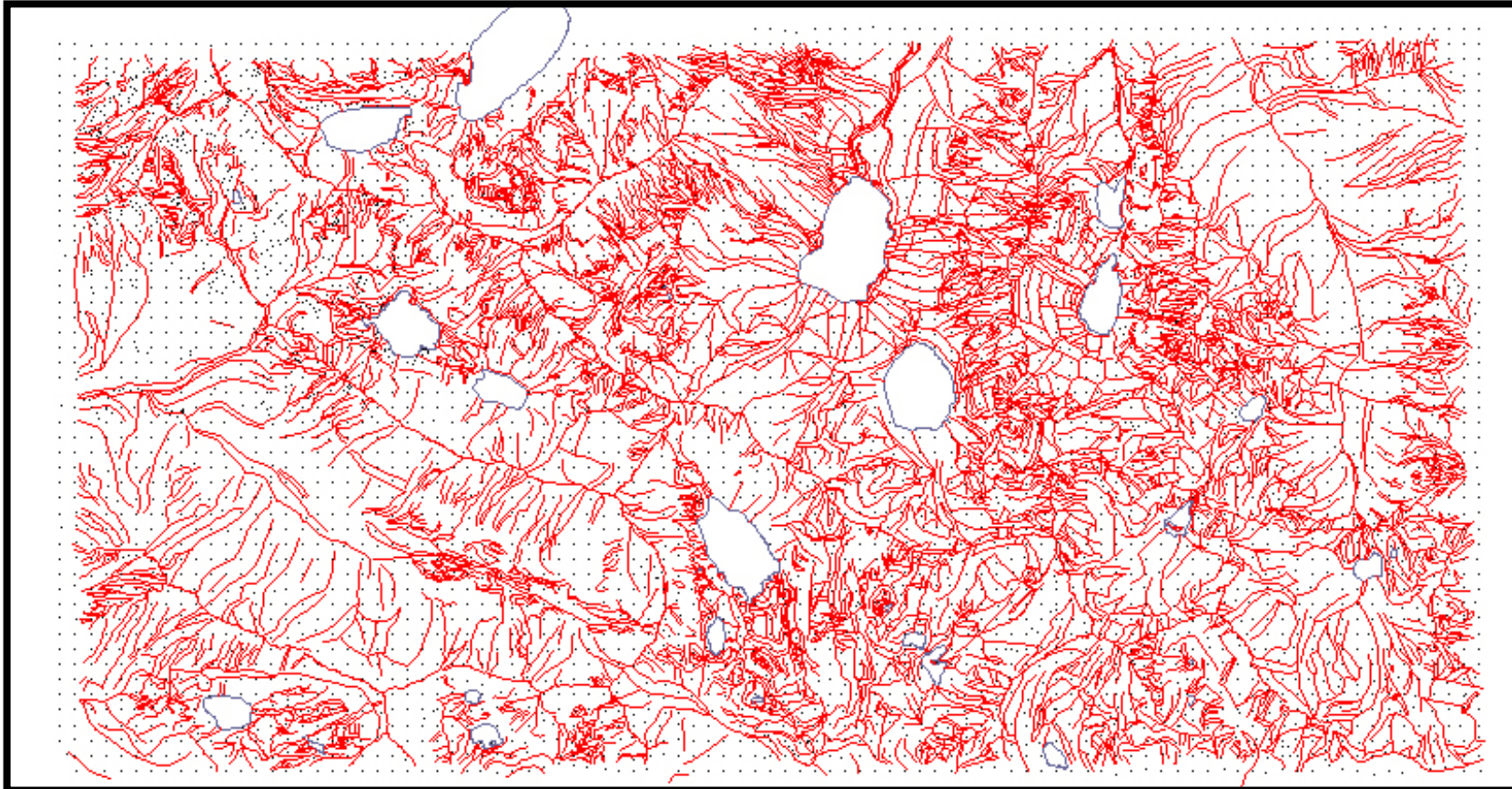
Przy opracowywaniu rzeźby terenu o zwartym zalesieniu oraz dla **uwydatnienia** charakterystycznych form terenu dopuszcza się półtorakrotnie większe błędy w położeniu warstwic.

NMT wykorzystywany jest do:

- Generowania ortofotomap
- Automatycznego generowania warstw i cieniowanej rzeźby terenu, opracowania map szorstkości terenu, map spadków, map nasłonecznienia stoków, profili podłużnych i poprzecznych, widoków perspektywicznych
- Określenia tempa rozwoju procesów erozyjnych oraz szacowania wielkości urobku w kopalniach odkrywkowych
- Projektowania dróg z możliwością szybkiego wariantowania ich przebiegu
- Określenia granicy linii zalewowych przy symulacji wysokości fali powodziowej
- Wspomagania systemów informatycznych typu GIS/LIS, gdzie NMT stanowi oddzielną warstwę tematyczną

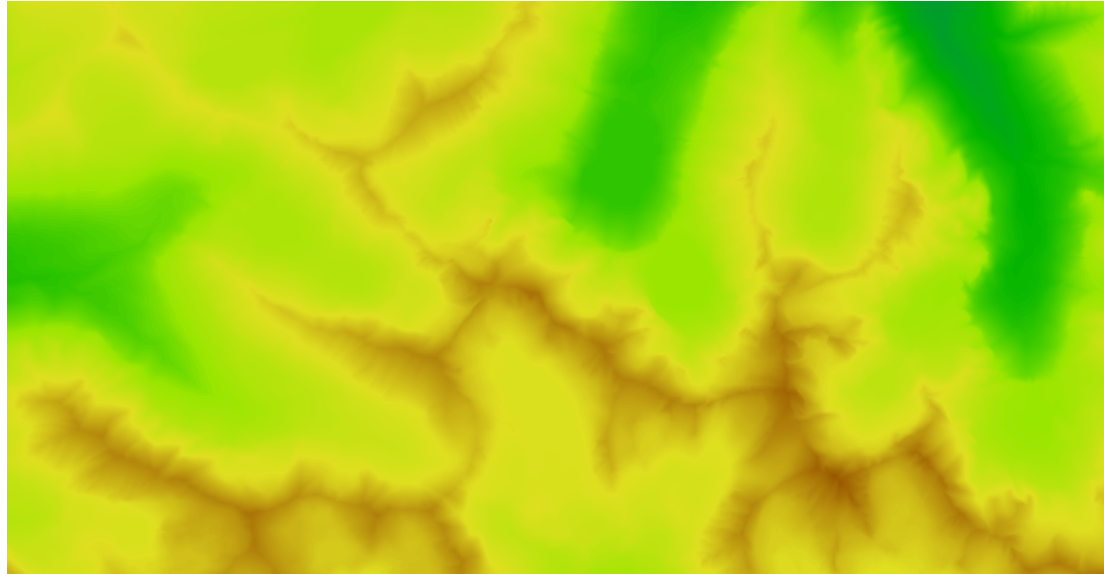
Przykłady wizualizacji NMT

45

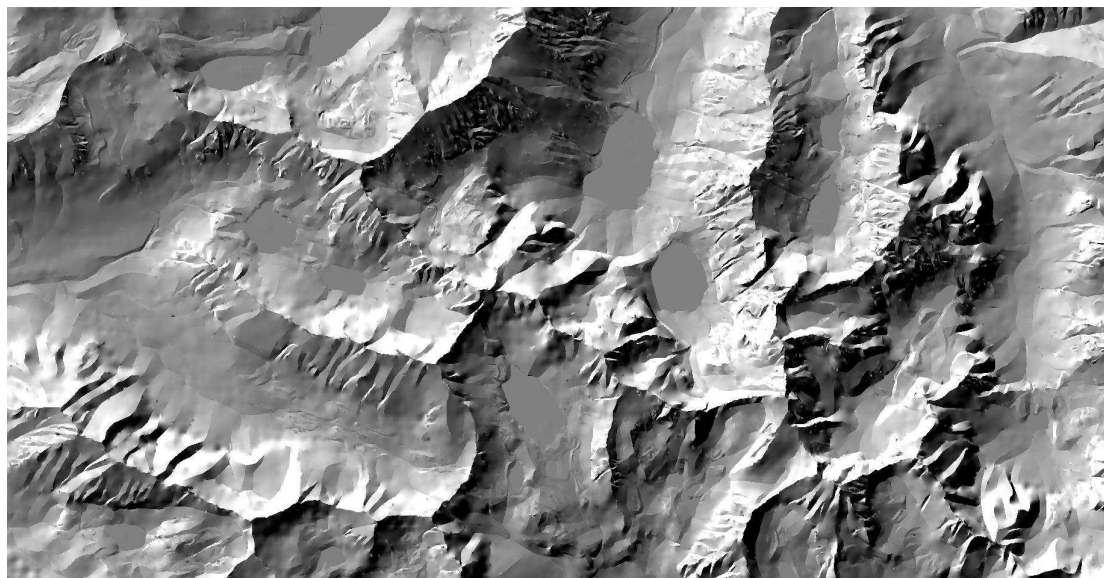


Breakline ilustrujące przebieg linii szkieletowych (grzbiety i doliny rzeczne) oraz linie nieciągłości (skarpy i urwiska). Na niebiesko zaznaczono poziome obszary wyłączeń (stawy).

Przykłady wizualizacji NMT

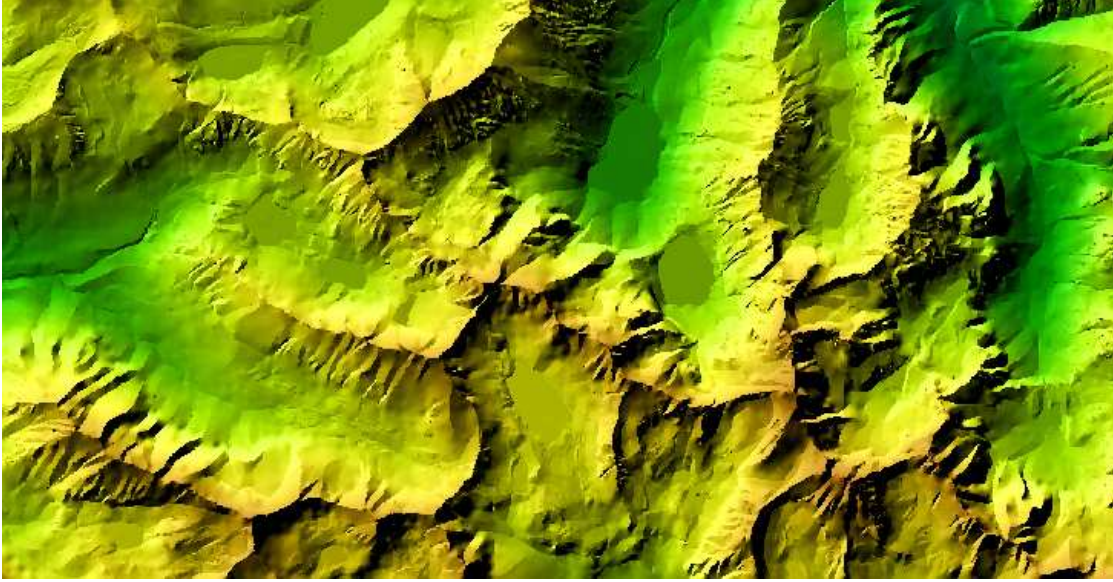


Mapa z-code

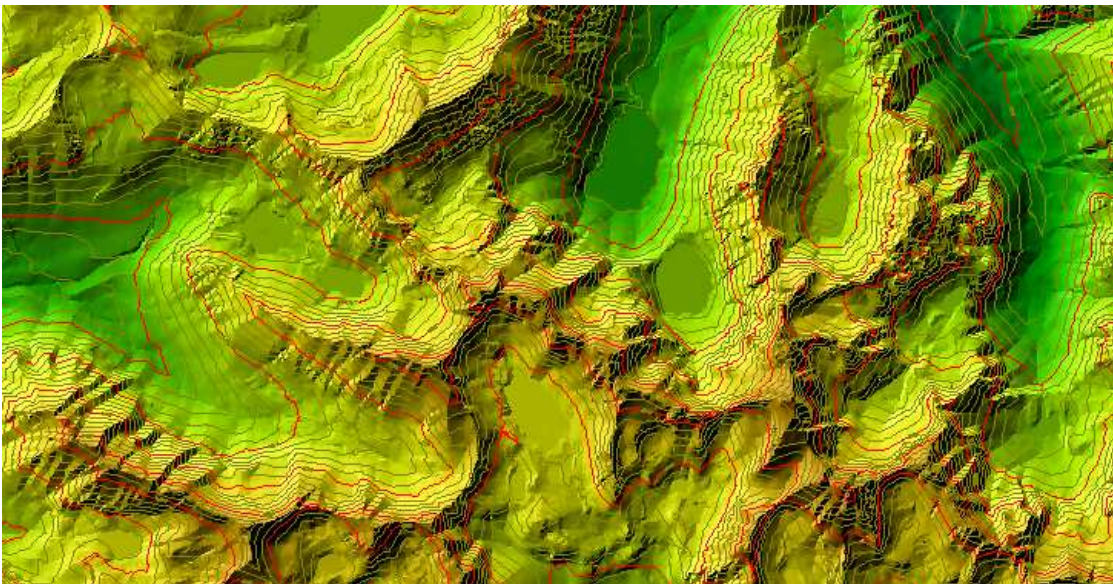


Mapa cieni

Przykłady wizualizacji NMT

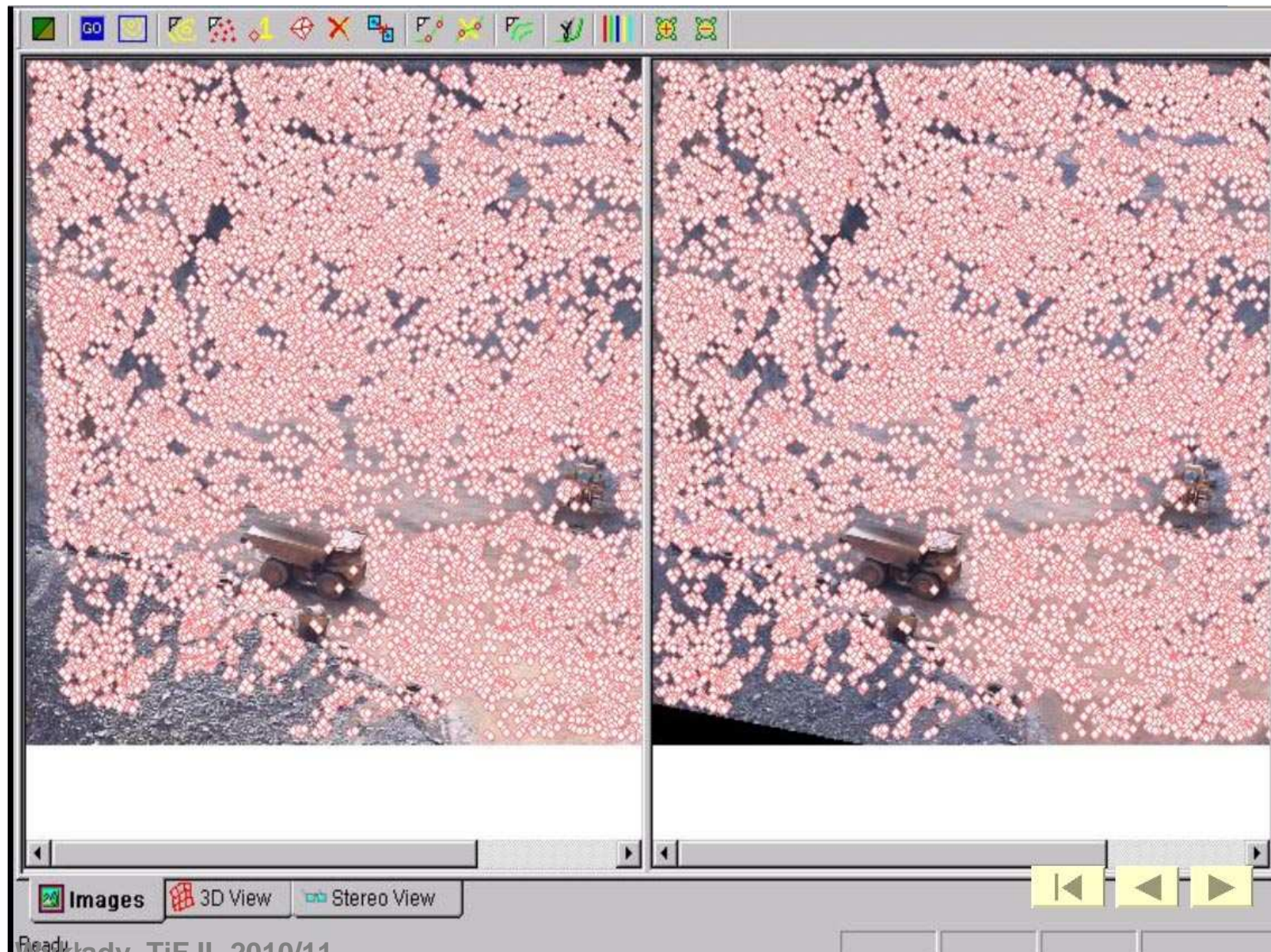


Połączenie mapy z-
code z mapą cieni



Połączenie mapy z-
code z mapą cieni i z
warstwicami

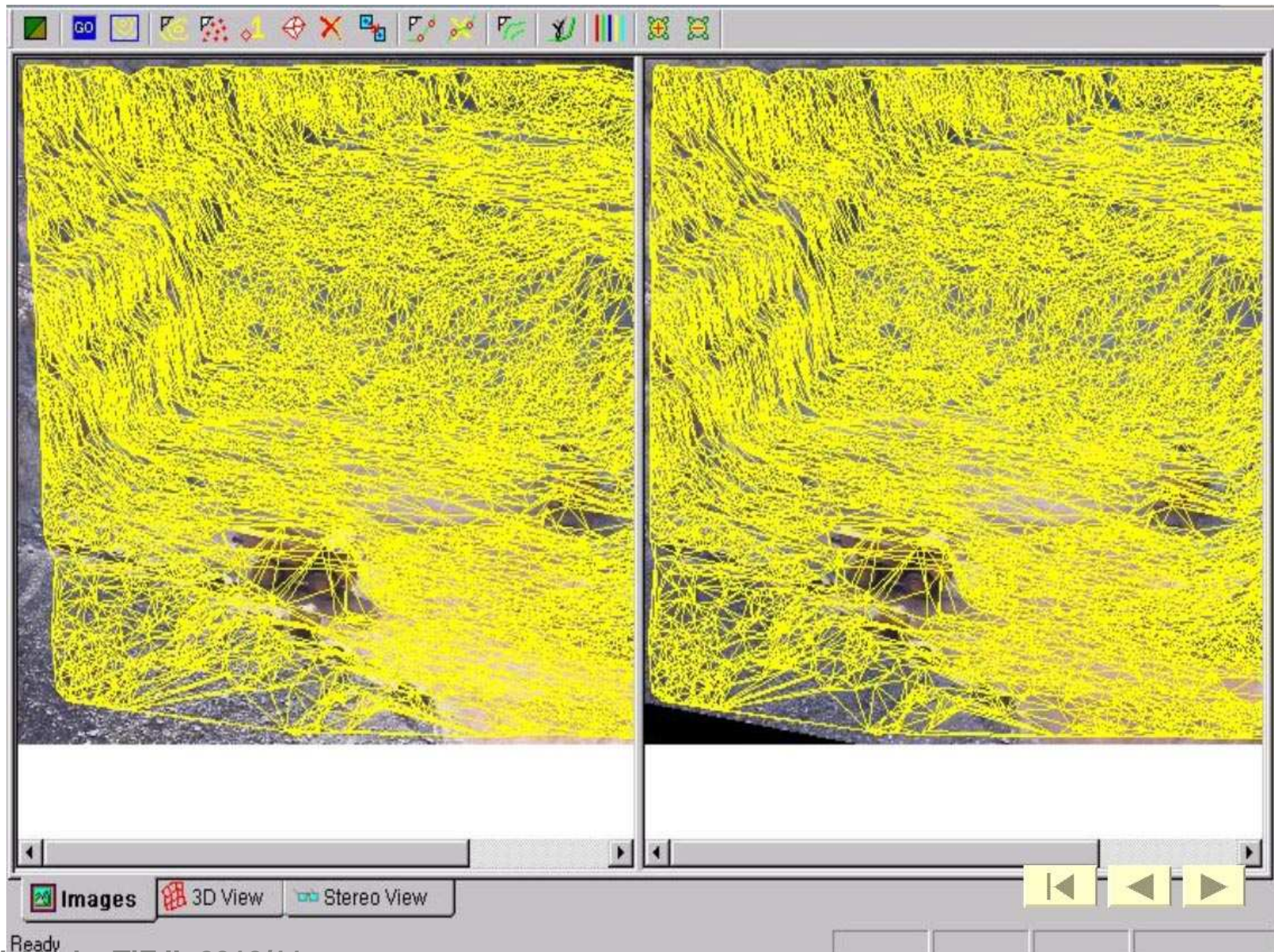
Automatyzacja pomiaru danych do NMT



Wykłady TiF II -2010/11

Regina Tokarczyk

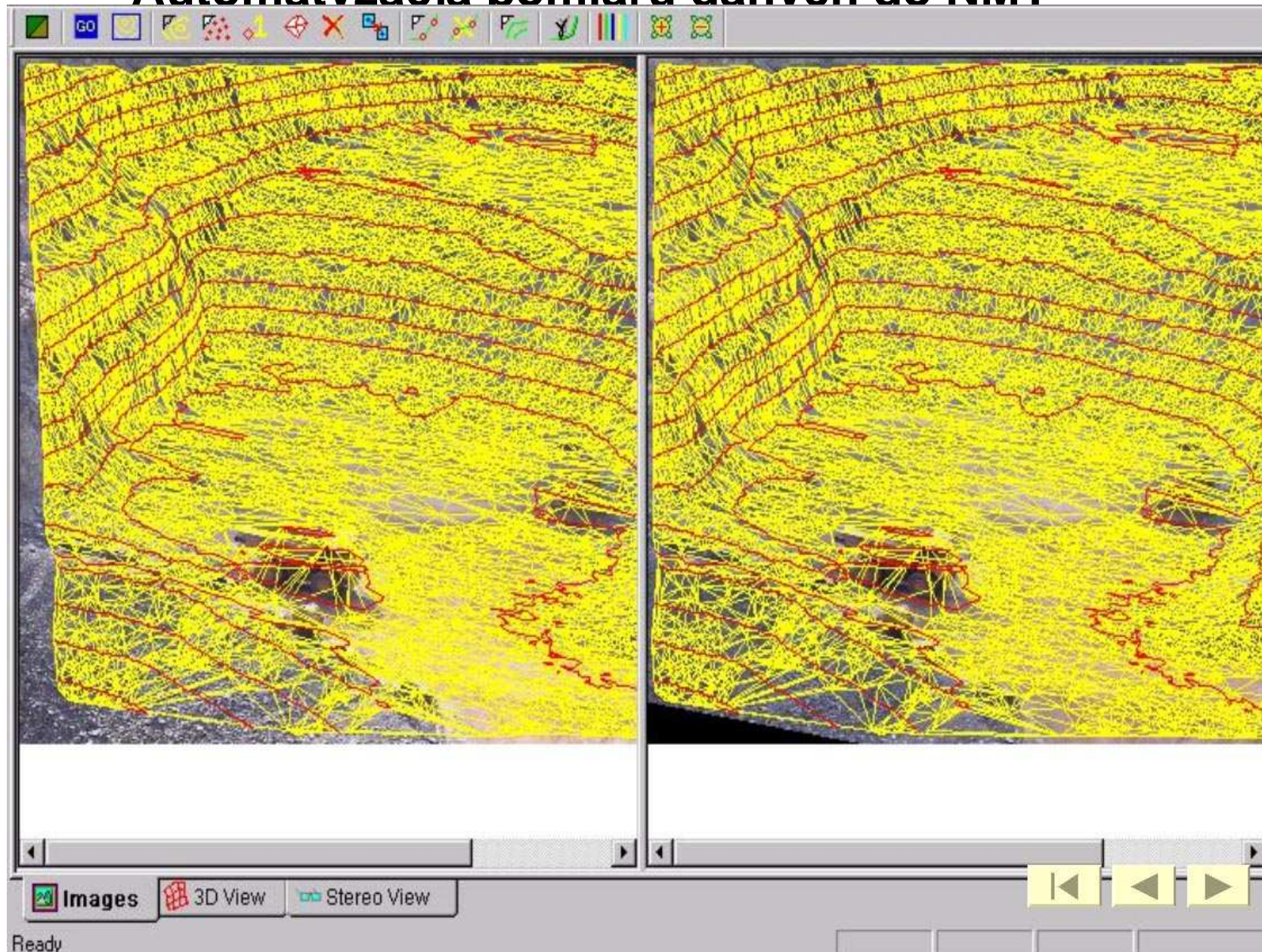
Automatyzacja pomiaru danych do NMT



Ready
Wykłady TiF II -2010/11

Regina Tokarczyk

Automatyzacja pomiaru danych do NMT



Wykłady TiF II -2010/11

Regina Tokarczyk

Darmowe oprogramowanie

- 3DEM
- GRASS
- Landserf
- MICRODEM
- TAS (Terrain Analysis System)
- ILWIS
- AutoDem